BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

Universidad de Valladolid

Utilización agrícola del estiércol licuado de ganado porcino: método rápido de determinación del valor fertilizante. Establecimiento de las bases para el diseño de un óptimo plan de fertilización

Mercedes Sánchez Báscones

Tesis de Doctorado

E. T. S. de Ingenierías Agrarias

Directora: Dra. Juliana L. González Hurtado

2001

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS AGRARIAS DE PALENCIA

UTILIZACIÓN AGRÍCOLA DEL ESTIÉRCOL LICUADO DE GANADO PORCINO: MÉTODO RÁPIDO DE DETERMINACIÓN DEL VALOR FERTILIZANTE. ESTABLECIMIENTO DE LAS BASES PARA EL DISEÑO DE UN ÓPTIMO PLAN DE FERTILIZACIÓN

TESIS DOCTORAL

Presentada por:
Dª. Mercedes Sánchez Báscones

Dirigida por:
Dra. Dª. Juliana L. González Hurtado

Palencia, Septiembre 2001

AGRADECIMIENTOS

Para empezar, quiero mostrar mi gratitud a la Dra. Juliana Luisa González Hurtado, compañera y amiga, que dirigió el desarrollo de este trabajo, aportando siempre su sabio consejo, y colaboró, no escatimando esfuerzos, en la elaboración de esta tesis.

Asímismo, agradezco el trabajo de mi gran amigo Javier de Lucas Sanz, quien colaboró en las tomas de muestras y participó eficazmente en el trabajo de campo en la parcela que él mismo prestó para la realización de este proyecto, que le ilusionó desde el primer momento.

Mi tercer agradecimiento es para Valentín Pando, del departamento de Estadística e Investigación Operativa, por su importante labor de asesoramiento en el tratamiento estadístico de los datos, campo del que es gran conocedor y experto.

No quisiera olvidarme de D. Pedro Martín Peña, a quien agradezco su actuación como ponente en la defensa del presente trabajo ante el departamento de "Producción Vegetal y Silvopascicultura", en el que cursé mi programa de doctorado.

Deseo agradecer cuantas aportaciones, notorias todas ellas, han realizado numerosas personas en este trabajo. Todos tienen su cabida en esta humilde pero excelsa página. En especial quiero recordar a Enrique Muñoz y Genoveva Belloso, por su inestimable ayuda en el análisis de purines, agradeciendo la colaboración de todas las personas que integran el Laboratorio Agrario.

Ya por último, quiero dar las gracias de una forma muy especial a Antonio, mi marido, sin cuyo apoyo constante se hubiera hecho muy difícil la finalización de esta tesis; a mis hijos, Víctor y Raquel, cuyas sonrisas me animaron en los momentos más duros; y a mis padres, que una vez más no me defraudaron.

ÍNDICE

Pág.

1. INTRODUCCIÓN 1

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 5

2.1. DEFINICIONES 5

2.2. ASPECTOS CUANTITATIVOS 6
2.2.1. Censo ganadero 6
2.2.2. Cantidades de subproductos 8

2.3. COMPOSICIÓN 10
2.3.1. Influencia del tipo y manejo de la explotación 13
2.3.2. Influencia de la tasa de dilución 16
2.3.3. Influencia de la alimentación 18

2.4. POSIBLES CONTAMINACIONES ORIGINADAS POR LOS PURINES 25
2.4.1. Las aguas 25
2.4.2. La atmósfera 30
2.4.3. Problemas de salubridad 36

2.5. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE GANADO PORCINO 40
2.5.1. Separación sólido-líquido 41
2.5.2. Tratamientos biológicos 45
2.5.2.1 Tratamientos aerobios 46
2.5.2.2. Tratamientos anaerobios 47
2.5.2.3. Lagunaje 48
2.5.2.4. Tanques sépticos 52
2.5.2.5. Procesos integrados 52
2.5.2.6. Compostaje 54
2.5.3. Deshidratación 57
2.5.4. Desodorización 58
2.5.5. Desinfección 60
2.5.6. Poder depurador del sistema suelo-planta 63

2.6. UTILIZACIÓN DE LOS PURINES COMO FERTILIZANTES 68
2.6.1. Valor fertilizante del purín 68
2.6.2. Métodos rápidos para la estimación del valor fertilizante 73
2.6.3. Efecto sobre el suelo y los cultivos 83
2.6.4. Eficacia de los nutrientes principales contenidos en los purines 106

2.7. ALGUNOS ASPECTOS SOBRE LOS CULTIVOS DE GIRASOL Y CEREALES 112
2.7.1. Cultivo de girasol 112
2.7.1.1. Fases de desarrollo del girasol 112
2.7.1.2. Influencia de la climatología 114
2.7.1.3. Absorción de nutrientes 115
2.7.2. Cultivo de cereales: trigo y cebada 121
2.7.2.1. Ciclo vegetativo de los cultivos 121
2.7.2.2. Exigencias climatológicas 122
2.7.3. Necesidades de la planta 123
2.7.4. Absorción de elementos nutritivos 125

2.7.5. Aplicación de fertilizantes 126
2.7.6. Absorción de micronutrientes 127

3. MATERIALES Y MÉTODOS 129

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS 129
3.1.1. Equipos de toma de muestra 129
3.1.2. Equipos de laboratorio 129
3.1.3. Equipos informáticos 129

3.2. MÉTODOS DE CAMPO Y LABORATORIO 129
3.2.1. Toma de muestra 129
3.2.2. Preparación de la muestra 130
3.2.3. Conservación de las muestras 130
3.2.4. Análisis de las muestras 130

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 133

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL PURÍN DE GANADO PORCINO 133
4.1.1. Selección de las muestras de purín 133
4.1.2. Composición físico-química del purín 133
4.1.2.1 Total muestras 133
4.1.2.2 Según tipos de explotación 138
4.1.3. Valor fertilizante del purín 145
4.1.4. Relaciones entre componentes del purín 149
4.1.5. Métodos rápidos de caracterización 154
4.1.5.1 Correlaciones entre variables expresadas en materia húmeda 156
4.2.5.2 Correlaciones entre variables expresadas en materia seca 162
4.1.6. Análisis de factores 168
4.1.7. Análisis cluster 172

4.2 VALOR FERTILIZANTE DEL PURÍN DE GANADO PORCINO. TRABAJO DE CAMPO 179
4.2.1. Situación y características de la parcela experimental 179
4.2.2. Protocolo del ensayo 181
4.2.3. Condiciones climáticas durante el período de cultivo 184
4.2.3.1. Elección de observatorio y valores medios 184
4.2.3.2. Influencia de la climatología sobre el desarrollo de la experiencia 185
4.2.3.3. Diagramas ombrotérmicos 191
4.2.4. Cultivo de girasol 193
4.2.4.1. Influencia sobre los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en planta 193
4.2.4.1.1. Resultados del tratamiento estadístico 193
4.2.4.1.2. Discusión de los resultados 193
4.2.4.2. Influencia sobre los contenidos de calcio y magnesio en planta 200
4.2.4.2.1. Resultados del tratamiento estadístico 200
4.2.4.2.2. Discusión de los resultados 200
4.2.4.3. Efecto sobre los micronutrientes extraídos por la planta 204
4.2.4.3.1. Resultados del tratamiento estadístico 204
4.2.4.3.2. Discusión de los resultados 205
4.2.4.4. Efecto sobre el rendimiento y la composición química del grano 211
4.2.4.4.1. Resultados del tratamiento estadístico 211
4.2.4.4.2. Discusión de los resultados 212

4.2.5. Cultivo de cereales 215
4.2.5.1. Influencia sobre los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en planta 215
4.2.5.1.1. Resultados del tratamiento estadístico 215
4.2.5.1.2. Discusión de los resultados 215
4.2.5.2. Influencia sobre los contenidos de calcio y magnesio en planta. 225
4.2.5.2.1. Resultados del tratamiento estadístico 225
4.2.5.2.2. Discusión de los resultados 225
4.2.5.3. Efecto sobre los micronutrientes extraídos por la planta 230
4.2.5.3.1. Resultados del tratamiento estadístico 230
4.2.5.3.2. Discusión de los resultados 231
4.2.5.4. Efecto sobre el rendimiento y la composición química del grano 240
4.2.5.4.1. Resultados del tratamiento estadístico 240
4.2.5.4.2. Discusión de los resultados 241
4.2.6. Influencia sobre los contenidos de nutrientes en el suelo 248
4.2.6.1. Resultados del análisis de suelo 248
4.2.6.2. Tratamiento estadístico 248

4.3. BASES PARA EL DISEÑO DE UN ÓPTIMO PLAN DE FERTILIZACIÓN 255

5. CONCLUSIONES 257

6. RESUMEN 259

7. BIBLIOGRAFÍA 261

APÉNDICE 1: ANÁLISIS DE LOS PURINES 291

APÉNDICE 2: ANÁLISIS DE LAS PLANTAS 299

APÉNDICE 3: ANÁLISIS DE LOS SUELOS 315

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

I. TABLAS Pág

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (RB)

- Tabla RB1: Tamaño de las explotaciones de ganado porcino en Castilla y León (año 1997), según la SAU. 7
- Tabla RB2: Evolución del nº de animales y de la producción de estiércol de ganado porcino en España y en Castilla y León. 8
- Tabla RB3: Niveles de producción de purines de ganado porcino, según el estado fisiológico del animal. 9
- Tabla RB4: Composición media de diferentes tipos de residuos ganaderos, THIBAUDEAU (1997). 10
- Tabla RB5: Producción de nutrientes en el purín de ganado porcino, según el estado fisiológico del animal, MOORE y GAMROTH (1993). 11
- Tabla RB6: Producción de estiércol y características por cada 450 Kg de peso vivo, NAVAROTTO (1982). 11
- Tabla RB7: Valores medios y coeficientes de variación de la composición de estiércoles líquidos de porcino y vacuno, LECOMTE (1979). 11
- Tabla RB8: Composición media del purín de ganado porcino según diversos autores. 12
- Tabla RB9: Composición de ELP de cebo en distintas épocas del año, GERMON y col. (1979). 13
- Tabla RB10: Porcentaje de nutrientes retenido por sistemas de almacenamiento, MOORE y GAMROTH (1993). 13
- Tabla RB11: Composición del purín porcino en diferentes tipos de producción, PIVA y col. (1993). 14
- Tabla RB12: Composición del estiércol porcino según unidades de producción, TORRES (1993). 14
- Tabla RB13: Valores medios de composición según el estado fisiológico del animal, CALVO IRUEGA (1995), CALVO y col. (2000). 14
- Tabla RB14: Valores de las variables en tres unidades de producción, FERRER y col. (1983). 15
- Tabla RB15: Contenidos de nutrientes en el purín de ganado porcino de engorde, alimentado con cereales, en función de los contenidos de materia seca, VETTER y STEFFENS (1986). 17
- Tabla RB16: Valores medios de la dilución en los distintos muestreos realizados en fosas abiertas y cerradas, CABANEIRO y col. (1985). 17
- Tabla RB17: Valor medio de algunos parámetros de la composición de los estiércoles licuados y sólidos en tanto por mil del producto bruto, BERTRAND (1993). 18
- Tabla RB18: Nutrientes excretados (Kg) por unidad de cerdo de engorde y año, en relación con la intensidad de producción G (g crecimiento animal^{-1} día^{-1}), FLÜCKIGER (1988). 19
- Tabla RB19: Nutrientes excretados, por unidad de cerdo de engorde y año, FLÜCKIGER (1988). 19
- Tabla RB20: Nutrientes excretados por granja de cerdo de engorde (alimentación completa) y año en relación a la intensidad de producción (nº de animales por granja y año), FLÜCKIGER (1988). 19
- Tabla RB21: Comparación entre la composición de una proteína ideal (INRA) y la de algunos piensos simples, respecto a 100 unidades de lisina, PIVA y col. (1993). 20

- Tabla RB22: Fósforo fitínico contenido en algunos nutrientes, PIVA y col. (1993). 21
- Tabla RB23: Efecto de la adición de dosis crecientes de cobre sobre el rendimiento productivo, PIVA y col. (1993). 23
- Tabla RB24: Contenido en materia seca y metales pesados de estiércoles de ganado porcino, NICHOLSON y col. (1999). 23
- Tabla RB25: Deducción de la composición de las deyecciones de porcino no diluídas mediante el balance alimenticio, COPPENET (1974). 24
- Tabla RB26: Acumulación de nutrientes (Kg/ha) a distintas profundidades del suelo debido al estiércol líquido de ganado porcinos, STRAUCH (1982) 27
- Tabla RB27: Contenidos de nitrato y fosfato (mg/L) de aguas a 1,5 – 3,0 m de profundidad con aplicaciones al suelo de 160 m^3/ha/año de purín, STRAUCH (1982). 28
- Tabla RB28: Valores medios de diferentes variables medidas sobre el purín fresco y tamizado, BERTRAND y SMAGGHE (1985). 44
- Tabla RB29: Valores medios de elementos fertilizantes ($Kg.m^{-3}$), FERRER y col. (1983). 70
- Tabla RB30: Contenido medio de elementos minerales en el estiércol licuado de ganado porcinos, de bovino y de aves de corral, CASTILLÓN (1993). 70
- Tabla RB31: Coeficientes de utilización de fósforo de diferentes estiércoles licuados y del fosfato bicálcico en cultivo de Ray Grass de Italia, AMBERGER (1982). 71
- Tabla RB32: Coeficientes de equivalencia del fósforo contenido en las deyecciones de ganado, CASTILLÓN (1993). 71
- Tabla RB33: Porcentaje de nutrientes, respecto al contenido inicial, que son asimilables por las plantas dependiendo del sistema de aplicación, MOORE y GAMROTH (1993). 72
- Tabla RB34: Coeficientes de correlación entre variables analizadas en el estiércol líquido de porcino, LECOMTE (1979). 73
- Tabla RB35: Valores de algunos coeficientes de correlación entre componentes del estiércol líquido de ganado porcino de engorde, DUTHION Y GERMON (1979). 74
- Tabla RB36: Ecuaciones de correlación entre materia seca y densidad de estiércoles líquidos de porcino y contenidos de COD, nitrógeno y fósforo, DUTHION Y GERMON (1979). 74
- Tabla RB37: Ecuaciones de regresión según los autores. 75
- Tabla RB38: Estimación de la composición de purines de ganado porcino en base a la densidad, BERTRAND (1985). 76
- Tabla RB39: Diferentes ecuaciones que relacionan el % de Materia Seca y la densidad de distintos efluentes, según distintos autores. 76
- Tabla RB40:Coeficientes de correlación entre la medida de la materia seca y de las materias minerales y los constituyentes que caracterizan el valor fertilizante, BERTRAND (1993). 76
- Tabla RB41: Relaciones entre contenidos de nutrientes y materia seca, en muestras de purín de explotaciones de engorde en Cataluña, FERRER y col. (1983). 77
- Tabla RB42: Ecuaciones lineales de regresión entre diversos metales pesados y la materia seca de purines de ganado porcino, NICHOLSON y col. (1999). 77
- Tabla RB43: Tanto por ciento de la varianza explicada por cada factor en el análisis de componentes principales de los distintos muestreos, CABANEIRO y col. (1985). 78
- Tabla RB44: Distribución de las variables respecto a los ejes del análisis de componentes principales, CABANEIRO y col. (1985). 78

- Tabla RB45: Ecuaciones de regresión utilizables para la predicción de los contenidos de Nitrógeno y Potasio, BERTRAND (1985). 80
- Tabla RB46: Ecuaciones de regresión entre componentes del estiércol líquido de porcino y vacuno, PICCININI y BORTONE (1991). 80
- Tabla RB47: Comparación de varios métodos de determinación de variables, PICCININI y BORTONE (1991). 81
- Tabla RB48: Comparación de concentraciones de nitrógeno encontradas en soluciones patrón, utilizando un método convencional y uno rápido (Nitrogen Meter), CHESCHEIR y WESTERMAN (1984). 82
- Tabla RB49: Comparación de los contenidos de nitrógeno y potasio, medidos según métodos convencionales y métodos rápidos, BERTRAND (1985). 82
- Tabla RB50: Ecuaciones de regresión simple entre nutrientes principales (mg L^{-1}) y propiedades del purín, Conductividad eléctrica (µS cm^{-1}) y densidad (kg m^{-3}), SCOTFORD y col. (1999). 83
- Tabla RB51: Incrementos de P_2O_5 en el suelo por aplicación de 2200 $m^3.ha^{-1}$ de ELP durante 22 años, VETTER y STEFFENS (1979). 98
- Tabla RB52: Composición media en metales del estiércol líquido de porcino, MEEUS-VERDINNE y col. (1979). 103
- Tabla RB53: Distribución del Nitrógeno de los residuos ganaderos en diferentes fracciones, CEE (1978). 106
- Tabla RB54: Cálculo de los coeficientes de equivalencia de los abonos nitrogenados de los efluentes de ganado porcino, CASTILLÓN (1993). 110
- Tabla RB55: Coeficientes de eficacia según el cultivo, época y modo de aplicación, IRAÑETA y col. (1999). 110
- Tabla RB56: Absorción de nutrientes por el girasol en distintas fases de su desarrollo, LANCHA ZAPICO (1990). 121
- Tabla RB57: Contenido en N, P, K de plantas enteras de girasol en distintas fases vegetativas, BUZINOV y col. (1968). 121
- Tabla RB58: Composición porcentual de elementos nutritivos por órganos y fases de desarrollo, ROBINSON (1970). 121
- Tabla RB59: Porcentaje de extracción de nutrientes en el trigo, HALVORSON y col. (1987). 125
- Tabla RB60: Extracción de nutrientes por la cebada, FAO (1986). 125
- Tabla RB61: absorción de oligoelementos por parte de los cultivos (gha^{-1}), VILAIN (1997). 128

CARACTERIZACIÓN DEL PURÍN (CP)

- Tabla CP1: Resumen Estadístico (Total muestras) 137
- Tabla CP2: Resumen Estadístico (Maternidad) 139
- Tabla CP3: Resumen Estadístico (Ciclo Cerrado) 140
- Tabla CP4: Resumen Estadístico (Engorde) 141
- Tabla CP5: Porcentajes de los contenidos de nitrógeno respecto al nitrógeno total. 142
- Tabla CP6: Porcentajes de las fracciones de fósforo respecto al fósforo total. 143
- Tabla CP7: Proporciones de N total y P total en el purín. 143
- Tabla CP8: Proporciones de Ca y Mg respecto a los contenidos de N total y P total. 143
- Tabla CP9: Comparación de valores medios 145
- Tabla CP10: Contenidos de nutrientes principales en el purín de ganado porcino. 146
- Tabla CP11: Valor fertilizante del purín según autores. 146
- Tabla CP12: Valor fertilizante de diveros purines, SCOTFORD y col. (1998) 147
- Tabla CP13 : Matriz de correlaciones entre variables expresadas sobre materia 149

húmeda.
- Tabla CP14: Matriz de correlaciones entre variables expresadas sobre materia seca. 153
- Tabla CP15: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la materia seca (Total muestras) 163
- Tabla CP16: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la materia seca (Maternidad) 163
- Tabla CP17: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la materia seca (Ciclo Cerrado) 164
- Tabla CP18: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la materia seca (Engorde) 164
- Tabla CP19: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la densidad (Total muestras) 165
- Tabla CP20: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la densidad (Maternidad) 165
- Tabla CP21: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la densidad (Ciclo Cerrado) 166
- Tabla CP22: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la densidad (Engorde) 166
- Tabla CP23: Varianza explicada por los principales factores 169
- Tabla CP24: Relación entre variables y factores principales. 169
- Tabla CP25: Resultados del análisis de regresión múltiple 172
- Tabla CP26: Valores medios, dentro de cada clase, para las tres variables seleccionadas. 173
- Tabla CP27: Valores medios y extremos de las variables dentro de cada agrupamiento. 177

VALOR FERTILIZANTE DEL PURÍN (VF)

- Tabla VF1: Análisis del suelo de la parcela experimental antes de su división (Muestra 0) 180
- Tabla VF2: Composición del purín vertido durante la experiencia. 181
- Tabla VF3: Contenido del purín en elementos fertilizantes principales 181
- Tabla VF4: Calendario de actuaciones 182
- Tabla VF5: Calendario de toma de muestra de planta en los distintos estadios. 182
- Tabla VF6: Calendario de toma de muestra del suelo 183
- Tabla VF7: Observaciones climáticas. Valores medios de los últimos 30 años. 185
- Tabla VF8: Resumen de datos climáticos (Año 1992) 186
- Tabla VF9: Resumen de datos climáticos (Año 1993) 187
- Tabla VF10: Resumen de datos climáticos (Año 1994) 187
- Tabla VF11: Resumen de datos climáticos (Año 1996) 188
- Tabla VF12: Resumen de datos climáticos (Año 1997) 189
- Tabla VF13: Resumen de datos climáticos (Año 1998) 189
- Tabla VF14: Resumen de datos climáticos (Año 1999) 190
- Tabla VF15: Resultados del análisis de varianza para nitrógeno, fósforo y potasio en planta. 193
- Tabla VF16: Estudio de interacciones entre estadios y repeticiones del nitrógeno (Años 1996 y 1998) 194
- Tabla VF17: Análisis de varianza para nitrógeno en los estadios de la planta. 195
- Tabla VF18. Análisis de varianza para el fósforo en los estadios de la planta 197
- Tabla VF19: Análisis de varianza para el potasio en los estadios de la planta 198
- Tabla VF20: Estudio de interacciones entre tratamientos y repeticiones para el potasio. 199

- Tabla VF21: Resultados del análisis de la vairanza para Calcio y Magnesio en planta 200
- Tabla VF22: Estudio estadístico del calcio en el último estadio estudiado 201
- Tabla VF23: Análisis de varianza para el calcio en los estadios de la planta 201
- Tabla VF24: Estudio de interacciones entre tratamientos y repeticiones para el calcio (Año 1994) 201
- Tabla VF25: Análisis de varianza para el magnesio en los estadios de la planta 202
- Tabla VF26: Estudio de interacciones entre tratamientos y repeticiones para el magnesio (Años 1994 y 1996) 203
- Tabla VF27: Resultados del análisis de la varianza para micronutrientes en planta 204
- Tabla VF28: Estudio de interacciones estadio- repetición en el cobre (Años 1992 y 1996)) 205
- Tabla VF29: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el cobre (Años 1992 y 1996) 205
- Tabla VF30: Estudio de interacciones estadio- repetición en el cinc (Año 1992) 206
- Tabla VF31: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el cinc (Años 1994 y 1996) 207
- Tabla VF32: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el cinc (Año 1998) 207
- Tabla VF33: Estudio de interacciones estadio-repetición en el Hierro (Año 1996) 208
- Tabla VF34: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el Hierro (Año 1998) 208
- Tabla VF35: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el Hierro (Año 1998) 208
- Tabla VF36: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el manganeso (Año 1994) 209
- Tabla VF37: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el manganeso (Años 1992 y 1994) 210
- Tabla VF38: Análisis de varianza de la composición y la producción de grano de girasol 211
- Tabla VF39: Valor medio e incrementos de la producción de semilla (4 años) 213
- Tabla VF40: Valor medio e incrementos de la producción de grasa (4 años) 214
- Tabla VF41 : Resultados del análisis de varianza para Nitrógeno, Fósforo y Potasio en planta. 215
- Tabla VF42: Estudio de interacciones tratamiento–repetición en el nitrógeno (Año 1997). 216
- Tabla VF43: Absorción de nitrógeno por la planta en los diferentes estadios (Años 1993 y 1997) 217
- Tabla VF44: Estudio de interacciones estadio-repetición en el nitrógeno (Año 1997) 218
- Tabla VF45: Estudio de interacciones estadio-repetición en el fósforo (Año 1993) 219
- Tabla VF46: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el fósforo (Año 1997) 220
- Tabla VF47: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el potasio (Año 1997) 220
- Tabla VF48: Estudio de interacciones estadio-repetición en el nirógeno (Año 1999) 221
- Tabla VF49: Absorción de nitrógeno por la planta en los diferentes estadios (Año 1999) 222
- Tabla VF50: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el fósforo (Año 1999) 223
- Tabla VF51: Estudio de interacciones estadio-repetición en el potasio (Año 1999) 224
- Tabla VF52: Resultados del análisis de varianza para calcio y magnesio en planta. 225
- Tabla VF53: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el calcio (Año 1993) 226

- Tabla VF54: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el calcio (Año 1993) 226
- Tabla VF55: Estudio de interacciones estadio-repetición en el magnesio (Año 1997) 227
- Tabla VF56: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el magnesio (Año 1997) 227
- Tabla VF57: Estudio de interacciones estadio-repetición en el calcio (Año 1999) 228
- Tabla VF58: Estudio de interacciones estadio-repetición en el magnesio (Año 1999) 229
- Tabla VF59: Resultados del análisis de varianza para micronutrientes en planta. 230
- Tabla VF60: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el cinc (Año 1997) 232
- Tabla VF61: Estudio de interacciones estadio-repetición en el hierro (Año 1997) 233
- Tabla VF62: Estudio de interacciones estadio-repetición en el manganeso (Año 1993) 233
- Tabla VF63: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el manganeso (Años 1993 y 1997) 234
- Tabla VF64: Estudio de interacciones estadio-repetición en el sodio (Años 1993 y 1997) 235
- Tabla VF65: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el sodio (Años 1993 y 1997) 235
- Tabla VF66: Estudio de interacciones estadio-repetición en el cinc (Año 1999) 237
- Tabla VF67: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el cinc (Año 1999) 237
- Tabla VF68: Estudio de interacciones estadio-repetición en el hierro (Año 1999) 238
- Tabla VF69: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el hierro (Año 1999) 238
- Tabla VF70: Resultados del estudio estadístico del grano de cereal 240
- Tabla VF71: Incremento de los rendimientos, respecto al menor, en el cultivo de cebada 244
- Tabla VF72: Resultados del análisis de varianza en suelos para los tratamientos y las repeticiones. 248
- Tabla VF73: Influencia de las repeticiones en los contenidos de nitrógeno según tratamientos 249
- Tabla VF74: Análisis de varianza para el nitrógeno total en las muestras de suelo 250

APÉNDICE 1: ANÁLISIS DE LOS PURINES (AP1) 291

APÉNDICE 2: ANÁLISIS DE LAS PLANTAS (AP2) 299

APÉNDICE 3: ANÁLISIS DE LOS SUELOS (AP3) 315

II. GRÁFICOS

- Gráfico CP1: Regresión entre materia seca y densidad (total muestras) 155
- Gráfico CP2: Regresión entre nitrógeno total y densidad (total muestras) 157
- Gráfico CP3: Regresión entre nitrógeno amoniacal y densidad (total muestras) 158
- Gráfico CP4: Regresión entre fósforo total y densidad 159
- Gráfico CP5: Regresión entre potasio y conductividad 160
- Gráfico CP6: Representación de las variables en función de los factores 1 y 2. 171
- Gráfico CP7: Dendrograma (Análisis Cluster) 174
- Gráfico CP8: Valores medio, mínimo y máximo de la densidad en las seis clases. 175

- Gráfico CP9: Valores medio, mínimo y máximo de la conductividad en las seis clases 176
- Gráfico CP10: Valores medio, mínimo y máximo del pH en las seis clases. 176
- Gráfico VF1: Diagramas ombrotérmicos para el cultivo de girasol (años 1992, 1994, 1996 y 1998) 191
- Gráfico VF2: Diagramas ombrotérmicos para los cultivos de cereales (años 1993, 1997 y 1999) 191
- Gráfico VF3: Contenidos de nitrógeno en planta según los estadios y tratamientos (girasol 92 y 98) 196
- Gráfico VF4: Contenidos de fósforo en planta según los estadios y tratamientos (girasol 92 y 98) 198
- Gráfico VF5: Contenidos de potasio en planta según los estadios y tratamientos (girasol 92 y 96) 199
- Gráfico VF6: Contenidos de calcio en planta según los estadios y tratamientos (girasol 96 y 98) 202
- Gráfico VF7: Contenido de magnesio en planta según los estadios y tratamientos (girasol 96 y 98) 203
- Gráfico VF8: Contenido de cobre en planta según los estadios y tratamientos (girasol 96 y 98) 206
- Gráfico VF9: Contenido de cinc en planta según estadios y tratamientos (girasol 92 y 98) 207
- Gráfico VF10: Contenidos de hierro en planta según estadios y tratamientos (girasol 92 y 98) 209
- Gráfico VF11: Contenidos de manganeso en planta según estadios y tratamientos (girasol 92 y 96) 210
- Gráfico VF12: Contenidos de sodio en planta según estadios y tratamientos (girasol 92 y 98) 210
- Gráfico VF13: Valores medios del contenido en grasa y la producción de semilla en los cuatro años de cultivo de girasol 213
- Gráfico VF14: Producción media de grasa en los cuatro años de cultivo 214
- Gráfico VF15: Contenidos de nitrógeno en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93 y 97) 218
- Gráfico VF16: Contenidos de fósforo en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93 y 97) 220
- Gráfico VF17: Contenidos de potasio en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93 y 97) 221
- Gráfico VF18: Contenidos de nitrógeno en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99) 222
- Gráfico VF19: Contenidos de fósforo en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99) 223
- Gráfico VF20: Contenidos de potasio en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99) 224
- Gráfico VF21: Contenidos de calcio en planta según los estadios y tratamientos (cebada 97) 226
- Gráfico VF22: Contenidos de magnesio en planta según los estadios y tratamientos (cebada 97) 228
- Gráfico VF23: Contenidos de calcio en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99) 229
- Gráfico VF24: Contenidos de magnesio en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99) 229
- Gráfico VF25: Contenidos de cobre en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93) 231

- Gráfico VF26: Contenidos de cinc en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93) 232
- Gráfico VF27: Contenidos de hierro en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93) 233
- Gráfico VF28: Contenidos de manganeso en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93) 234
- Gráfico VF29: Contenidos de sodio en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93) 236
- Gráfico VF30: Contenidos de cobre en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99) 236
- Gráfico VF31: Contenidos de cinc en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99) 237
- Gráfico VF32: Contenidos de hierro en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99) 238
- Gráfico VF33: Contenidos de sodio en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99) 239
- Gráfico VF34: Contenidos de nitrógeno en semilla según los tratamientos (cebada 97) 241
- Gráfico VF35: Contenidos de fósforo en semilla según los tratamientos (cebada 93 y 97) 241
- Gráfico VF36: Contenidos de potasio en semilla según los tratamientos (cebada 93) 242
- Gráfico VF37: Contenidos de calcio en semilla según los tratamientos (cebada 93 y 97) 242
- Gráfico VF38: Producción media de semilla en los dos años de cultivo de cebada (93 y 97) 244
- Gráfico VF39: Contenidos de nitrógeno en semilla según los tratamientos (trigo 99) 245
- Gráfico VF40: Contenidos de fósforo y potasio en semilla (trigo 99) 245
- Gráfico VF41: Contenidos de calcio en semilla (trigo 99) 246
- Gráfico VF42: Contenidos de magnesio en semilla (trigo 99) 246
- Gráfico VF43: Contenidos de cinc en semilla (trigo 99) 247
- Gráfico VF44: Producción de semilla (trigo 99). 247

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

Tradicionalmente la producción porcina se ha caracterizado por un relativamente pequeño número de animales localizados en granjas próximas a la producción de cultivos como fuente primaria de alimentos. Sin embargo, actualmente la producción de cerdos es más intensiva y concentrada, caracterizada por grandes explotaciones que dependen, para la adquisición del alimento de los animales, de fuera de la granja.

En España, en el período comprendido de 1985 a 1998, prácticamente se ha duplicado el número de cabezas de ganado porcino, lo que le coloca en el segundo lugar de Europa. La ganadería porcina en Castilla y León ocupa uno de los primeros lugares de las Comunidades Autónomas de nuestro país. Evidentemente este aumento de la producción va acompañado de un notable incremento en el volumen de residuos producidos.

Inicialmente, las explotaciones ganaderas contaban con estercoleros y depósitos para almacenar estos residuos que se producían en la crianza del ganado, utilizándolos después como abono para los cultivos. Para ello, se mezclaban los efluentes líquidos y sólidos con abundante paja, lo que conseguía que se produjeran pocos lixiviados. Además, la baja concentración de ganado en las granjas no producía excedentes, ya que se contaba con la suficiente base territorial para absorber la producción.

El equilibrio entre producción y utilización de los residuos porcinos se modificó al producirse una elevada concentración de explotaciones en unas zonas concretas. Tal situación, por una parte, puede resultar beneficiosa en tanto que supone la instalación de granjas de tipo industrial que se ven rodeadas de toda una infraestructura de industrias y servicios (mataderos, industrias cárnicas..); infraestructura que contribuye a la creación de riqueza y al aumento y estabilidad de la población. Por otra parte, se produce un cambio en el manejo de los residuos de forma que, al utilizar agua a presión en la limpieza de los establos, provoca su dilución y el incremento en el volumen final obtenido, apareciendo problemas de acumulación.

A causa de este aumento de la producción, de la concentración de las explotaciones y de la forma de presentación del residuo, los problemas asociados con la calidad del aire y del agua plantean un serio reto. El control del olor ha llegado a ser el asunto principal debido a la cercanía de poblaciones. Las pérdidas de amonio de los residuos animales han supuesto la mayor preocupación medioambiental en el norte de Europa durante la pasada década. La emisión de otros gases asociados con la producción animal, como metano, también provoca importantes consecuencias medioambientales.

La producción ganadera intensiva provoca, en consecuencia, un desequilibrio de la agricultura y la ganadería al no disponer de base territorial, con lo que se añaden problemas de almacenaje adecuado; y puede llegar a provocar contaminación de suelo y agua por el uso agrícola inadecuado o por el vertido directo, atendiendo más a criterios de necesidad de vaciado de la fosa.

Junto a estos problemas mencionados, se plantea el hecho de que los vertidos indiscriminados provocan contaminación química y microbiológica del suelo y de las aguas, tanto superficiales como profundas, además de la aparición de olores molestos.

Por último, no hay que ignorar los problemas de tipo sanitario ocasionados por el manejo de residuos ganaderos ya que, por una parte, son vectores de enfermedades transmisibles por bacterias, virus, hongos, protozoos y parásitos; y, por otra, no se produce la desinfección del purín, como ocurría con el estiércol sólido, al generarse calor por el metabolismo exotérmico de la flora microbiana presente en él.

La moderna nutrición del ganado porcino consiste, generalmente, en una base de concentrados: es decir, cereales altamente energéticos con pequeña proporción de forraje. Es absolutamente esencial proveer al ganado porcino de una alimentación propia debido a su fuerte crecimiento en proporción con su peso corporal. La mayor parte de los nutrientes, inicialmente presentes en la alimentación, recorren el sistema digestivo del animal y son por fin excretados a través de las heces, lo que provoca altos contenidos en las deyecciones.

Las prácticas de manejo del efluente varían grandemente en función de los objetivos del productor porcino, ya sea optimizar la reconversión y utilización de nutrientes, minimizar las necesidades de suelo y tareas, controlar el olor, o la unión de todos ellos. Por combinación de objetivos de manejo con factores tales como la cantidad de suelo disponible, labor, clima y regulaciones locales, puede desarrollarse un plan de utilización apropiado de residuos, que incluirá consideraciones sobre la forma y procedencia de nutrientes, la cantidad de nutrientes que pueden ser manejados, su apropiado emplazamiento y el momento de aplicación al suelo.

La utilización de efluentes ganaderos como fertilizante es, seguramente, la solución más usada, al requerir inversiones de bajo coste y proporcionar los mayores beneficios económicos, considerando los precios crecientes de los fertilizantes minerales. Es esencial reducir el volumen de agua utilizada en el lavado con el fin de conseguir un residuo más concentrado y rico en unidades fertilizantes.

En efecto, los efluentes porcinos son una excelente fuente de nutrientes para los sistemas de producción de cultivos en agricultura, horticultura y forestales. Sin embargo, existen limitaciones a su uso en cuanto al almacenaje y transporte de grandes cantidades. Además, existe la dificultad añadida de conseguir una uniformidad en la aplicación al suelo, resultando áreas con exceso de nutrientes y otras deficitarias.

La composición del purín será determinante para realizar un vertido apropiado al campo y evitar los problemas planteados por vertidos excesivos. El desarrollo de métodos rápidos de caracterización para los purines de una determinada zona, será de gran ayuda en este cometido.

La proporción de nutrientes liberada por el estiércol y, por tanto, su asimilabilidad está influenciada, en la mayor parte de los suelos, por factores ambientales que dificultan la realización de una predicción segura antes de la aplicación; y ésta se realiza en función del requerimiento de nitrógeno por parte del cultivo. Sin embargo, la fracción de nitrógeno que está presente inicialmente en forma

orgánica, llegará a ser asimilable por la plantas tras un proceso de mineralización por los microorganismos del suelo.

Para determinar la cantidad de nutrientes en el estiércol que llegarán a ser asimilables finalmente por los cultivos, es necesario combinar muchos factores. Las experiencias de campo en zonas determinadas, con los cultivos habituales y el clima, permitirán conocer hasta qué punto son extrapolables los datos aportados por la bibliografía.

La tendencia que se observa es a homogeneizar y desodorizar los residuos destinados a fertilizantes. En las explotaciones que no dispongan de suficiente superficie agraria, será preciso realizar algún tipo de tratamiento.

El purín es susceptible de diversas transformaciones físicas y químicas que modifican su composición y características y, en consecuencia, su poder contaminante. A pesar de los esfuerzos realizados, no se ha encontrado ningún sistema que elimine todos los problemas; y los que obtienen mejores resultados son inaplicables por su elevado coste.

Por último cabe señalar que la problemática medioambiental de la ganadería intensiva en general y la porcinocultura en particular, está incidiendo en algunos países de la Unión Europea sobre la producción actual y el desarrollo futuro del sector. Con objeto de prevenir en España esta situación (y según se establece en la disposición adicional quinta de la Ley 10/1998, de residuos, sobre la regulación del uso de estiércol en las explotaciones agrarias), el nuevo Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo -que establece normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas-, ha incorporado una serie de medidas de carácter medioambiental que regulan las explotaciones ya existentes y permiten un futuro desarrollo ordenado del sector, cumpliendo con las condiciones medioambientales.

OBJETIVOS DEL TRABAJO:

El trabajo que se plantea contempla tres objetivos fundamentales:

1. Caracterizar el purín de ganado porcino en una amplia selección de explotaciones de la región Castellano-Leonesa. El conocimiento de la composición del purín facilitará el cálculo de la dosis correcta de vertido; y, por tanto, además de reducir los riesgos de contaminación de aguas y suelos, debidos a aplicaciones excesivas, permitirá establecer correlaciones, estadísticamente significativas, entre el contenido en parámetros fácilmente medibles, y el contenido de nutrientes, con el objetivo de disponer de un método rápido de determinación del valor fertilizante.

2. Determinar la cantidad de nutrientes del purín de porcino que llegarán a ser asimilables realmente por el cultivo; se prestará especial atención al nitrógeno mediante la realización de experiencias de campo durante varios años en la provincia de Segovia, utilizando las rotaciones de cultivo habituales de la zona: cereales y el girasol.
3. Establecer las bases para el diseño de un óptimo plan de fertilización en los cultivos ensayados, teniendo en cuenta los suelos y la climatología de la zona.

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Aunque este trabajo se refiere a los efectos que la utilización del purín de ganado porcino como fertilizante ejerce sobre el suelo y los cultivos, la revisión bibliográfica se extenderá a otros aspectos relacionados con las posibles contaminaciones originadas por el purín y con los sistemas de tratamiento utilizados para la gestión.

Ante la diversidad de expresiones utilizadas para designar los materiales relacionados con las deyecciones que se producen en una explotación intensiva de ganado porcino, se comenzará por definir las empleadas por cada uno de los autores.

2.1. DEFINICIONES

ESTEBAN TURZO (1993) habla de lo compleja que es la composición de los residuos ganaderos, que están formados por materias orgánicas en suspensión, así como por elementos y compuestos minerales acompañados de poblaciones microbianas.

De acuerdo con las definiciones aportadas por THIBAUDEAU (1997), el residuo producido en una explotación ganadera se puede agrupar en tres clases:

- **Estiércol.** Dentro del estiércol existen diferencias entre el sólido y el semi-líquido o pastoso: el sólido contiene una proporción menor del 85% de agua y está formado por una mezcla de excrementos de animales y de cama más o menos descompuesta, en la proporción de una parte de cama por dos de excrementos; por contra, el estiércol semi-líquido o pastoso contiene aproximadamente un 85% de agua, la cantidad de cama es más escasa que en los estiércoles sólidos y se le manipula en forma líquida.

- **Lisier:** su contenido de agua es superior al 85% y la mezcla formada por excrementos del animal contiene poco o nada de cama y aguas de dilución.

- **Purín,** constituido por la parte líquida que fluye de la pila de estiércol y que contiene la fracción líquida de los excrementos y la orina así como aguas de lavado, escapes de bebederos y aguas de lluvia. Otros autores establecen el contenido de agua en el purín en cantidad igual o superior al 90%, HUNTLEY y col. (1997).

TORRES (1993), considera al "estiércol" como el producto resultante de la maduración de los excrementos, mezclados con cama en lugares apropiados llamados "estercoleros". Los líquidos procedentes de este estercolero son los denominados "purines".

SAINZ (1990) considera al "purín" como una mezcla de agua y materia orgánica en fermentación que da lugar a un desprendimiento de amoníaco. Por otra parte define "lisier" como una mezcla de deyecciones de procedencia animal, fundamentalmente de ganado porcino, obtenidas al ser manipuladas para su manejo. ORÚS (1993) lo denomina EFP (estiércol fluido de porcino) y opina que la palabra "purín" no se corresponde con la definición aportada por el Diccionario de la Real Academia de la Lengua que lo define como "la parte líquida que rezuma del estiércol", R. A. L. (1992).

Para BERTRAND (1993), existen tres tipos de deyecciones porcinas: los estiércoles licuados, los estiércoles sólidos y las camas de paja biomanejadas.

Junto con este autor, FLOWERS y ARNOLD (1983); URBANO TERRÓN (1985); MEEUS-VERDINNE Y DESTAIN (1993), BERTRAND (1993) denominan "estiércol licuado" a las deyecciones sólidas y líquidas junto con las aguas de lavado y pequeñas cantidades de residuos de alimentos. Esta es la descripción que GONZÁLEZ (1992) da para el material que denomina purín.

CARBALLAS FERNÁNDEZ (1991) define al purín como producto de la fermentación de los excrementos de ganado, con el agua de lavado de las granjas, en aquellas que tienen la fosa de almacenamiento cerrada o en el interior, y con el agua de lavado y el agua de lluvia, en las que tienen la fosa abierta o en el exterior.

EDEL (1982), al igual que anteriormente RANKIN Y TAYLOR (1969) y WRAY (1975), define el purín como una mezcla líquida o semi-líquida de heces, orina y agua con pequeñas cantidades de cama u otros materiales añadidos.

No hacen falta más ejemplos, para poner de manifiesto la dificultad de llegar a un criterio único. Sin embargo, la amplia utilización en las explotaciones de purines del sistema de slats sin cama, han generalizado la denominación de "purines" para el producto semisólido obtenido en las explotaciones, conocido en Francia como "lisier", pudiéndose denominar también "estiércol líquido".

En esta revisión bibliográfica, se utilizarán las denominaciones "purín" o "estiércol licuado" en un intento de respetar las preferencias de los autores. En el resto del trabajo se empleará el término "purín" según la acepción utilizada por EDEL (1982).

2.2. ASPECTOS CUANTITATIVOS

2.2.1. CENSO GANADERO

La intensificación ganadera ocurrida en los últimos años conlleva la instalación de granjas de tipo industrial, que en muchas ocasiones no disponen de base territorial y por tanto se produce un desequilibrio entre los sectores agrícola y ganadero que conduce a la acumulación de los residuos con los consiguientes problemas de almacenamiento y de contaminación, NAVAROTTO (1982), OVER (1982), GUIJARRO LACASA (1993); RODRIGUEZ FERRI (1993); HUNTLEY y col. (1997).

Los datos, referidos a la producción mundial de ganado porcino, en millones de animales, facilitados por U. S. Department of Agriculture Agricultural Statistic 1995, son los siguientes: R. P. China 415; U. S. A. 60; Brasil 32; Federación Rusa 25; Alemania 25; Polonia 19; España 18; Francia 15; Ucrania 14 y Holanda 14. Estas cifras son muy similares a las facilitados por el "Anuario de producción" de la FAO de 1995.

En España, muchas de las explotaciones no disponen de esta base territorial, GUIJARRO LACASA (1993). Por lo que respecta a la Comunidad de Castilla y León (tabla RB1) existe, por un lado, una cantidad relativamente baja de explotaciones (3,7%) que concentran el 23% de cabezas de ganado situadas en unas determinadas

zonas con muy baja disponibilidad de superficie agrícola utilizada, SAU (< 1 ha) y que, por tanto, se encontrarán con problemas a la hora de gestionar adecuadamente sus residuos. El extremo opuesto viene representado por las explotaciones con más de 100 ha de SAU (8,5%), más del doble de las anteriores y que sin embargo localizan menos cabezas de ganado (20%).

La distribución de los animales según su estado fisiológico, sigue manteniendo esta tendencia, aunque de forma menos acusada. El 20,6% de los lechones de menos de 20 kg de peso se sitúan en las explotaciones con menos de 1 ha de SAU (4,7% del total de explotaciones de este tipo) y el 18,4% de estos mismos animales se localizan en explotaciones de superficie igual o superior a 100 ha de SAU (14,5%).

Para cerdas madres y de reposición la situación mejora: el 17% de los animales se localiza en un 4,8% de explotaciones con menos de 1 ha de SAU y, sin embargo, es mayor el número de animales (23%) que disponen de al menos 100 ha de SAU. Por lo que respecta a otros porcinos, entre los que se encuentran los de engorde, el 4,6% de las explotaciones poseen menos de 1 ha de SAU, gestionando el 28% de los animales, y el 10,9% de explotaciones (20% de animales) dispone de más de 100 ha de SAU.

Tabla RB1: Tamaño de las explotaciones de ganado porcino en Castilla y León (año 1997), según la SAU

Tamaño de la explotación según SAU[1]	Total porcinos		Lechones < 20 kg		Cerdas madres y reposición		Otros porcinos	
	Explotaciones (nº)	Cabezas (nº)	Explotaciones (nº)	Cabezas (nº)	Explotaciones (nº)	Cabezas (nº)	Explotaciones (nº)	Cabezas (nº)
Todas las explot.	25545	2002847	8193	684559	14372	404525	15617	913763
<1 ha de SAU	946	462397	384	141148	700	69056	720	252193
de 1 a < 2 ha	962	17489	137	5932	394	7381	732	4176
de 2 a < 5 ha	2406	90892	539	23854	818	1135	1813	50904
de 5 a < 10 ha	2382	150895	618	50339	1131	33031	1879	67525
de 10 a < 20 ha	3468	242387	1481	87865	2466	46616	2251	107907
de 20 a < 30 ha	2897	168408	948	50268	1983	3386	2064	86754
de 30 a < 50 ha	3055	204493	1551	87653	2575	56081	2043	60759
de 50 a < 100 ha	3256	246589	1351	111709	2482	51691	2416	101190
100 ha	2172	401296	1185	125791	1824	93149	1698	182357

Fuente: INE. Encuesta sobre la estructura de las explotaciones agrícolas 1997.
Anuario estadístico de Castilla y León (2000). Junta de Castilla y León.
[1] Superficie agrícola utilizada. Constituida por tierras de cultivo labradas, prados, praderas y pastizales.

La ganadería constituye una de las actividades fundamentales de Castilla y León ocupando, si se tiene en cuenta el censo de todas las especies ganaderas, extensivas e intensivas, el primer lugar de las comunidades autónomas de España. Sin embargo, aunque no es fácil aportar datos precisos de censo debido a la evolución constante que registra la cabaña ganadera, según las últimas encuestas, Castilla y León ocupa, en el censo de ganado español, el primer lugar en ganado bovino, ovino y aves y el segundo lugar en porcino, alternando esta posición con Aragón, ESTEBAN TURZO (2000).

No obstante, la distribución por provincias de la Comunidad es muy heterogénea y, por lo que respecta al sector porcino (año 1997), se encuentra muy localizado en la provincia de Segovia (40%), seguido de Zamora (13,4%), Salamanca (13%), Soria (9,8%), Burgos (9,1%) y Valladolid (8,5%). Los porcentajes más bajos corresponden a Palencia (1,3%), Avila (1,7%) y León (3%). Es preciso destacar que últimamente se está produciendo un incremento del desarrollo ganadero porcino en algunas provincias,

clásicas en la producción porcina, como Segovia, Burgos, Zamora y Salamanca, así como en otras en las que este desarrollo no es tan notable.

2.2.2. CANTIDADES DE SUBPRODUCTOS

Como ya se ha comentado, la producción intensiva del ganado porcino provoca la concentración de explotaciones, y por tanto de residuos, en unas zonas concretas; sin embargo, se produce menor cantidad de residuos por unidad productiva que los que se producían en la ganadería extensiva, disminuye el consumo de piensos en un 15-20 % y mejora la eficiencia productiva del ganado, pasando de ser 3,2-3,3 en régimen extensivo a 3,9-4,0 en régimen intensivo, COLL BATLLORI (1993).

Tendencias similares se observan en otros países europeos como Italia, NAVAROTTO (1982); Alemania, STRAUCH (1982a), BISAILLON y col. (1984) y WINKLER (1991); Francia, SCHELLENBERG (1982); Países Bajos, OVER (1982) y WINKLER (1991) e Irlanda, KELLY y COLLINS (1982).

Los datos aportados por los anuarios de estadística agraria (tabla RB2), reflejan esta situación. En Castilla y león, entre los años 1985 y 1996, se produce un incremento del 57% en el número de animales mientras que, los incrementos en la producción de estiércol son sólo del 11%. Esta tendencia no se mantiene al hablar del total de animales en España al obtenerse, en el mismo intervalo de tiempo, mayores incrementos en la producción de estiércol (63%) que en el número de animales (55%).

Tabla RB2: Evolución del nº de animales y de la producción de estiércol de ganando porcino en España y en Castilla y León.

Año	España		Castilla y León	
	Nº animales (miles de animales)	Producción de estiércol (miles de toneladas)	Nº animales	Producción de estiércol (miles de toneladas)
1985	11960	13209	1 647 946	2329
1986	13387	15588	1 943 699	2509
1987	17303	16813	2 805 114	3410
1988	16614	17653	2 746 568	3774
1989	16911	17762	2 584 821	3299
1990	16001	18513	2 547 133	3217
1991	17110	19160	2 810 065	3226
1992	18260	19837	2 940 703	3052
1993	18234	18482	2 815 592	2670
1994	18345	21841	2 771 543	2665
1995	18163	21489	2 397 587	2971
1996	18652	21586	2 597 414	2608
1997	19556	-	3 093 340	2718
1998	21783	-	3 307 809	-

Fuente: Anuario de estadística agroalimentaria. MAPA 1999.
Anuario de estadística agraria de Castilla y León. Junta de Castilla y León 1997

Por lo que respecta al volumen de deyecciones producidas por los animales, existe disparidad en los datos aportados por los distintos autores. GONZÁLEZ (1992) y LEVASSEUR (1998b) atribuyen esta variación a la especie, estado fisiológico y alimentación del animal. Es clara la influencia decisiva de este último factor de variación, si se comparan los volúmenes (litros/día) reflejados en la tabla RB3.

Tabla RB3: Niveles de producción de purines de ganado porcino, según el estado fisiológico del animal.

Autor		GONZÁLEZ (1992)		TORRES (1993) [1]	DE JUANA SARDÓN (1983)		
Estado fisiológico del animal		Peso vivo (kg)	Deyecciones (litros/día)	Deyecciones (litros/día)	Peso vivo (kg)	Valores extremos (litros/día)	Valor medio (litros/día)
Verracos				15	120 – 180	6,5 – 10	8
Cerdas lactantes + Lechones			10	20	150 – 180	6,5 – 15	12
Gestantes			7	12			
Engorde		50	5		50 - 80	3 – 5,5	4
Engorde	Harina	100	7	7			
	lactosuero	100	12	12	> 80	4 – 7	5,5
Lechones destete				2	15 – 30	1 – 3	2
Lechones		2	7		1 – 15	0,5 – 1,5	1
Cerdas jóvenes					90 – 140	5 – 10	6

[1] Fuente: "L´ elevage porcin et l´ environnement". ITP-1984

En el seguimiento realizado por CALVO IRUEGA (1996), sobre una explotación intensiva de ganado porcino, obtuvo producciones medias de purín de 3-4 litros/día para lechoneras, 10 litros/día para gestación y 22 litros/día en maternidad.

Más recientemente, IRAÑETA y col. (1999) establecen para la producción de purín de porcino, en m^3 por plaza y año, valores de 8,4 (maternidad, gestantes y destete), 1,56 (cebo de 20 a 104 kg de peso vivo) y 0,96 (precebo de 5,5 a 20 kg de peso vivo).

TUNNEY (1979) aporta producciones de purín de ganado porcino y sugiere que una cerda y sus crías dan origen a 14 kg $día^{-1}$ y el ganado de engorde produce aproximadamente 4,5 kg $día^{-1}$.

Para estimar el volumen de deyecciones producidas al año, y así dimensionar adecuadamente la fosa de recogida, TORRES (1993) estima que deberá tenerse en cuenta el número de animales cuyas deyecciones se van a almacenar en la fosa en función del tiempo de presencia de los animales en la explotación, el cual dependerá del estado fisiológico del animal. Además, habrá que añadir un volumen extra de bebederos, frecuencia de limpieza, etc. El volumen de fosa necesario será función, además de la producción, de las aguas de escorrentía que van a parar a ella (si es abierta), que se calcularán según la superficie de la fosa y la pluviometría, y la frecuencia de vaciado de la fosa, que dependerá de la superficie disponible para el vertido, los cultivos y las condiciones climáticas de la zona. Por último el autor aconseja prever una capacidad suficiente para almacenar la producción de 3 a 6 meses. Estos factores también son considerados por LEVASSEUR (1998b).

Asimismo, se han utilizado diversos modelos para predecir la producción de purín en granjas de ganado porcino, estableciendo relaciones entre la comida, el agua y el purín producido, o bien mediante los datos aportados por la bibliografía, o mediante una evaluación de la digestibilidad de la comida y del agua. Combinando los mejores aspectos comtemplados en los dos últimos métodos, puede obtenerse una predicción satisfactoria tanto del volumen como de la producción y contenido de materia seca del purín, WILLIAMS y STREADER (1990).

Las comparaciones son difíciles porque no coinciden los grupos fisiológicos, establecidos por cada autor, y, con frecuencia, no se indica el tipo de alimentación a que están referidos los datos aportados.

Sin embargo, para que una determinada explotación de ganado porcino pueda justificar que dispone de la superficie necesaria para aplicar al suelo los purines que produce, deberá cumplir lo establecido en el Real Decreto 324/2000 sobre normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas.

2.3. COMPOSICIÓN

Desde el punto de vista físico, los purines están formados por un material heterogéneo de color oscuro constituido por las deyecciones sólidas y líquidas, restos de alimentos del ganado y agua procedente del lavado de los establos que se encuentra en fosas, a las que se une el agua de lluvia si estas son abiertas, BERTRAND (1993).

COPPENET (1974) establece además, que las deyecciones sólidas están formadas por fracciones no digeridas de alimentos junto con constituyentes de origen interno, como jugos digestivos, células epiteliales y microorganismos y los productos de su actividad. Las fracciones no digeridas de alimentos están formadas por tejidos lignificados, epidermis incrustadas de cutina si el animal consume gramíneas, y fragmentos de parénquima, si consume plantas jóvenes y hojas. Además, las deyecciones sólidas contienen glúcidos como lignina, celulosa, lignocelulosa y hemicelulosa, junto con aminoácidos y polipéptidos no digeridos.

Dependiendo de que se trate de estiércol sólido o pastoso, de lisier o de purín, los resultados de los análisis para estudiar su composición serán muy diferentes. Los valores medios de estas formas de residuos ganaderos se presentan en la tabla RB4.

Tabla RB4: Composición media de diferentes tipos de residuos ganaderos, THIBAUDEAU (1997).

TIPO DE ABONO	M. S. (%)	N-TOTAL (Kg/t)	$N\text{-}NH_4^+$ (Kg/t)	P_2O_5 (Kg/t)	K_2O (Kg/t)	C/N
Estiércol de bovino con paja	25,5	5,5	1,5	4,0	5,5	14,0
Estiércol de bovino con serrín	36,0	5,5	0,5	4,5	5,0	28,0
Estiércol de bovino pastoso	9,0	4,0	1,5	1,5	3,5	11,5
Estiércol de ave de corral	23,5	53,5	6,0	23,5	11,5	10,5
Purín de bovino	3,0	2,0	1,5	1,5	2,5	5,0
Lisier de bovino	11,0	2,5	1,0	1,5	3,5	11,0
Lisier de porcino de cebo	3,5	3,5	2,5	2,5	2,0	3,5
Lisier de porcino de maternidad	3,5	4,0	2,0	3,0	1,5	3,0

Asimismo, desde el punto de vista químico, el purín presenta una gran complejidad. A pesar de tener una composición cualitativa similar (agua, materia orgánica, macroelementos, elementos secundarios y microelementos), su composición cuantitativa es muy variable. Ésta depende de diversos factores como el tipo de animal, y dentro de la misma especie, de la edad, tipo de alimentación y manejo del animal.

Otros factores a tener en cuenta son la utilización o no de cama, su tipo y la mayor o menor incorporación de agua y la forma de almacenamiento, DUTHION Y GERMON (1979), HOBSON y ROBERTSON (1977); NAVAROTTO (1982), POMAR GOMÁ (1984); VAN FAASSEN y VAN DIJK (1987); DESTAIN y col.

(1992), BERTRAND (1993); TORRES (1993), CASTILLÓN (1993); MOORE y GAMROTH (1993); IRAÑETA y col. (1999).

Además de una cantidad de materia orgánica, los purines contienen como elementos principales nitrógeno (gran parte en forma orgánica), fósforo y potasio (sobre todo en forma inorgánica), junto con cantidades apreciables de elementos secundarios (calcio, magnesio y sodio) y de oligoelementos (fundamentalmente hierro, cobre y cinc), ATALLAH (1993).

Algunos de los autores mencionados aportan datos de producción, características y composición del purín de gando porcino, reflejados en las tablas RB5 y RB6.

Tabla RB5: Producción de nutrientes en el purín de ganado porcino, según el estado fisiológico del animal, MOORE y GAMROTH (1993).

Tipo de animal	N	P	K
	g día^{-1}		
Lechón	8,2	2,4	4,5
Cerdo engorde	15,4	4,5	9,1
Cerdo final engorde	35.4	10,4	20,4
	47,2	16,3	26,8
Cerda gestante	31,3	10,4	18,1
Cerda y cama	45,4	14,1	24,5
Verraco	36,7	10,4	23,1

Tabla RB6: Producción de estiércol y características por cada 450 Kg de peso vivo, NAVAROTTO (1982).

Variable	Unidad	Porcino	
		Cebo	Reproductor
Producción	Kg/día	29,5	22,7
Relación heces/orina		1,2	
Densidad	Kg/m3	1010	1010
Sólidos totales (ST)	Kg/día	2,7	1,9
	% RW	9,2	8,6
Sólidos volátiles	Kg/día	2,2	1,4
	% ST	80,0	75,0
DBO5	% ST	33,0	30,0
DQO	% ST	95,0	90,0
Nitrógeno total	% ST	7,5	
Fósforo	% ST	2,5	
Potasio	% ST	4,9	

En la experiencia realizada en Bélgica por LECOMTE (1979) se aportan valores medios de composición de 234 muestras de purines de porcino y 82 de vacuno (tabla RB7).

Tabla RB7: Valores medios y coeficientes de variación de la composición de estiércoles líquidos de porcino y vacuno, LECOMTE (1979).

Variable	Estiércol líquido de porcino				Estiércol líquido de vacuno			
	Valor medio (%)	C. V. (%)	Valor medio (%)	C. V. (%)	Valor medio (%)	C. V. (%)	Valor medio (%)	C. V. (%)
	Base húmeda		Base seca		Base húmeda		Base seca	
Materia Seca	7,43	51,58			8,31	31,53		
Materia Mineral	1,94	42,27	28,11	23,13	1,82	25,70	24,06	43,62
Materia Orgánica	5,50	55,19	71,89	8,81	6,50	35,90	75,94	18,83
N- Total	0,55	32,94	8,89	44,91	0,37	19,16	4,90	53,00
$N\text{-}NH_4^+$	0,33	30,60	5,50	48,17	0,18	23,00	2,42	51,46
P_2O_5	0,40	61,22	5,37	39,04	0,23	56,95	2,80	46,50
K_2O	0,40	29,42	6,97	64,65	0,58	33,49	7,44	43,52
CaO	0,33	57,68	4,70	44,13	0,39	55,10	5,18	65,37
MgO	0,11	51,32	1,55	39,52	0,16	52,54	1,98	63,20

Los diferentes tipos de estiércoles líquidos utilizados en la experiencia anterior, poseen propiedades muy diferentes. El de porcino es rico en N, P_2O_5 y K_2O, aunque la relación P_2O_5/K_2O es muy variable entre las distintas muestras. Sin embargo, el de vacuno contiene mayor cantidad de K_2O pero menos N y P_2O_5.

Los elevados coeficientes de variación obtenidos para las variables demuestran la heterogeneidad de las muestras, GONZÁLEZ y col (1990a). Algunos autores como LECOMTE (1979), consideran que el contenido en materia seca no es el responsable de esta variabilidad puesto que dichos coeficientes no se reducen al expresar los resultados respecto a la materia seca. Otros factores como el grado de mezcla del material, tipo de explotación y dieta del animal, son también determinantes de la composición.

GERMON y col. (1979) estudian la composición de los estiércoles líquidos de porcino en 40 explotaciones de Francia, encontrando valores en elementos fertilizantes inferiores a los de HEDUIT y col. (1977) aunque con menor contenido en materia seca, y valores comparables a los obtenidos por TUNNEY y MOLLOY (1975a). El 60% del nitrógeno se encuentra en forma amoniacal. La fracción sólida contiene un 80% de la materia seca, el 67% de la materia mineral y un 75% de COD y calcio, así como la mayor parte del fósforo, magnesio, cobre y cinc, DUTHION y col. (1979).

Si se piensa en las condiciones de alojamiento, en las diferencias que presentan en lo referente al manejo y, sobre todo, respecto a la alimentación y materias primas para formularla, es lógico concluir que existirán diferencias en la composición del estiércol líquido de porcino, STEWART (1968); DUTHION y GERMON (1979); FERRER y col. (1983).

Por otra parte, los diferentes tipos de unidades de producción pueden influir también en la composición del estiércol líquido de porcino, ya que el manejo y la alimentación son también distintos, siendo corriente encontrar fosas de recogida del efluente distintas para los diferentes estados fisiológicos, FERRER y col. (1983). Estas diferencias son evidentes en los datos de composición media de los purines de porcino aportados por los distintos autores y reflejados en la tabla RB8.

Tabla RB8: Composición media del purín de ganado porcino según diversos autores.

Variable	Duthion (1979)	Germon y col. (1979)	(1)	Ferrer y col. (1981)			Voorburg (1991)	Meeus-Verdinne y Destain (1993)
	Kg m^{-3}	Kg m^{-3}	%	Kg m^{-3}	% SMF	Kg t^{-1}	g Kg^{-1}	Kg t^{-1}
pH	7,4	7,28						
Densidad	1023	1029,4						
Mat. Seca	45,3	62,2	8,2 SMF	53,35	5,20		15-157	
Mat. Mineral	14,1	19,7	31,2 SMS					
Mat. Org.	46,8 (COD)	60,9 (COD)		36,42	3,55	68,27		
Total-N	4,48	5,1	8,1 SMF	4,28	0,42	8,02	2,5-6,5	5,5
Org-N				1,28	0,12	2,40		
NH_4-N	2,86	3,0		3,00	0,29	5,62	1,3-5,5	
P_2O_5	1,31 (P)	2,1 (P)	7,1 SMF	3,18	0,31	5,96	0,3-11,9	6,0
K_2O	1,73 (K)	2,2 (K)	2,8 SMF	2,76	0,27	5,17	2,4-10,8	2,5
Mg	0,60	0,79	1,5 SMS	0,51	0,05	0,96	0,2-3,0	1,5 (MgO)
Ca	1,39	4,0	4,8 SMS	2,15	0,21	4,04	0,5-15,2 (CaO)	5,0 (CaO)
Na		0,50	1,1 SMS	0,92	0,09	1,73	0-3,3 (Na_2O)	1,0
	g m^{-3}	g m^{-3}	ppm	g m^{-3}	ppm	ppm	µg g^{-1}	g t^{-1}
Fe			2620 SMS	60,6	62	1192		355
Mn			576 SMS	15,4	16	308		43
Cu	37	52,9	838 SMS	35,4	35	673	0-120	40
Zn	50	69,7	1120 SMS	39,7	41	789	0-175	64

Fuente: (1). "L´ elevage porcin et l´ environnement". ITP-1984

En los muestreos realizados en distintas épocas del año sólo se observa una significativa influencia en la composición de nitrógeno, sodio y cinc (tabla RB9). Las muestras de junio son las que poseen una concentración más baja en todos los elementos, excepto el nitrógeno, lo cual se atribuye al menor peso alcanzado por los animales en este momento respecto al resto del año, GERMON y col. (1979).

Tabla RB9: Composición de ELP de cebo en distintas épocas del año, GERMON y col. (1979).

Variables	Febrero 78	Junio 78	Septiembre 78	Enero 79
Mat. Seca ($Kg.m^{-3}$)	60,3	50,0	57,7	80,7
Cenizas ($Kg.m^{-3}$)	18,7	14,8	19,8	26,0
COD ($Kg.m^{-3}$)	59,7	43,7	64,0	63,9
N Total ($Kg.m^{-3}$)	5,2	4,6	3,7	5,1
$N\text{-}NH_4^+$ ($Kg.m^{-3}$)	3,2	2,4	2,7	3,1
P ($Kg.m^{-3}$)	2,1	1,1	1,5	1,9
K ($Kg.m^{-3}$)	2,25	2,1	2,15	2,5
Ca ($Kg.m^{-3}$)	3,18	1,65	2,15	2,5
Mg ($Kg.m^{-3}$)	0,94	0,78	0,92	0,93
Na ($Kg.m^{-3}$)	0,51	0,46	0,60	0,58
Cu ($g.m^{-3}$)	68,8	66,3	70,8	70,8
Zn ($g.m^{-3}$)	88,8	21,5	80,7	73,1

En su trabajo con purines de vacuno en Galicia, LEIROS y col (1983) observaron también una gran variabilidad en la composición según el origen del purín y la época del año en que se efectuó el muestreo, y que atribuyen fundamentalmente al diferente manejo de la explotación, (cantidad de agua utilizada para lavar el establo), al tipo de fosa utilizada (abierta o cerrada) y a las condiciones climáticas.

2.3.1. INFLUENCIA DEL TIPO Y MANEJO DE LA EXPLOTACIÓN

Es sobradamente conocido que la duración, el tipo y el lugar de almacenamiento afectan a la concentración final de nutrientes en las deyecciones animales.

Los sistemas de almacenamiento cubiertos, generalmente están sometidos a menores temperaturas en períodos cálidos, con lo que la actividad biológica es menor y, por tanto, sufren menos pérdidas de nutrientes que las unidades sin cubrir. A su vez las fosas sin cubrir se encuentran expuestas a las precipitaciones por lo que, dependiendo de su disposición en el terreno, pueden sufrir grandes pérdidas de nutrientes por lixiviación y escorrentía, MOORE y GAMROTH (1993). En la tabla RB10 figuran los porcentajes de nutrientes, respecto a los contenidos iniciales, que permanecen en el efluente (el resto se perderían) según distintos tipos de almacenamiento.

Tabla RB10: Porcentaje de nutrientes retenido por sistemas de almacenamiento, MOORE y GAMROTH (1993).

Almacenamiento	N	P	K
Suelo de tierra	60	60	60
Laguna a ras de suelo	30	40	60
Solar abierto	60	70	65
Fosos (Slats)	75	95	95

Se ha observado que la composición de los purines depende del estado fisiológico del animal y dentro de éste, del tipo de limpieza utilizada (tabla RB11).

Tabla RB11: Composición del purín porcino en diferentes tipos de producción, PIVA y col. (1993)

Tipo de explotación	Tipo de limpieza	Cantidad (L día^{-1}) (100 kg de peso vivo)	Sólidos Totales (ST) (g día^{-1})	Sólidos Volátiles (% ST)	N Total (% ST)	N-NH_4 (% ST)	P Total (% ST)
Engorde	Seco	12,7	363	71,3	8,7	66,6	2,8
Engorde	Mixto	16,7	408	73,6	9,6	65,9	3,5
Engorde	Agua	23,8	482	70,7	9,4	61,1	3,3
Reproducción	Mixta	29,5	399	66,1	9,6	58,5	
Ciclo cerrado	Agua	51,7	465	71,4	10,6	51,5	2,3

TORRES (1993) señala los rangos de valores encontrados para el estiércol de porcino, dependiendo del estado fisiológico del animal (tabla RB12).

Tabla RB12: Composición del estiércol porcino según unidades de producción, TORRES (1993)

Variable	Gestantes	Lechoneras
Materia seca (g L^{-1})	6,5 - 14,5	5,9 - 11,4
N total (g L^{-1})	3,0 - 9,50	4,6 - 9,30
P_2O_5 (g L^{-1})	2,6 - 10,6	3,6 - 8,0
K_2O (g L^{-1})	1,6 - 3,4	1,7 - 2,4

Además, este mismo autor ofrece valores de concentración en metales para el estiércol de ganado porcino de engorde: Ca (4,8 %MS); Mg (1,1 %MS); Cu (838 ppm); Zn (1120 ppm); Fe (2620 ppm) y Mn (576 ppm).

JONGLOBED y LENIS (1993) opinan que, para un manejo nacimiento-engorde, la contribución a los rechazos totales es muy diferente según el estado fisiológico. El nitrógeno presente en las deyecciones es debido en un 70-74% al engorde y un 17-19% a las cerdas presentes. Los cerdos charcuteros producirán el 70,5% del potasio, el 61% del cobre y el 67% del cinc.

Según CALVO IRUEGA (1995), CALVO y col. (2000), para una explotación intensiva de ganado porcino, los datos de composición sobre tres estados fisiológicos del animal (gestación, maternidad y lechoneras) son los indicados en la tabla RB13.

Tabla RB13: Valores medios de composición según el estado fisiológico del animal, CALVO IRUEGA (1995), CALVO y col. (2000).

Variable/Estado fisiológico	Gestación	Maternidad	Lechoneras
Materia seca (mg L^{-1})	12,1	9,6	10,2
Materia orgánica (mg O_2 L^{-1})	10383	4966	10368
N total (mg L^{-1})	3900	4707	5240
N amoniacal (mg L^{-1})	2379	2428	2975
P_2O_5 (mg L^{-1})	2125	2550	2890
K (mg L^{-1})	247,8	461,6	50,7
Na (mg L^{-1})	105,6	18,7	127,2
Ca (mg L^{-1})	257,3	59,3	179,4
Mg (mg L^{-1})	158,1	6,0	94,4
Cu (ppm)	6,3	0,5	15,7
Zn (ppm)	21,5	5,0	15,0
Fe (ppm)	86,5	7,0	61,0
Mn (ppm)	18,3	1,7	11,8
Cr (ppm)	0,47	0,03	0,14
Ni (ppm)	0,60	0,37	0,23
Co (ppm)	2,6	2,2	2,4

Las diferencias encontradas entre los purines de los tres estados fisiológicos, sobre todo en metales, se deben a la composición de los correctores añadidos a los piensos, a los materiales utilizados en su elaboración (cebada, trigo, soja, etc.), al agua de bebida utilizada (sobre todos para calcio y magnesio) y a las condiciones de manejo del animal. La menor proporción de materia orgánica en los purines de maternidad se atribuye a la transformación en leche de la mayor parte de la ingesta del animal en este estado fisiológico, por lo que disminuirá la proporción en las heces de compuestos hidrocarbonados y aumentará la de compuestos proteicos. Por otra parte, el mayor contenido de nitrógeno total encontrado en lechoneras lo justifica por el suplemento de nitrógeno proteico que reciben en la alimentación, Asimismo encuentra una menor proporción de Ca, Mg, Zn, Fe y Mn a medida que disminuye el contenido de materia seca, CALVO IRUEGA (1995); CALVO y col. (2000).

GERMON y col. (1979) al comparar los estiércoles líquidos de porcino de explotaciones cebo y maternidad, obtienen una diferencia apreciable en el contenido en materia seca, nitrógeno y COD, presentando valores menores en maternidad. La mayor parte del cobre se encontró en las explotaciones de cebo.

Los resultados de FERRER y col. (1983) obtenidos en explotaciones catalanas de ganado porcino de maternidad (gestantes, lactantes y lechones hasta 14-16 Kg de peso), engorde (desde 14-16 Kg de peso hasta el sacrificio) y ciclo cerrado (maternidad y engorde en una sola unidad de producción con almacenamiento de todos los efluentes en una misma fosa), se muestran en la tabla RB14, en la que puede observarse valores pertenecientes a ciclo cerrado intermedios entre los de maternidad y engorde.

Tabla RB14: Valores de las variables en tres unidades de producción, FERRER y col. (1983).

Variable (1)	Maternidad (n = 6)			Ciclo cerrado (n = 8)			Engorde (n = 20)		
	Valor medio	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio	Valor mínimo	Valor máximo
M. seca (%)	3,24	1,37	5,82	5,20	2,49	8,38	8,49	2,62	15,73
M. mineral (%)	3,29	27,02	46,27	3,37	23,54	59,69	26,33	18,67	36,01
M.orgánica (%)	2,24	0,74	4,24	3,55	1,67	6,41	6,30	1,83	12,00
Total-N ($Kg.m^{-3}$)	3,40	2,96	3,90	4,28	3,32	4,78	5,95	3,5	14,4
Org-N ($Kg.m^{-3}$)	0,87	0,42	1,35	1,28	0,48	2,05	2,53	0,3	5,8
NH_4-N ($Kg.m^{-3}$)	2,53	2,13	2,88	3,00	2,35	4,05	3,42	1,8	8,7
P_2O_5 ($Kg.m^{-3}$)	1,81	1,00	3,42	3,18	1,25	4,59	5,27	1,1	13,1
K_2O ($Kg.m^{-3}$)	2,31	1,85	2,82	2,76	2,10	4,02	3,64	2,1	6,5
Ca (‰)	1,2	0,31	2,91	2,1	0,80	3,54	3,5	0,6	8,8
Mg (‰)	0,3	0,04	0,56	0,5	0,17	0,89	0,7	0,2	1,7
Na (‰)	0,7	0,37	11,43	0,9	0,66	1,51	1,2	0,7	2,4
Cu (ppm)	3,2	0,90	27,70	34,5	6,40	50,07	61,7	9,8	148,6
Zn (ppm)	18,8	7,50	33,78	38,7	17,16	61,88	47,7	18,8	99,4
Fe (ppm)	30,2	6,56	93,98	59,1	6,47	150,82	88,7	2,4	357,8
Mn (ppm)	8,3	1,93	23,70	15,0	1,56	21,98	27,9	7,2	69,2

(1) Todas las variables se expresan sobre materia fresca excepto la materia mineral sobre materia seca.

FERRER y col. (1983) atribuyen la menor riqueza en materia seca del ELP procedente de maternidad a que en este estado fisiológico los animales excretan la mayor parte (80-90%) en forma de deyecciones líquidas con un bajo contenido en materia seca. Por el contrario, el contenido en materia mineral en la materia seca es menor en el ELP de engorde que en los de maternidad y ciclo cerrado, ya que la materia seca de los orines está formada principalmente por materia mineral.

En cuanto al nitrógeno total, el contenido del ELP es mayor en las explotaciones de engorde que en las de maternidad y ciclo cerrado, y por lo que respecta al nitrógeno amoniacal, cabe destacar que en las explotaciones de engorde representa el 57% del nitrógeno total frente al 71% encontrado en las de maternidad, lo cual puede explicarse por el hecho de que las cerdas, por tratarse de animales adultos, presentan un mayor catabolismo que los animales en crecimiento y por tanto excretan una mayor proporción de nitrógeno ureico, el cual es rápidamente biodegradado en la fosa a forma amoniacal, mientras que el nitrógeno orgánico (fecal) sufre una lenta degradación. Es por ello que en la fosa se producirá un aumento progresivo del contenido en nitrógeno amoniacal y una disminución del nitrógeno orgánico, FERRER y col. (1983).

Las concentraciones más elevadas de nitrógeno amoniacal en las explotaciones de porcino de cebo, encontradas por FERRER y col. (2000), son aproximadamente un 50% superiores a gestación y maternidad, y un 20% superiores a precebo. En nitrógeno orgánico las mayores concentraciones, encontradas en las explotaciones de precebo, son aproximadamente el doble que en gestación y maternidad y un 16% superiores a cebo. El nitrógeno total presenta valores máximos para explotaciones de cebo, superiores en, aproximadamente, un 59% a gestación y maternidad y un 6% a precebo.

La concentración máxima de fósforo se encuentra en las explotaciones de engorde y la mínima en maternidad. Esta tendencia es similar a la encontrada para la materia seca debido a que la mayor parte del fósforo (90%) es excretada en las heces como fósforo inorgánico (75-80%) o en forma orgánica (12-18%), GERRITSE (1977). El resto del fósforo se encontrará en la disolución principalmente en forma inorgánica.

La riqueza de calcio y magnesio decrece a medida que lo hace la materia seca y por tanto se obtienen valores superiores para las explotaciones de engorde. Algo similar sucede con los contenidos de sodio y potasio en el ELP analizado; sin embargo, debido a que la mayor parte se excretan en la fase líquida, la tendencia se invierte al expresar los resultados respecto a la materia seca y un aumento de ésta se corresponde con un menor contenido en estos elementos, FERRER y col. (1983).

El cobre se elimina fundamentalmente en las heces y puesto que se utiliza en las dietas de engorde del animal como factor de crecimiento, los valores encontrados en este tipo de explotaciones son muy superiores a las otras. En el cinc la tendencia es mucho menos marcada debido a su menor presencia en la dieta, a pesar de su favorable influencia sobre la fertilidad del animal. Además, el ELP es moderadamente rico en hierro y posee pequeñas cantidades de manganeso, FERRER y col. (1983).

Por tanto, la composición del purín de ganado porcino dependerá en gran medida del estado fisiológico del animal, de forma que, en general, se encontrará menor proporción de materia orgánica en el purín procedente de explotaciones de maternidad y mayores contenidos de nitrógeno, fósforo, cobre y cinc en las de engorde.

2.3.2. INFLUENCIA DE LA TASA DE DILUCIÓN

Antes de la utilización de enrejados y la producción de estiércol líquido, la mayor parte del estiércol producido era sólido. Su producción y calidad dependía de la cantidad de paja utilizada. Durante el almacenamiento, se perdía una parte del nitrógeno

en forma amoniacal, obteniendo un producto final rico en nitrógeno orgánico, debido fundamentalmente a las cantidades de paja utilizadas.

En la tabla RB15 se muestran las diferencias en las concentraciones de nutrientes dependiendo de los contenidos en materia seca. Puede apreciarse que al duplicarse o triplicarse el tanto por ciento de materia seca en el purín, la concentración de nutrientes aumenta prácticamente en la misma proporción.

Tabla RB15: Contenidos de nutrientes en el purín de ganado porcino de engorde, alimentado con cereales, en función de los contenidos de materia seca, VETTER y STEFFENS (1986).

Mat. Seca (%)	Mat. org. (%)	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Cu
		Kg m^{-3}					
3,5	24,7	2,9	1,9	1,7	1,8	0,6	0,013
7,0	49,5	5,7	3,9	3,5	3,7	1,2	0,027
10,5	74,3	8,6	5,8	5,0	5,5	1,8	0,040

La dilución es uno de los factores decisivos para determinar la importancia práctica que tiene este producto como fertilizante y poder establecer relaciones entre la dilución del purín, expresada como tanto por ciento en materia seca, y su contenido total en diferentes nutrientes y poder así considerarlo como uno de los parámetros de caracterización del producto, CABANEIRO y col. (1985).

El origen del agua que se incorpora al purín es doble: las aguas de lavado de los establos y el agua de lluvia cuando la fosa de recogida es abierta.

El análisis del comportamiento en fosas abiertas y cerradas permite observar una mayor tasa de dilución del purín en las fosas abiertas, sobre todo en el muestreo realizado a la salida del invierno (tabla RB16). Sin embargo, a pesar de la ausencia de diferencias significativas entre ambos grupos, se aprecia la desigual distribución de las disoluciones de purines según el tipo de fosas, de forma que en las fosas abiertas sólo el 30% de los purines presenta diluciones inferiores a 1:0,5 frente al 40% encontrado en las cerradas. Por otra parte, cuando el cálculo se realiza en base a las respuestas aportadas por los agricultores, se encuentra un valor de 1:4 para la dilución media, valor que tiende a aproximarse a 1:5 para las fosas abiertas y a 1:3 para las cerradas. La coincidencia de resultados en ambos métodos de medida indican que las fosas cerradas son las que poseen el purín más concentrado, CABANEIRO y col. (1985).

Tabla RB16: Valores medios de la dilución en los distintos muestreos realizados en fosas abiertas y cerradas, CABANEIRO y col. (1985).

Tipo de fosas	Muestreos			
	Mayo	Septiembre	Febrero	Todos
Abiertas	1:4,9	1:3,3	1:3,4	1:3,9
Cerradas	1:2,9	1:2,7	1:3,4	1:3,0

El análisis de la dilución según el tamaño de la explotación, realizado en el mismo trabajo, permite afirmar que son las de mayor tamaño (más de 25 cabezas de ganado) las que presentan una mayor dilución (1:4,8), frente a las pequeñas (menos de 10 cabezas de ganado vacuno) y medianas (entre 10 y 25 cabezas de ganado) en las que se obtienen diluciones de 1:2,6 y 1:3,0 respectivamente, lo cual se atribuye a la mayor incidencia de las operaciones de lavado en este tipo de granjas.

Asimismo se encuentra una relación entre el valor fertilizante y la dilución, ya que el contenido en elementos fertilizantes del purín almacenado en fosas cerradas presenta valores más bajos que los encontrados en el conjunto de explotaciones con fosas abiertas; esto se justifica por el hecho de poseer un purín más concentrado y mayores tiempos de almacenamiento, lo que contribuye a que la disolución de elementos asimilables sea menor cuando lo es la dilución y que, al permanecer más tiempo almacenado, no se producirían tan intensamente los procesos de inmovilización microbiana. Sin embargo, parece existir un valor óptimo para el valor fertilizante del purín a diluciones intermedias a partir del cual un incremento de la dilución incidiría negativamente en el valor fertilizante del purín, CABANEIRO y col. (1985).

Por otro lado, el aumento de la dilución hace que aumente el gasto de transporte sin aportar elementos fertilizantes y en ocasiones constituye un factor limitante al calcular la dosis de aplicación al suelo.

La reciente utilización de sistemas de alimentación y de abrevamiento que ahorran agua, permiten producir un estiércol licuado muy concentrado y rico en elementos fertilizantes, tal y como se refleja en la tabla RB17.

Tabla RB17: Valor medio de algunos parámetros de la composición de los estiércoles licuados y sólidos en tanto por mil del producto bruto, BERTRAND (1993).

Variable (‰)	**Estiércol Licuado**				**Estiércol Sólido**		**Cama de paja biomanejada[1]**
	Cerdos	Vacas lecheras	Terneros	Gallinas ponedoras	Cerdos	Bovinos	
Materia seca	60	127	19	168	250	250	350
Materia orgánica	48	95	11,5	107	200	175	280
Total-N	5	4,9	2,7	11,2	4,7	5	6
NH_4-N	3,5	2,0	2,1	6,6	0,5	0,5	0
P_2O_5	4	2,3	2,0	8,9	4,5	2,7	7
K_2O	3	4,9	3,8	5,4	5,5	7	10
CaO	3	4,5	1,9	21,1	6,0	10	-
MgO	1	1	0,3	2	2,5	1,4	-

[1] Mezcla de estiércol y paja para obtener un producto parecido al estiércol clásico.

En resumen, puede decirse que la dilución juega un papel decisivo en la determinación del valor fertilizante del purín de ganado porcino a la vez que incrementa los gastos de transporte y, en ocasiones, limita la dosis de vertido. En general, las explotaciones de mayor tamaño son las que presentan una mayor dilución.

2.3.3. INFLUENCIA DE LA ALIMENTACIÓN

Las heces y la orina son productos de desecho de la alimentación metabolizados por el animal. Los alimentos de los animales jóvenes son más fácilmente digeribles y, por tanto, sus efluentes contienen mayor riqueza de nitrógeno y menos fibra, VAN FAASSEN y VAN DIJK (1987).

Las variaciones producidas en la intensidad de producción (gramos de crecimiento por día) provocan modificaciones en la eliminación de nutrientes a través de las deyecciones, de forma que un aumento de la intensidad de producción produce mayor eliminación anual de nitrógeno en las deyecciones por cada unidad de porcino de engorde, debido al aumento en el consumo de este elemento. Por otra parte, la

eliminación de fósforo disminuye a causa de la mayor eficiencia del metabolismo de nutrientes durante el incremento diario de crecimiento. Por último, la cantidad de potasio eliminada varía muy poco, FLÜCKIGER (1988).

Tabla RB18: Nutrientes excretados (Kg) por unidad de cerdo de engorde y año, en relación con la intensidad de producción G (g crecimiento animal^{-1} día^{-1}), FLÜCKIGER (1988).

Composición Alimentación	**G (g)**	**N**		**P**		**K**	
		kg	%	kg	%	kg	%
Estándar		12,0	100	3,0	100	4,0	100
Alimentación Completa (5,5 kg P kg^{-1} alimento)	650	14,1	118	3,1	103	4,6	115
	700	14,8	123	2,9	97	4,6	115
	750	15,2	127	2,8	93	4,5	113

Los suplementos en la alimentación del ganado porcino debieran calcularse en función de la base alimentaria de modo que el consumo de nitrógeno y fósforo por kg de crecimiento permanezca constante y no dependa de la composición, y en consecuencia tampoco de las cantidades de nitrógeno y fósforo en la excreta. Sin embargo, el efecto de la composición del alimento en las cantidades de nutrientes excretadas es innegable, FLÜCKIGER (1988).

En efecto, como puede observarse en la tabla RB19, aunque el contenido de nitrógeno en el excremento no está demasiado influenciado por la composición del alimento, no es así en el fósforo, que aumenta un 50% en alimentaciones a base de suero y patatas, si se compara con el fósforo excretado a partir de una alimentación completa.

Tabla RB19: Nutrientes excretados, por unidad de cerdo de engorde y año, FLÜCKIGER (1988).

Tipo de Alimentación	**Nitrógeno**		**Fósforo**		**Potasio**	
	kg	%	kg	%	kg	%
Estándar	12	100	3	100	4	100
Alimentación completa (5,5 kg P kg^{-1} alimento)	14,8	123	2,9	97	4,6	115
Alimentación completa (9,0 kg P kg^{-1} alimento)	14,8	123	5,4	180	4,6	115
Suero + suplemento	14,2	118	4,5	150	6,6	165
Patatas + suplemento	13,8	115	4,4	147	9,2	230

Si se tiene en cuenta el número de animales que componen la explotación para definir la intensidad de producción, las cantidades de nutrientes en la excreta se ven influenciadas, de forma que a medida que se incrementa el número de animales también lo hace el contenido de nutrientes en el purín (tabla RB20).

Tabla RB20: Nutrientes excretados por granja de cerdo de engorde (alimentación completa) y año en relación a la intensidad de producción (nº de animales por granja y año), FLÜCKIGER (1988).

Nº de animales	**Nitrógeno**		**Fósforo**		**Potasio**	
	kg	%	kg	%	kg	%
Estándar	28,0	100	7,0	100	9,0	100
18	40,3	144	9,0	129	14,0	156
20	41,3	148	9,3	133	14,4	160
22	42,4	151	9,6	137	14,7	163

Uno de los principales objetivos en la formulación de las dietas de los monogástricos consiste en satisfacer las necesidades de aminoácidos en los diversos momentos fisiológicos. Las proporciones entre los aminoácidos de las proteínas de

origen vegetal que habitualmente se utilizan, son distintas de las requeridas por el animal (tabla RB21). Para solucionar la deficiencia de algunos aminoácidos, principalmente lisina y metionina, se tiende a aumentar el aporte proteínico hasta el nivel requerido y como consecuencia, el resto de aminoácidos se aportarán en exceso.

Tabla RB21: Comparación entre la composición de una proteína ideal (INRA) y la de algunos piensos simples, respecto a 100 unidades de lisina, PIVA y col. (1993).

Aminoácido	Proteina ideal	Soja 40%	Maiz	Cebada
Lisina	100	100	100	100
Metionina + Cistina	60	47	156	114
Ttreonina	60	62	128	92
Triptofano	18	21	24	30
Isoleucina	60	80	140	103
Leucina	72	121	452	189
Istidina	26	39	104	60
Fenilalanina + Tirosina	100	135	340	232
Valina	70	81	184	143

El problema del exceso alimentario crece al aumentar el peso del animal ya que la eficacia de la aplicación de aminoácidos tiende a disminuir al avanzar la edad, WHITTEMORE (1977), seguido de una menor eficiencia anabólica, A.E.C. (1987), BAKER (1989). Hasta los 60-70 Kg de peso vivo, la síntesis de nuevas proteínas a expensas del nitrógeno consumido es muy activa, pudiendo estar condicionada por la digestibilidad de las proteínas, por el equilibrio de los aminoácidos absorbidos, WANG (1988), COLE y BONG (1989) y por la mayor o menor correspondencia cuali y cuantitativa de las proteínas alimentarias respecto a las necesidades de los procesos fisiológicos.

Por término medio, 1/3 de las proteínas alimentarias consumidas son retenidas por el organismo, mientras que el resto se elimina con las deyecciones, FULLER y WANG (1990). Aproximadamente el 20% del nitrógeno es excretado en las heces y el 80% por la orina, GREEN y col. (1987). Las fracciones que componen el nitrógeno excretado son, por una parte el nitrógeno fecal, compuesto de proteína ingerida, microorganismos intestinales y nitrógeno endógeno y por otra, el nitrógeno de la orina, formado por urea y compuestos nitrogenados como ácido úrico, etc., PIVA y col. (1993).

La preparación de piensos formulados teniendo en cuenta la “proteína ideal”, SIBBALD (1987), CASTAING y GROSJEAN (1988), SMELL (1991), permite reducir el nivel nutricional de nitrógeno y, por tanto, su presencia en las excretas, SAUER y col. (1982), SHIELD y col. (1983), INOT (1989), PIVA y col. (1990). De esta forma, la cuota de nitrógeno excretado se reduce fácilmente en un 25-30%.

Por otra parte, el conocimiento de la composición en aminoácidos totales de la proteína alimentaria no es suficiente y será necesario disponer de datos acerca de su digestibilidad, HENRY (1988), INRA (1989) y su disponibilidad, LEIBHOLZ y KIRBY (1985), JONGBLOED y col. (1990a), estableciendo las necesidades en función de la capacidad de utilización de los aminoácidos además de las características de los animales, LENIS (1989).

Es preciso tener en cuenta que el exceso de unos aminoácidos puede crear competencias en la absorción de otros e inducir carencias secundarias, GREEN y col. (1987). Los aminoácidos en exceso, que no son utilizados en la síntesis proteica, producen un mayor coste energético del catabolismo para la síntesis de la urea.

En pruebas realizadas sobre la reducción de un 25% del aporte nitrogenado en la dieta, se ha observado un mantenimiento de los rendimientos en la producción y en las características de las canales de los cerdos sacrificados a 160 Kg de peso vivo y una reducción del nitrógeno excretado del 28%, PIVA y col. (1993).

Las nuevas estrategias de alimentación del ganado porcino mediante la utilización de elevadas proporciones de sustratos fermentables bacteriológicamente (BFS) y en ocasiones carbohidratos puros, contribuyen a aumentar la excreción de nitrógeno fecal a expensas del nitrógeno en la orina. La composición del purín se ve así afectada, HANNEKEN y col. (1999). En contrapartida, la reducción de la proporción de nitrógeno fácilmente volátil en la orina provoca una disminución de las emisiones a la atmósfera de nitrógeno gaseoso, MACHMÜLER y col. (1999).

En cuanto al fósforo se plantean problemas semejantes cuando se utiliza en condiciones de ración convencional ya que, del fósforo contenido en los vegetales, se estima una utilización aproximada del 30-45% por parte del organismo del animal, PIVA y col. (1993).

El fósforo contenido en los vegetales se encuentra principalmente en forma de fitatos (aproximadamente dos tercios) cuya disponibilidad para los monogástricos es muy baja, REBOLLAR y MATEOS (2000a). La actividad del fósforo fitínico en el organismo animal está condicionada por la concentración de varios minerales, la disponibilidad de la flora endógena del intestino del animal, la hidrólisis de los fitatos, la inhibición intestinal de los fitatos de los vegetales, los tratamientos térmicos y la presencia de otros elementos con la capacidad de formar complejos insolubles, como la fibra, el ácido oxálico, los compuestos fenólicos, los aminoácidos y los polisacáridos, PIVA y col. (1993).

Tabla RB22: Fósforo fitínico contenido en algunos nutrientes, PIVA y col. (1993).

Alimento animal	Fósforo Total	Fósforo Fitínico	% Fósforo fitínico
Maíz	0,27	0,19	69
Sorgo	0,31	0,21	68
Trigo tierno	0,37	0,26	71
Salvado de trigo tierno	1,41	1,12	80
Cebada	0,38	0,25	65
Avena	0,37	0,22	60
Soja	0,61	0,37	61
Harina de algodón	1,07	0,75	70

El complejo fitínico puede convertir en indisponible al fósforo, lo que conduce a una reducción en la absorción de calcio (raquitismo), a la formación de complejos insolubles con el cinc (carencia inducida), a la reducción de la biodisponibilidad de hierro y cobre; además influye en la hidrólisis de la caseína, interfiere en la unión de aminoácidos para formar proteínas y altera las funciones digestivas de los enzimas específicos en la digestión del almidón, PIVA y col. (1993).

Existen diversas tecnologías que permiten reducir la cantidad de fósforo excretado a través de las deyecciones; la más rentable consiste en ajustar el consumo de fósforo a las necesidades reales del animal, PIVA y col. (1993), mediante el estudio exhaustivo de sus necesidades según su productividad y estado fisiológico, la evaluación del aprovechamiento del fósforo contenido en las diversas materias primas en función de la especie considerada y las modificaciones de la dieta con incorporación de aditivos capaces de mejorar la utilización del fósforo, REBOLLAR y MATEOS (2000a). Esto implica un conocimiento más preciso del aprovechamiento del fósforo contenido en los ingredientes de los piensos, considerando además los factores que afectan a su utilización como son la relación Ca:P, el nivel de vitamina D_3, los tratamientos térmicos y, probablemente, la adición de ácidos orgánicos, REBOLLAR y MATEOS (2000c).

En consecuencia será necesario reducir la presencia de fitatos en la dieta, aumentando la disponibilidad del fósforo vegetal, especialmente en las raciones ricas en fibra, SIMONS y col. (1990). El empleo de la enzima fitasa, presente de forma natural en los vegetales, que es sintetizada por algunos microorganismos, hidroliza los fitatos y transforma el fósforo en ortofosfatos pasando, por tanto, a ser disponible y aumentando la digestibilidad de 3 a 6 veces. Sin embargo los fitatos que se unen a metales no son rápidamente hidrolizados por las fitasas a valores de pH que se dan en la digestión, especialmente en el estómago, donde se desarrolla la máxima actividad de este enzima, PIVA y col. (1993).

El tratamiento térmico a 80ºC destruye las fitasas. Por el contrario, muchos microorganismos las producen. Como ejemplos cabe citar que el cultivo de *Aspergillus* aumenta el depósito de calcio en los huesos de los pollos, NELSON y col. (1968); que las raciones a base de harina de maiz y de soja tratadas con fitasas microbianas aumentan la digestibilidad del fósforo del 20 al 46%, SIMONS y col. (1990); y que, suministrando dietas desprovistas de fósforo inorgánico, se aumenta la digestibilidad del calcio y del fósforo, reduciendo la cantidad de fósforo excretada en un 35%, JONGBLOED y col. (1990a y 1990b).

La adición de metales a la alimentación del ganado, sobre todo cobre y cinc, se viene realizando a concentraciones muy superiores a las requeridas, con el fin de obtener los máximos beneficios farmacológicos que algunos de ellos poseen, pero que apenas son asimilados por el organismo. Su presencia en las deyecciones provoca fitotoxicidad en los cultivos, dependiendo de las características del suelo donde se han vertido, PIVA y col. (1993).

El cobre añadido a la dieta, principalmente como sulfato de cobre, suprime la acción bacterial en el intestino y maximiza la utilización del alimento por el animal. El cinc se añade en forma de óxido y ejerce funciones de cura-todo para limpieza. Generalmente la concentración de cobre en la alimentación compuesta del cerdo disminuye a medida que se incrementa el tamaño del animal y se han encontrado valores de 150-2920 mg Zn. kg^{-1} MS y de 18-217 mg Cu. kg^{-1} MS, NICHOLSON y col. (1999).

La mayor parte de los metales suministrados en la dieta del ganado porcino de engorde se excretan en el estiércol líquido. PRIEM y MATON (1979) estimaron porcentajes de 72-80% para Cu y 92-96% para el Zn.

La materia orgánica disuelta del purín de ganado porcino está compuesta principalmente por una fracción con peso molecular mayor de 5000, con una capacidad de formación de complejos similar a la de los ácidos húmicos del suelo. Casi la totalidad del cobre presente en él se encuentra complejado por esta materia orgánica, BUSINELLI y col. (1999).

Para limitar la presencia de cobre y cinc en las deyecciones se reducirá por una parte la cantidad utilizada, aunque se reduzcan sus efectos positivos sobre el rendimiento (tabla RB23), y por otra, se aumentará la retención en el organismo mediante la utilización de productos de elevada disponibilidad biológica, PIVA y col. (1993).

Tabla RB23: Efecto de la adición de dosis crecientes de cobre sobre el rendimiento productivo, PIVA y col. (1993).

Dosis de Cu (ppm)	Mejora incrementos (%)	Mejora Índice de conversión (%)
125	3,8	3,2
150	4,5	3,6
180	3,4	3,4
200	4,4	3,8

El rango de concentraciones de metales pesados encontrado en las deyecciones porcinas es extremadamente extenso y claramente dependiente de la amplitud de la edad del animal y de las cantidades añadidas a la dieta. Los valores medios y el rango se muestran en la tabla RB24.

Tabla RB24: Contenido en materia seca y metales pesados de estiércoles de ganado porcino, NICHOLSON y col. (1999).

Variable	Estiércol de cerdo (n=7)		Purín de cerdo (n=12)	
	Valor medio	Rango	Valor medio	Rango
Materia Seca (%)	21,7	14,4 – 32,6	4,4	0,5 – 21,6
Zn (mg Kg^{-1} MS)	431	206 – 716	575	<5 – 2500
Cu (mg Kg^{-1} MS)	374	160 – 780	351	<1,0 – 807
Ni (mg Kg^{-1} MS)	7,5	3,0 – 24,3	10,4	<0,1 – 49,8
Pb (mg Kg^{-1} MS)	2,94	1,01 – 4,65	2,48	<1,00 – 9,74
Cd (mg Kg^{-1} MS)	0,37	0,19 – 0,53	0,30	<0,10 – 0,84
As (mg Kg^{-1} MS)	0,86	0,52 – 1,34	1,68	<0,10 – 6,7
Cr (mg Kg^{-1} MS)	1,98	0,67 – 3,42	2,82	<0,20 – 6,81

La adición rutinaria de sales (NaCl) en las dietas de engorde del ganado porcino, por encima del nivel del 5%, provoca una alta presencia de sodio en la excreta que podría alterar la actividad microbiológica durante el tratamiento del efluente y, como consecuencia, la composición final en nutrientes, SUTTON y col. (1976).

Debido a la gran variabilidad de composición de las deyecciones de ganado porcino aportadas por los distintos autores, COPPENET (1974) estimó conveniente obtener esta composición a través del cálculo del balance alimenticio, dado que puede conocerse con precisión la composición de los alimentos, con bastante buena precisión el volumen de deyecciones producidas y con una relativa aproximación la composición

de los animales que salen para la venta. Los resultados de este balance quedan reflejados en la tabla RB25, para ganado porcinos de engorde de 30 a 100 Kg de peso, alimentados con 70% de harina de maiz, 27% de torta de soja y 3% de complemento mineral.

Tabla RB25: Deducción de la composición de las deyecciones de porcino no diluídas mediante el balance alimenticio, COPPENET (1974).

Elemento		**(1)** kg	**(2)** kg	**(3)** kg	**(4)** ‰
N		249	60	189	6,75
P_2O_5		143	24	119	4,25
K_2O		90	12	78	2,8
CaO		90	50	40	1,43
MgO		34	2	32	1,14
Cu	0,8 ‰	260 g	10 g	250 g	0,009
	5 ‰	1340	10	1330	0,047
Zn		1568	50	1520	0,054
Fe		969	125	840	0,030
Mn		400	1,25	400	0,014
Co		5,60	0,25	5,35	0,0002
Yodo		4,85	0,75	4,1	0,00015

(1) Elementos contenidos en la alimentación necesaria para producir 35 cerdos de engorde.
(2) Elementos contenidos en los animales para la venta (2500 kg de peso vivo).
(3) Elementos contenidos en las deyecciones = (1) – (2).
(4) Concentración de elementos en las deyecciones, para un volumen producido de 28 m^3 equivalente a 0,8 m^3/cerdo.

La diferencia entre el contenido real y el estimado a través del balance en elementos como el nitrógeno (5,5 frente a 6,75 ‰) se debe a que no se han tenido en cuenta las pérdidas por volatilización de amoníaco producidas desde la producción hasta el almacenamiento, momento en que se han tomado la muestras para el análisis. Para el fósforo y potasio, las diferencias entre los valores reales y estimados son mínimas (4 frente a 4,25 ‰ P_2O_5 y 3 frente a 2,8 ‰ K_2O).

El balance alimentario es el sistema utilizado también por SMITH y col. (2000) para la estimación del nitrógeno excretado por el ganado porcino, estableciendo las relaciones entre alimentos sólidos y agua ingerida por el animal.

Para finalizar, la influencia de la alimentación sobre la composición de las deyecciones de ganado porcino está perfectamente demostrada. Una gran parte de los nutrientes aportados en la dieta no son utilizados por el animal y aparecerán en las deyecciones. La utilización de piensos con un aporte proteínico adecuado, el ajuste del consumo de fósforo a las necesidades reales y el control en la adición de metales, junto con la utilización de productos de elevada disponibilidad biológica, contribuirán a la reducción de estos elementos en los purines.

2.4. POSIBLES CONTAMINACIONES ORIGINADAS POR LOS PURINES

2.4.1. LAS AGUAS

El enriquecimiento en sustancias nutritivas de las masas de agua, se traduce en una proliferación de su biomasa, fundamentalmente algas y bacterias, que simultáneamente utilizarán como fuente de energía la materia orgánica generada por la propia biomasa. El efecto inmediato es una pérdida de oxígeno disuelto y el inicio del proceso de eutrofización de las mismas, ESTEBAN TURZO (1991).

Los compuestos de nitrógeno más frecuentes en las aguas son: el nitrógeno orgánico que contienen los microorganismos y la materia orgánica en descomposición, el ión amonio que se obtiene al final de la descomposición y sobre todo el ión nitrato, que es la forma más oxidada de nitrógeno. El ión nitrito es inestable y sólo se encuentra en pequeñas cantidades, CANN (1993).

Los residuos agrícolas son la principal fuente de compuestos nitrogenados en las aguas. Una parte procede de las explotaciones ganaderas, principalmente en forma orgánica y amoniacal, bien como consecuencia de los lixiviados procedentes de los estercoleros hacia corrientes de agua o bien por desbordamiento por efecto de las aguas pluviales. Otra parte es de origen difuso debida a la excreta directa del ganado o cuando los productos vertidos en el campo son arrastrados a los arroyos, situación que se produce sobre todo en terrenos con mucha pendiente, cuando están saturados de agua o cuando se produce lluvia abundante inmediatamente después del vertido, CANN (1993). El seguimiento de las concentraciones de nitrógeno en las corrientes de agua durante largos períodos permite observar variaciones interanuales, debido fundamentalmente al aumento del uso de los fertilizantes tanto minerales como orgánicos y de las cabezas de ganado. Además, las condiciones meteorológicas desempeñan un importante papel en las variaciones de las concentraciones de nitrógeno orgánico de las aguas durante distintos períodos del año.

Los efluentes animales pueden ocasionar la degradación de los recursos de agua, tanto superficiales como profundos, si no son manejados de forma apropiada. La utilización de sistemas de cultivo que maximicen la utilización de nutrientes del suelo, reducirá la contaminación potencial del agua. La aplicación de un Código de Buenas Prácticas de Manejo (BMPs) constituirá el mejor sistema para prevenir esta contaminación, MORSE (1993).

La contaminación de las masas de agua se produce fundamentalmente por infiltración y por escorrentía. La escorrentía se debe al aporte de grandes volúmenes de residuos en suelos saturados o en suelos impermeables. La carga orgánica del residuo alcanzará las masas de agua superficiales; por ello, en la mayor parte de los países existe una normativa que regula las épocas en las que es posible la aplicación.

Los compuestos de tipo nítrico presentes en las aguas superficiales proceden fundamentalmente de la infiltración en el suelo de los fertilizantes minerales que no han sido absorbidos por las plantas, debido a un defecto en la fertilización por las malas condiciones de aporte, como sería realizarla en una fecha inapropiada o por un excedente de fertilizantes. A largo plazo, si la contaminación por nitratos persiste, se

verán afectadas las capas de agua más profundas, CANN (1993), ATALLAH (1993). En este sentido, McGECHAN y col. (1998) proponen modelos para el manejo del estiércol líquido con el objetivo de maximizar su valor fertilizante y minimizar la contaminación por nitratos.

El único elemento de los residuos ganaderos que puede alcanzar las masas de agua subterráneas es el nitrógeno. Una parte del mismo, que no ha sido utilizada por los cultivos, será aprovechada por el cultivo siguiente; la otra sufrirá un proceso de infiltración. ESTEBAN TURZO (1991) estima que el 14% del nitrógeno aportado en primavera y el 33% del aportado en otoño, puede ser infiltrado.

Un factor de importancia a destacar es la variación estacional. Las concentraciones de nitrato disminuyen en la primavera y aumentan en otoño como consecuencia de varios factores. Por una parte, el mayor desarrollo de las plantas en primavera provoca una mayor absorción de agua y nitrógeno, con lo que disminuyen en el suelo. La menor lluvia caída durante el verano hace que disminuya progresivamente el caudal procedente de desagües y de acuíferos superficiales (aguas más ricas en nitratos), lo que hará que las aguas profundas estén menos contaminadas. En otoño se produce la situación inversa: un abundante caudal de aguas superficiales y una nula absorción de nitrógeno que, junto con la mineralización de los residuos de las cosechas, provoca un aumento de la concentración de nitratos en el suelo, CANN (1993). Los niveles de nitratos en la escorrentía superficial encontrados por WARNEMUENDE y col. (1999) fueron mayores en aplicaciones en invierno que en primavera.

El dimensionado apropiado del tamaño de la fosa permitirá almacenar el purín producido durante el invierno, período en el cual la lixiviación de nitratos y la sobrecarga de nutrientes en el suelo es mayor, y aplicarlo en primavera, McGECHAN y WU (1998).

La reducción de riesgos de lixiviación de iones nitrato se favorecerá mediante la estabilización del efluente seguido de algún tratamiento como el de compostaje, además de la modificación de las prácticas agrícolas, ya que la lixiviación está influenciada por la naturaleza del suelo, las labores realizadas y la cubierta vegetal, de forma que puede establecerse un orden creciente de peligro de lixiviación en praderas temporales, cultivos de invierno y barbecho. Las pérdidas se favorecerán en otoño por los barbechos y, por el contrario, se reducirán por los abonos verdes de fin de verano y por los cultivos de invierno sembrados a mediados de septiembre, ATALLAH (1993).

DUTHION y col. (1979) realizaron experiencias con lisímetros en las que utilizaron cuatro suelos diferentes y distintas cantidades de estiércol licuado de ganado porcino con el objetivo principal, entre otros, de estudiar su influencia en la composición de las aguas de drenaje. Encontraton una reducción suficiente de la DQO en todos los casos, el fosfato mineral lixiviado fue insignificante y los niveles de Cu y Zn fueron menores de 0,2 mg. L^{-1}.

En cuanto al nitrógeno lixiviado, prácticamente todo corresponde al nitrato, el cual aumenta a medida que lo hace la cantidad de ELP vertido y por tanto el nitrógeno total. El resultado es el mismo si, en lugar del nitrógeno total aplicado, se considera el exceso de nitrógeno respecto al absorbido por el cultivo o únicamente la última

aplicación en otoño, ya que, una sola aplicación en esta estación, es potencialmente más contaminante que otras formas de aplicación, puesto que dará lugar a la rápida lixiviación del nitrógeno al coincidir con la reanudación del drenaje, especialmente en años secos que favorecen la nitrificación frente al crecimiento de las plantas, y a la aparición de altos niveles de nitratos en el agua de drenaje. Por el contrario, una única aplicación en primavera coincide con el comienzo del desarrollo de la planta y limita el nitrógeno lixiviado siempre que la mezcla en el suelo sea la adecuada para el volumen de ELP aplicado, DUTHION y col. (1979).

En efecto, abonados intensivos con ELP en otoño provocan enriquecimiento en nitrógeno del agua del suelo, SMITH y col. (1994). El nitrógeno y potasio lixiviados aumentan cuando lo hacen las cantidades vertidas, en suelos arenosos frente a los francos y en suelos ricos en nutrientes frente a los pobres, VETTER y STEFFENS (1979). A corto plazo, el nitrógeno es el factor limitante de la cantidad de ELP a aplicar ya que vertidos superiores a 30 m^3 ha^{-1} de ELP (180-200 Kg N ha^{-1}) realizados en otoño, y sin absorción por parte del cultivo, provocan un notable enriquecimiento en nitrógeno de las aguas y, en el caso de producirse la absorción, el contenido de nitrato en las plantas es demasiado elevado. El vertido de la misma cantidad en primavera fue suficiente para satisfacer los requerimientos de las plantas.

Aplicaciones similares de nitrógeno, procedentes de estiércoles y de fertilizantes minerales, producen mayor lixiviación del nitrógeno contenido en el estiércol orgánico cuando la mineralización del nitrógeno orgánico de los estiércoles no ha sido calculada y el tiempo de aplicación no se corresponde con el momento de demanda de nutrientes por las plantas. En cuanto a las aplicaciones continuas de estiércol y de purín, similares contenidos de nitrógeno se lixivian, DAM KOFOED y NEMMING (1979). Estos autores obtuvieron, tras aplicar a los suelos cantidades importantes de purines y estiércoles, pérdidas anuales de nitrógeno como nitrato de 5-10 g m^{-2} en un suelo franco y de 5-7 g m^{-2} en un suelo arenoso. Las mayores pérdidas fueron de 10 g m^{-2} cuando el purín se aportó anualmente durante cuatro años. LIU y col. (1998) encontraron, a la profundidad de 120 cm, grandes cantidades de nitratos lixiviados, tras aplicaciones importantes de efluentes procedentes del lagunaje de excretas de ganado porcino a un suelo franco arenoso.

STRAUCH (1982b) realizó experiencias en suelos arenosos con un contenido medio de carbono del 2,8% y de nitrógeno del 0,1%; en dichos suelos se virtieron 2000 m^3 de estiércol líquido en 15 años (133 m^3 por año), lo que supuso un aporte de 15000 kg de N (1000 kg/año), 12000 kg de P_2O_5 (800 kg/año), 7000 kg de K_2O (470 kg/año) y 13500 kg de CaO (900 kg/año). Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla RB26, donde se muestra la acumulación de nutrientes a diferentes profundidades del suelo.

Tabla RB26: Acumulación de nutrientes (kg/ha) a distintas profundidades del suelo debido al estiércol líquido de ganado porcino, STRAUCH (1982b)

Profundidad	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm	0 – 90 cm
N total	280	90	338	708
NO_3^-	36	14	9	59
P_2O_5 total	7000	2900	1300	112000
K_2O	540	360	180	1080
Mg	178	68	36	282

La concentración de fósforo es particularmente alta debido a la aplicación de grandes cantidades de purines de ganado porcino ricos en este elemento (del orden de 3,5 veces superior respecto a las necesidades de las plantas). Sin embargo, no se ha observado un aumento de concentración en las aguas situadas por debajo de los suelos estudiados (tabla RB27). La contaminación del agua superficial puede evitarse con la aplicación intermitente de altos contenidos de purín en suelos relativamente secos.

Tabla RB27: Contenidos de nitrato y fosfato (mg/L) de aguas a 1,5 – 3,0 m de profundidad con aplicaciones al suelo de 160 m^3/ha/año de purín, STRAUCH (1982b).

Tratamientos	Nº de muestras	NO_3-N	NH_4-N	P_2O_5
Sin purín	5	5	3	0,23
Con purín	12	53	7	0,23
Con purín en otoño	5	94	5	0,12

En cuanto al nitrógeno en forma de nitrato, se observan contenidos 10 veces superiores a los encontrados debajo de los suelos no tratados. Los campos que se abonaron en otoño (precipitaciones, suelo mojado) dieron contenidos de nitrato en el agua muy superiores a los obtenidos cuando los suelos se abonaron algún tiempo antes.

Experiencias realizadas con anterioridad, SHERWOOD (1979), mostraron que el agua de escorrentía podía contener fosfato durante las 6-8 semanas posteriores a la aplicación del purín. En los tratamientos con fosfato mineral aparecían contenidos menores de fosfato en el agua de escorrentía que los realizados con purín.

VAN DE MAELE y COTTENIE (1979), compararon modelos de lixiviación de elementos nutrientes cuando el suelo era tratado con fertilizante mineral (P, K y Mg semejantes a los que contenía el purín y un suplemento de 200 Kg N ha^{-1} de nitrato amónico) y con estiércol líquido de ganado porcino (10 t ha^{-1}) ambos mezclados con los 10 cm superiores de suelo. En el análisis del líquido percolado se observó que K, Ca, Mg y NO_3^- lixivian rápidamente y en mayor extensión después de la fertilización mineral que con el estiércol, contrariamente a lo encontrado por DAM KOFOED y NEMMING (1979).

Un balance de nutrientes indica que la retención de potasio por el suelo se produce en todos los casos, pero que fue más elevada en los tratamientos con el estiércol. La eficiencia de la retención de potasio en el suelo, calculada como el porcentaje de la cantidad retenida respecto a la añadida, resultó ser 34% para los tratamientos con fertilizante mineral y 76% para el estiércol; sin embargo Ca, Mg y NO_3^- no fueron retenidos. El enriquecimiento de cloruros en el percolado después del tratamiento con estiércol fue importante, VAN DE MAELE y COTTENIE (1979).

La prácticas de labranza permiten minimizar los efectos sobre los niveles de concentración en las aguas de escorrentía superficial por la aplicación de estiércol líquido de porcino como fertilizante, GUPTA y col. (1997). Asimismo, el balance de nutrientes asimilables en el estiércol considerando las necesidades del cultivo, minimizan el potencial de los nutrientes de alcanzar las aguas superficiales o lixiviar con la disolución del suelo, HERMANSON (1993).

Según MIGNOLET y col. (1997), las explotaciones que combinan superficies importantes de grandes cultivos y un sistema forrajero a base de maíz, generan

actualmente los más fuertes riesgos de contaminación por nitratos, mientras que las explotaciones especializadas en la producción de alimento a base de hierba, aparecen como las menos contaminantes.

Dentro de las acciones a realizar para la reducción de la polución de las aguas por los nitratos provenientes de las actividades agrícolas, el plan elaborado por CEMAGREF (1988) en Francia establece, entre otros objetivos, un diagnóstico global de la explotación mediante la realización de un balance de nitrógeno principalmente, aunque también de fósforo y potasio, para determinar si la explotación es excedente o no y obrar en consecuencia, aportando las mejores soluciones en este último caso. Asimismo, CEMAGREF (1990) indica la forma de reducir las pérdidas de nitratos esparciendo de forma correcta las deyecciones animales, estableciendo las cantidades adecuadas para los distintos cultivos e indicando el calendario de aplicación más corecto.

El calendario de aplicación está siendo implantado en la mayor parte de los países. Es necesario disponer de un plan de vertido adecuado a las capacidades de almacenamiento, las culturas del vertido de la zona y las exigencias de la reglamentación, lo que permitirá una mayor previsión en la organización del trabajo y del material necesario, ALCYON (1998a).

La directiva 91/676/CEE, de 12 de diciembre, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura, ha sido desarrollada para gestionar el nitrógeno aportado a los suelos cualquiera que sea su origen y condiciona la dosis de esparcimiento de los efluentes, en todas las zonas vulnerables, hasta un límite de 170 Kg N ha^{-1}, ALCYON (1998c).

España transpuso a su legislación la Directiva anterior en el Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias; este documento atribuye a las Comunidades Autónomas las competencias para designar las zonas vulnerables que consideren necesarias en su ámbito regional, así como para redactar y poner en marcha los Programas de Actuación y del Código de Buenas Prácticas Agrarias, ESTEBAN TURZO (2000).

En este sentido, se aprueba el Decreto 109/1998, de 11 de junio, por el que se designan, en Castilla y León, las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes de origen agrícola y ganadero y se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias, ESTEBAN TURZO (2000).

La comunidad de Castilla y León designó cinco zonas vulnerables entre las que se encuentra el municipio de Cantalejo, lugar donde se realiza la experiencia de campo incluida en este trabajo.

Las recomendaciones de la FAO (1986) en el sentido de controlar las emisiones de gases, proteger las aguas e incrementar la eficiencia de los tratamientos de los efluentes, serán acciones prioritarias en los distintos países.

2.4.2. LA ATMÓSFERA

Los residuos ganaderos, tanto sólidos como líquidos, en condiciones anaerobias incontroladas, son fuente de producción de gases no solo provocadores de malos olores, sino también, en algunos casos, peligrosos, ESTEBAN TURZO (1991).

Las sustancias gaseosas originadas en la actividad ganadera que pueden alterar las características del aire son: dióxido de carbono, metano, amoníaco, sulfuro de hidrógeno y olores, BATLLÓ (1993).

El dióxido de carbono y el metano son gases asfixiantes que desplazan el oxígeno atmosférico, cuyo valor en una atmósfera respirable no debe ser inferior al 18%. Mientras el dióxido de carbono no suele presentar problemas, salvo en situaciones muy anómalas, el metano es más peligroso por ser inflamable y explosivo, ESTEBAN TURZO (1991). Por otra parte, de todos es conocido el efecto invernadero debido al dióxido de carbono y la influencia que ejerce el metano sobre la capa de ozono.

El dióxido de carbono se produce fundamentalmente a través de la respiración animal y de los subproductos de su metabolismo y por tanto su contribución al aumento de los contenidos en la atmósfera es despreciable frente al producido por la combustión de los carburantes fósiles y los incendios forestales, BATLLÓ (1993).

El metano se produce principalmente por la descomposición anaérobica bacteriana de la materia orgánica. Una parte es reabsorbida por el suelo y la otra es oxidada en el aire, BATLLÓ (1993).

El amoníaco y el sulfuro de hidrógeno son gases irritantes que actúan sobre los tejidos húmedos, fundamentalmente ojos y vías respiratorias, ESTEBAN TURZO (1991). Además el amoníaco es un contaminante atmosférico que contribuye notablemente a la lluvia ácida

La mayor parte del amoníaco es emitida como consecuencia de la actividad agraria, fundamentalmente la ganadera, y el resto por los fertilizantes químicos. El ión amonio se produce mayoritariamente por hidrólisis de la urea contenida en las deyecciones líquidas del animal, reacción que se ve favorecida a pH elevado. La volatilización se produce cuando la concentración de amoníaco en la superficie es superior a la concentración de amoníaco en el aire, BATLLÓ (1993). La volatilización de amoníaco a partir de los purines es mayor cuanto más elevados son la concentración de amoníaco, la temperatura, el pH y la superficie, VOERMANS (1998).

Los olores tienen su origen fundamentalmente de los procesos de degradación biológica de las sustancias contenidas en las excretas del ganado por formación de gases muy diversos y en muy distinta cantidad, cuya mezcla da lugar al olor que tendrá distinta magnitud según la composición cualitativa y cuantitativa de estos gases, BATLLÓ (1993).

Los componentes del olor (ácidos grasos volátiles, indoles y fenoles) se producen principalmente bajo condiciones de almacenamiento anaerobias por las bacterias del género *Peptostreptococcus, Propionibacterium, Bacteroides,*

Megasphaera, Eubacterium y Clostridium, siendo estas dos últimas las que más contribuyen, ZHU y JACOBSON (1999).

La dependencia de la actividad biológica con la temperatura permite afirmar que, cuanto menor sea ésta, más lento será el proceso degradativo. Por ello la máxima concentración de amoníaco y de olores se produce durante las horas centrales del día y será superior en verano que en invierno, OOSTHOEK y col. (1990).

Una alimentación rica en proteínas produce un aumento en las emisiones de amoníaco. Una reducción del 20% en la ingesta de proteina bruta representa una reducción del 30% del nitrógeno excretado, mientras que el aumento de peso no se ve afectado, HARTUNG (1990).

Tanto los olores como el amoníaco pueden liberarse en la misma granja durante el almacenamiento, la aplicación al campo y en los tratamientos realizados a los excrementos. El diseño de la explotación y su manejo se relacionan directamente con la emisión de olores, BATLLÓ (1993).

En la explotación, las emisiones de amoníaco y olores aumentan con la ventilación, mediante la cual se consigue eliminar los compuestos volátiles y, en consecuencia, disminuir su concentración en la atmósfera y su presión parcial, con lo que se favorecerían nuevas emisiones, ISERMANN (1990).

Cuanto mayor sea la superficie de intercambio de gases, más emisiones se producirán. La pavimentación de la explotación disminuría las emisiones a condición de que se utilicen grandes cantidades de agua, lo cual aumentaría de forma importante el volumen de residuos. Por otra parte, una limpieza deficiente provocaría la emisión de amoníaco hasta niveles insostenibles, HARTUNG (1990).

El manejo de la explotación es también un factor a tener en cuenta. La volatilización de amoníaco a partir de las deyecciones líquidas es muy superior a la que se produce en las sólidas o cuando ambas están mezcladas. La utilización de agua en la manipulación de los excrementos del ganado disuelve la orina y disminuye la concentración de amonio y la liberación de amoníaco. Por otra parte, el uso de cama de paja para el ganado absorbe la orina, disminuyendo la parte líquida y reduciéndose las emisiones de amoníaco. Además, cuanto menor sea la humedad de la paja utilizada, menos olores se producirán, CLARKSON y MISSELBROOK (1990).

Durante el almacenamiento, en la fase inicial de degradación microbiana, se producen elevadas emisiones de amoníaco tanto en estiércoles líquidos como sólidos, DEWES (1999). En efecto, cuando el estiércol líquido se recoge mezclando heces y orina, la hidrólisis de la urea da lugar a incrementos en la concentración de ión amonio; en contraste, en el estiércol sólido la concentración es menor, pero la aireación acelera un proceso microbiano exotérmico alcanzando la temperatura el valor de 70ºC, lo que puede ser la causa de altas emisiones de amoníaco. BERTRAND (1993) estima unas pérdidas de nitrógeno del purín, por volatilización durante el almacenamiento, del 10 al 30%.

En el estiércol sólido con alto contenido en paja (15% MS) la fase de descomposición, durante la que se produce la emisión de amoníaco, tiene una duración de 2 días, mientras que con menor contenido en paja (2,5% MS) es de 10 días. En el primero de ellos, sólo el 5,9% del nitrógeno total del material inicial fue emitido al cabo de 16 días, mientras que en el segundo se emitió un 10,8%. En contraste para el estiércol líquido, la emisión de amoníaco nunca alcanzó un pico sino que fue lineal a lo largo de los 16 días, llegando al 6,6% del nitrógeno total inicial, DEWES (1999). El almacenamiento de estiércol sólido puede ser asociado con más bajas emisiones de amoníaco que el estiércol líquido. Lo contrario también es cierto, ya que en la práctica el estiércol sólido se almacena en pilas con superficie convexa, lo que provoca mayores emisiones que el estiércol líquido almacenado en tanques con superficie plana. En el modelo presentado por el autor del trabajo esto no se ha dado y las condiciones de almacenamiento no son comparables.

La rápida evacuación de los excrementos al exterior de la explotación (balsas o estercoleros) disminuye las emisiones en el interior pero provoca la liberación a la atmósfera de compuestos contaminantes y de olores. Los factores a tener en cuenta son los siguientes:

- El tipo de excremento; la volatilización de amoníaco disminuye a medida que lo hace la concentración de amonio pero, por otra parte, éste se ve restablecido por la descomposición del nitrógeno orgánico durante el almacenamiento. Además, el amoníaco puede liberarse más fácilmente en un medio acuoso que en uno viscoso y por tanto, para residuos del mismo tipo, las emisiones serán mayores cuanto menor sea el contenido de materia seca, es decir, cuanto más diluido esté, BATLLÓ (1993).
- El tipo de almacenamiento, según la fermentación a que se someta al excremento. Si es aeróbica, las emisiones son muy superiores que si se trata de una fermentación anaeróbica. Por otra parte, tanto la volatilización de amoníaco como los olores durante el almacenamiento dependen de si el depósito que contiene los residuos se encuentra o no cubierto, KOWALEWSKY (1981). Experiencias con distintos tipos de recubrimientos en balsas de purines indican que se pueden conseguir reducciones de hasta el 70% en emisiones de olores y entre el 70 y el 90% en volatilización de amoníaco. El grado de eficacia en estas reducciones es variable en función del material utilizado y de la época, obteniéndose los mejores resultados en verano, DE BODE (1990).
- La relación superficie/volumen del depósito, ya que cuanto menor sea el diámetro en relación a la altura, menos emisiones se producirán debido a que existe un menor intercambio de gases entre el depósito y el aire, BATLLÓ (1993).
- La presencia de costras superficiales en las balsas reduce las emisiones de amoníaco a la atmósfera, BATLLÓ (1993).
- El tiempo de almacenamiento hace aumentar las emisiones y volatilizaciones. La magnitud dependerá del resto de factores analizados, BATLLÓ (1993).

Cuando el almacenamiento se realiza bajo el suelo se producen emisiones de ácido sulfhídrico en mayor proporción cuando la temperatura del líquido es superior a la del aire, AROGO y col. (1999).

Durante la aplicación al suelo y en las horas siguientes se producen las mayores emisiones y volatilizaciones, PAIN y col. (1989). Así, por ejemplo, 1 m^3 de purín de porcino emite del orden de 2,6 millones de unidades de olor (OU) y 2 Kg de amoníaco, BATLLÓ (1993). Además de las emisiones, hay que tener en cuenta la influencia de los factores meteorológicos en la difusión de los olores, tales como la dirección y velocidad del viento, la temperatura ambiente, la presión atmosférica, las precipitaciones, etc., DU TOIT (1987). Las proporciones de pérdida de amoníaco del purín aumentan con la temperatura y el movimiento del aire, HOFF y col. (1981).

Tras la aplicación del purín al suelo se emiten gases de amoníaco, óxido nitroso y metano. La dilución del purín con agua permite su mejor penetración en el suelo. Según SCHÜRER (2000) esta práctica hace que las emisiones de amoníaco y metano disminuyan, pero las de óxido nitroso aumentan.

En las aplicaciones superficiales de ELP al suelo, factores como dosis de aplicación, estado de humedad del suelo, aireación y temperatura son más importantes que las propias características del suelo, en la regulación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco, POMAR GOMÁ (1984).

ADRIANO y col. (1974) estudiaron las pérdidas de nitrógeno en suelos abonados con estiércol de vacuno, con porcentajes de saturación de agua del 60 y 90%, a dos temperaturas diferentes (10 y 25ºC) obteniendo una escasa influencia debida a la proporción de estiércol aplicado. Las pérdidas fueron más elevadas a 25ºC (40 y 45%) que a 10 ºC (26 y 39%) para los respectivos porcentajes de saturación de los suelos, sugiriendo que la volatilización de amoníaco es el principal causante de esta pérdida. Sin embargo, POMAR GOMÁ (1984) obtuvo una elevada correlación lineal entre la dosis de ELP aplicada al suelo y las pérdidas de amoníaco por volatilización. Las pérdidas fueron también mayores en suelos húmedos que en secos.

Cuando el residuo está en el suelo en contacto con el aire, puede llegar a perderse hasta el 80% del nitrógeno presente inicialmente en él, cantidad que variará en función de diversas características del suelo como son la textura, densidad y estructura, pH, capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), humedad y conductividad hidráulica, BATLLÓ (1993). Cuanto mayor es el volumen de ELP aplicado superficialmente al suelo, la influencia de la permeabilidad del suelo predominará sobre la C.I.C.; lo contrario ocurre con aplicaciones de pequeñas dosis, POMAR GOMÁ (1984).

Los suelos de textura gruesa, con velocidad de infiltración alta, sobre los que se aplican superficialmente altos volúmenes de ELP, presentan unas pérdidas de nitrógeno por volatilización menores que los suelos con baja tasa de infiltración, POMAR GOMÁ (1984). En su trabajo, SOMMER y JACOBSEN (1999) estudiaron el efecto del contenido de agua, de un suelo arenoso, en la infiltración del purín de porcino aplicado superficialmente. El bajo contenido de agua del suelo intensificó la infiltración del purín y el transporte de amonio dentro del suelo, lo que redujo la volatilización de NH_3 en un 70% respecto a la que se produce en el suelo con altos contenidos de agua.

En cuanto al purín, el contenido en amonio, el pH y la materia seca son los factores más influyentes, de todos los que lo caracterizan, en la volatilización. La alcalinidad favorece el desprendimiento de amoníaco a expensas del ión amonio en él

contenido y la materia seca determinará la capacidad de infiltración del residuo en el suelo y las pérdidas de amoníaco, BATLLÓ (1993). Un estiércol de ganado porcino fresco (pH=7,8), aplicado en superficie (135 m^3 t ha^{-1}) en un suelo de textura franca (pH=7,0), perdió por volatilización el 82,5% del NH_4^+-N aplicado, en un período de 8 días, HOFF y col. (1981).

Las emisiones de olores y amoníaco son muy intensas en los primeros momentos de aplicación al campo y decrecen rápidamente durante las horas posteriores, POMAR GOMÁ (1984); PAIN y col. (1989). Las condiciones climatológicas influyen en estas variaciones.

La aplicación del purín puede realizarse superficialmente (con enterramiento posterior o no) o inyectándolo a una cierta profundidad. La maquinaria utilizada influirá sobre la formación de aerosoles. Los sistemas que pulverizan partículas muy finas a presión favorecen las emisiones; por el contrario, aquellos que incorporan el residuo al suelo directamente o mediante la pulverización de baja trayectoria, reducen las volatilizaciones, PAIN y col. (1989). La inyección en el interior del suelo puede reducir hasta un 94% las pérdidas, sobre todo en el caso de suelos húmedos, POMAR GOMÁ (1984). Como contrapartida, estos sistemas pueden facilitar el transporte de nitratos hacia las aguas subterráneas, SWERTS y col. (1992).

Las emisiones de NH_3 son más bajas cuando el esparcimiento se realiza en bandas comparado con el método de difusión; sin embargo las emisiones de N_2O aumentan. La climatología influye directamente sobre las emisiones. FERM y col. (1999) encontraron pérdidas de NH_3 del 50% del NH_4^+ aplicado en condiciones secas y cálidas y, en cambio, las pérdidas se redujeron al 10% en condiciones frías y húmedas.

La reglamentación y la valorización agronómica del purín imponen obligaciones que sólo los nuevos materiales de esparcimiento permiten cumplir. Los sistemas de baterías de tubos elevadas, que aseguran una mayor homogeneidad de las cantidades esparcidas, evitan la pulverización en gotas finas y disminuyen los olores y las pérdidas de amoníaco. Los sistemas que utilizan enterradoras disminuyen los olores y, por tanto, permiten aumentar las superficies de esparcimiento por aportes autorizados próximos a zonas habitadas. La elección entre estos sistemas depende de la superficie y cultivos disponibles, su proximidad, su tiempo y sus medios, DORFFER (1998a).

APEL (2000) propone reducir el problema del olor durante la aplicación mediante un seguimiento de buenas prácticas consistente en aplicar el purín en condiciones climáticas convenientes, cubrir inmediatamente después de la aplicación, utilizar maquinaria adecuada y diluir el purín con agua.

Una vez aplicado el residuo, las volatilizaciones serán mayores por el esparcimiento, seguido por la disolución, el riego posterior y por los sistemas que lo integran (enterrado e inyectores), KLARENBEEK y BRUINS (1990).

Las altas dosis de aplicación del residuo producen mayores volatilizaciones. Sin embargo, la cantidad de amoníaco liberado por volumen de residuo no es proporcional a la cantidad de residuo aplicado, ya que, al formar una capa más gruesa se crea mayor resistencia a la evaporación, BATLLÓ (1993).

La volatilización es generalmente inferior en un suelo desnudo que cuando se aplica sobre restos vegetales, ya que en éstos una parte del residuo se adhiere a las plantas y permanece más tiempo en contacto con el aire, con lo que aumenta la tasa de volatilización. Por otra parte, las aplicaciones en invierno provocan menos emisiones que en verano a consecuencia de la menor temperatura y su influencia sobre la presión parcial de los gases. VAN DEN ABBEL y col. (1989) estiman unas pérdidas de nitrógeno total del 33% entre noviembre y febrero y del 40% entre marzo y mayo. Es de destacar que, en el primer caso, un 10% se debe a desnitrificación y un 23% a volatilización y en el segundo, solamente un 1% son pérdidas por desnitrificación y el 39% por volatilización. Por tanto, en invierno habrá que prestar importancia a la desnitrificación sobre todo en las aplicaciones por inyección donde se ve favorecida.

El uso de purines de origen animal en agricultura puede incrementar las pérdidas de nitrógeno como N_2O por emisión directa o por desnitrificación, como corrobora la experiencia de ARCARA y col. (1999) sobre la influencia del vertido de purín de ganado porcino, por sí solo o en combinación con nitrógeno mineral, en las emisiones de N_2O y su relación con algunas fracciones de la materia orgánica del suelo. Mientras que apenas se encontraron variaciones en las emisiones en los tratamientos aislados, la combinación de purín y urea produjo incrementos en las emisiones de N_2O, tanto por emisión directa como por desnitrificación. Las mayores pérdidas se produjeron durante el primer mes siguiente a la administración del fertilizante y las emisiones de N_2O por desnitrificación fueron mayores en los días siguientes a la fertilización. Sin embargo, la emisión de N_2O debida a procesos de nitrificación bajo óptimas condiciones, se produce durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo. La climatología, especialmente la lluvia, influye sobre las pérdidas de N_2O, ya que el incremento de microporos de agua disminuye la cantidad de oxígeno, creando condiciones anaerobias que influyen en los procesos de oxidación-reducción y limitando, al mismo tiempo, la difusión de gas producido por las bacterias hacia la superficie del suelo.

Será necesario conocer la composición de los elementos generadores de olores, localizar la fase del proceso en que se producen y sus causas, ESTEVAN BOLEA (1991).

La caracterización de los componentes del olor en los establos ha sido realizada por JONGEBREUR y KLARENBEEK (1979), HARTUNG y HILLIGER (1979), SCHAEFER (1979), gracias a la utilización de técnicas instrumentales, sobre todo la cromatografía de gases.

Son varios los autores que han investigado diversos métodos a utilizar para la medida de las emisiones de olor. KOWALEWSKY y col. (1979) estudiaron algunos componentes de olores del estiércol líquido y los niveles detectables por el olfato, tanto en el establo como en los tanques de almacenamiento y en el campo una vez esparcido el efluente, para intentar resolver la cuestión de si la determinación de componentes principales permite una estimación razonable del nivel de olor. La conclusión extraída es que, entre varios componentes estudiados, destacaron el amoníaco, cuya concentración se correlaciona bien con los niveles de olor sensorial, y el ácido propiónico, que resultó ser potencialmente idóneo para la caracterización del olor. Otros componentes, como el sulfuro de hidrógeno, p-cresol, indoles, mercaptanos, aminas,

etc., son también potencialmente evaluables como componentes principales con adecuados métodos de muestreo y de análisis químicos.

ROUSTAN y col. (1979) caracterizaron los compuestos volátiles durante el almacenamiento del estiércol líquido de ganado porcino, obteniendo como principal compuesto nitrogenado el amoníaco; sin embargo las aminas (metil y dimetil amina) representaron una pequeña fracción (1%) del nitrógeno volátil. Tanto el amoníaco como el sulfuro de hidrógeno aparecieron muy rápidamente al comienzo del almacenamiento y alcanzaron una concentración final proporcional al contenido de materia seca del purín. El contenido de ácidos grasos volátiles aumentó, mientras que los porcentajes relativos de los diferentes ácidos permanecieron constantes e independientes de la muestra a menos que se utilizara un tratamiento biológico.

Por último, es necesario comentar que el desprendimiento de olores en las explotaciones intensivas de ganado es un problema creciente debido a un gran número de factores: por una parte el influjo de familias urbanas en áreas rurales que soportan peor las prácticas tradicionales de cultivo; y por otra, el cambio del estiércol tradicional que produce olores durante cortos períodos de tiempo, por las aplicaciones que producen olores durante prácticamente todo el año, OSBORNE (1982).

En un intento de buscar soluciones para reducir los olores, no existe una única técnica aplicable a todas las situaciones, ya que el procedimiento está condicionado por múltiples factores: estado de la instalación, molestias a las poblaciones próximas a la instalación y durante la aplicación, objetivo de reducción global de olores y costes de la inversión necesaria. Por otro lado, conviene delimitar bien las finalidades de cada técnica antes de su adopción, ALCYON (1998b).

La puesta en marcha de una línea de subvenciones, que tienen como fin la modernización de instalaciones mediante la introducción de mejoras que permitan una reducción de la contaminación (construcción de fosas de almacenamiento y de estercoleros, cubierta del área de trabajo, arreglo de fisuras, etc.), está solucionando muchos de los problemas existentes, ALCYON (1998d). La distancia conveniente a los núcleos de población reducirá las molestias provocadas por los olores y, en la aplicación al suelo, se hace necesaria una buena gestión evitando esa aplicación a favor del viento, cubriendo el purín tan pronto es esparcido o inyectándolo en superficie, OSBORNE (1982).

2.4.3. PROBLEMAS DE SALUBRIDAD

Tal y como se ha tratado frecuentemente en esta revisión, los problemas específicos se concentran en áreas con alta densidad ganadera, pero, hasta ahora, las preocupaciones se han centrado más en la contaminación de suelos y aguas debido a los constituyentes químicos del estiércol, y en los problemas de olores, que en la transmisión de enfermedades. Sin embargo, los desechos procedentes de animales monogástricos que se crían mediante sistemas intensivos, son la fuente animal principal de contaminación ambiental por bacterias multiresistentes, LAFONT y col. (1982); BELL (1982).

Es una opinión generalizada que todos los agentes infecciosos son excretados por animales infectados mediante canales diferentes, y que estos agentes alcanzan finalmente el estiércol en las explotaciones ganaderas. Asímismo, los estiércoles procedentes de animales infectados, representan una amenaza epidemiológica sobre otros animales, de la misma granja o de granjas distintas, que pueden entrar en contacto con él durante el transporte o el esparcimiento en el suelo, o por medio de productos destinados a la alimentación que han sido infectados, STRAUCH (1982b); HILLIGER (1982). Otros animales como roedores, insectos y pájaros silvestres pueden actuar como transportadores de enfermedades, WALTON (1982).

La ubicación geográfica de la granja y las especies de animal son determinantes en la presencia de patógenos. La utilización de antibióticos promotores del crecimiento (APC), hace que se eliminen algunas bacterias patógenas del intestino del animal, o, en todo caso, que disminuya su capacidad de colonización, DOMINGUEZ y col. (2000). La composición física y química del purín, junto con las condiciones de almacenamiento, también son determinantes sobre los tipos de patógenos presentes, ya que influyen sobre el declive del patógeno, JONES (1982). Sin embargo, incluso si los microorganismos fecales decrecen durante el almacenamiento, los problemas higiénicos pueden persistir, DELPUI (1979).

Las enfermedades potenciales que pueden ser transmitidas por el estiércol animal se deben a bacterias, virus, protozoos, parásitos y hongos. En la industria del porcino la enfermedad entérica presenta el mayor problema; la disentería y otras enfermedades asociadas con *Campylobacter ssp*, además de la salmonellosis, tienen una especial importancia, WALTON (1982). En Italia PETEK (1982) aporta datos estadísticos sobre esta infección.

VERGER (1982) estudia la contaminación por *Brucella* de los residuos ganaderos. Bajo condiciones apropiadas, la *Brucella* sobrevive durante largos períodos de tiempo en el estiércol, sobre todo cuando éste se encuentra en forma líquida. El método de almacenamiento del estiércol es un factor importante en la supervivencia y la muerte de la *Brucella*. Si la mezcla de heces y orina es retirada con el material de cama, y compostada, la temperatura alcanzada de 70ºC permite la muerte de todas las especies de *Brucella* al cabo de una hora. El problema es diferente si la mezcla de heces y orín se suspende en un gran volumen de agua con mínimas cantidades de material de cama (purín), o sin él (estiércol líquido). El líquido o semi-líquido resultante de esta mezcla, crea unas condiciones anaerobias que son particularmente apropiadas para la conservación de la *Brucella* en los fosos de almacenamiento. En ausencia de tratamientos, la aplicación de este residuo sobre suelos de pasto es probable que propague la contaminación a otras manadas.

Diversos materiales pueden absorber virus, de tal forma que los virus excretados fecalmente por los animales podrían llegar a localizarse en los residuos y en el medio ambiente. Los diversos factores que influyen en la absorción interactúan para que sea difícil su control, a modo de ejemplo: pH, fuerza iónica, presencia de cationes polivalentes, presencia de proteínas u otros compuestos orgánicos, detergentes, etc, LUND (1982).

Los enterovirus pueden permanecer infecciosos en el estiércol líquido durante períodos prolongados. La inactivación de los virus se produce entre 3 y 10 veces más rápido en condiciones aerobias que anaerobias. La dependencia de la temperatura es muy pronunciada en los procesos anaerobios (se indican factores de 5-10 para temperaturas entre 5 y 20ºC). El valor más rápido de inactivación que se encontró fue de 2-4 días para una disminución de poder infeccioso de una unidad a 20ºC bajo condiciones ventiladas. Si, por otras razones, se opta por un sistema anaerobio, es preciso tomar en consideración la posible infección por virus, especialmente si el almacenaje tiene lugar a baja temperatura, LUND (1982).

Es difícil evaluar la importancia, para el contagio de infecciones, de la presencia de virus entéricos en estiércoles. A pesar de ello, es muy probable que los virus estén presentes en los purines, y puedan permanecer activos en el suelo durante un tiempo considerable. La persistencia dependerá de la humedad, temperatura, pH, composición del suelo, tipo de virus, etc. Parece probable que los virus permanecen, para la mayoría de suelos y climas europeos en la capa superficial y sólo en raras ocasiones alcanzarán el agua del suelo, LUND (1982).

DEAN y FORAN (1992) estudian la contaminación bacteriana de suelos y aguas por *Scherichia coli* y *S. faecalis*, tras la aplicación de purín por irrigación, como consecuencia de la elevada concentración de bacterias y la excesiva proliferación de algas. El suelo resultó ser un eficiente filtro de bacterias. La concentración de coliformes fecales antes y después del vertido es similar a la de otros vertidos estudiados, con la excepción de aquéllos donde la superficie del suelo había sido cultivada justo antes de la aplicación del estiércol. Sin embargo, este estiércol líquido aplicado al suelo, puede penetrar rápidamente y contaminar el agua. La mayor parte de los estiércoles vertidos producen degradación del agua desde 20 minutos hasta 6 horas posteriores a la aplicación.

KELLY y COLLINS (1982) comentan en su trabajo que las investigaciones epidemiológicas retrospectivas culpan al purín de ser causante de brotes de *Salmonella*. Los estudios de transmisión en terneros y ovejas, los cuales estaban alimentados con pastos contaminados con marcadores de *Salmonellae* o *E. Coli,* no dan lugar a resultados inequívocos. Los terneros se infectaron al pastar 18 horas después de haber rociado con purín que contenía 10^6/mL *de S. dublin*, TYLOR y BURROWS (1971). En un ensayo posterior, la infección no se produjo cuando los terneros pastaban 7 días después de esparcir purín que contenía 10^5/mL de *S dublin*, TYLOR (1973).

En dos ensayos realizados en verano y otoño de 1978, 40 vacas y 70 ovejas pastaron sobre suelos tratados con purín, KELLY (1979). Inmediatamente antes de la aplicación de 25000 $L.ha^{-1}$, el purín se contaminó con 2.10^6/mL de *S. dublin* o 10^6/mL de *E. Coli*. Diez días después de aplicar el purín los animales comenzaron a pastar. De ellos, un pequeño número de ovejas (no de terneros) adquirieron y excretaron *E. Coli* durante el mes siguiente; ningún ternero ni oveja se infectó de *S. dublin*. Es preciso tener en cuenta el efecto del almacenamiento del purín en la supervivencia de bacterias multirresistentes (incluyendo *E. coli)*, ya que se ha observado su persistencia en el purín.

Los estudios de DOWNEY y MOORE (1979) sobre la posible diseminación de parásitos intestinales por los estiércoles animales, concluyen que el corto tiempo de almacenamiento del estiércol líquido de ganado porcino en los sistemas de slat, durante un período de bajas temperaturas, es particularmente responsable de la alta incidencia de huevos de *Trichostongylid*. El almacenamiento prolongado, particularmente si incluye exposición a altas temperaturas en verano, hace que el número de huevos viables disminuya, DOWNEY y MOORE (1982).

La estanqueidad poco satisfactoria de los depósitos es una fuente permanente de contaminación de las aguas superficiales, pozos y manantiales, con *Erysipelothrix*, *Leptospira* y otros organismos altamente patógenos, SCHELLENBERG (1982)

La mayoría de los organismos patógenos presentes en los desechos animales, particularmente los de ganado porcino, se destruyen mediante los tratamientos usuales que suponen un almacenamiento prolongado y una aplicación final en el suelo; sin embargo, algunos organismos entéricos indeseables (*Salmonella, E. Coli*) pueden sobrevivir a tales tratamientos, SCHELLENBERG (1982).

Hay razones para pensar que el purín de ganado porcino, a causa de su contenido en cobre, puede ser perjudicial para *Lymanea truncatula*, huésped intermedio de *F. Hepatica*. Una reducción en el aporte de cobre podría alterar esta situación con consecuencias también para infecciones por *Salmonella dublin*, OVER (1982).

ERREBO LARSEN y MUNCH (1982), obtienen datos sobre un experimento de supervivencia de microorganismos en tanques experimentales, de los que deducen la necesidad de disponer de más de un depósito de almacenamiento en cada granja, el conocimiento de la concentración inicial del patógeno y la toma de decisiones acerca de un punto final aceptable de descontaminación sobre el almacenamiento.

CURRY y col. (1979) estudiaron el efecto sobre la fauna invertebrada (lombrices y artrópodos) de la aplicación de estiércoles líquidos de ganado porcino, observando que las lombrices solo se ven afectas con altas dosis de aplicación, aunque de forma transitoria, recobrándose las poblaciones al cabo de 12-15 meses. Por el contrario, aplicaciones moderadas dan lugar al aumento de poblaciones en aquellos suelos donde su alimento era limitado. Altos niveles de cobre en el suelo podrían suponer un peligro. En cuanto a los artrópodos, su papel en los procesos de mineralización y descomposición de la materia orgánica en los suelos con escasez de lombrices es relativamente importante. Los cambios inducidos por el purín en la estructura de las comunidades de artrópodos fueron menores y ello podría suponer un serio efecto en detrimento de los procesos de descomposición.

2.5. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE GANADO PORCINO

El único destino racional de este tipo de materiales, acorde con el concepto de desarrollo sostenible, es la aplicación al suelo, es decir, su uso como fertilizantes, GONZÁLEZ y SÁNCHEZ (1990a). No obstante, la implantación de la ganadería y la agricultura intensivas han conducido a una disociación entre ambas actividades que es necesario corregir.

A la carencia de suelo propio para aprovechar las unidades fertilizantes que poseen las deyecciones animales hay que añadir la reticencia de los agricultores a utilizar un material desagradable, de no fácil distribución y cuya composición dista mucho de tener la uniformidad de los fertilizantes minerales, GONZÁLEZ y col.(1988).

Ello ha obligado a los propietarios de explotaciones intensivas de ganado porcino a buscar sistemas de tratamiento que les permita hacer frente a los problemas de contaminación que plantean los purines que no pueden utilizar como fertilizantes, los denominados excedentes.

No es objeto de este estudio pasar revista detallada a los distintos sistemas de tratamiento posibles, sino el uso agrícola de los purines tal como se obtienen en la explotación y, frecuentemente, después de un cierto tiempo de permanencia en la fosa de almacenamiento. No obstante conviene señalar que, además de consideraciones de índole económico, hay que tener en cuenta que cualquier sistema de tratamiento conducirá a la obtención de algún tipo de producto (sólido, líquido o pastoso) cuyo destino final, casi invariablemente, será el suelo, y ello después de haber sido disminuidas algunas de sus características agronómicas.

Existen muchas publicaciones dedicadas al tratamiento de los residuos ganaderos; unos han sido ensayados en explotaciones comerciales y otros sólo a nivel experimental. Algunos de estos sistemas parecen funcionar; otros es evidente que no y otros sólo lo hacen de forma limitada.

Dado que es imposible pasar revista a todas las publicaciones e investigaciones existentes sobre el tema, nos ceñiremos a exponer la problemática general y seleccionar algunos ejemplos de los métodos de tratamiento, mostraremos sus posibilidades y limitaciones y, de esta manera, podremos deducir si el sistema puede ser útil para una determinada situación. Hay que tener presente que los métodos de estabulación y manejo de los animales pueden influir en el sistema de tratamiento de los residuos.

En esencia, todos los sistemas de tratamiento diseñados para los purines hacen uso de los procesos unitarios, utilizados en el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales.

Todo tratamiento provoca modificaciones físicas, químicas o bioquímicas, y su finalidad puede ser o bien la fluidización del purín para favorecer las operaciones posteriores, o la desodorización del producto que permita la supresión de molestias olfativas durante la aplicación o la depuración para conseguir un efluente compatible con la calidad del medio receptor.

En todos los casos, estos tratamientos originan subproductos (lodos, purín desodorizado) que será necesario eliminar.

Una limitación importante de los purines para su gestión y aprovechamiento es su elevado contenido en agua o su bajo contenido en nutrientes, lo cual no permite su aplicación a todos los cultivos durante cualquier época del año, ni la exportación a zonas geográficas lejanas, deficitarias en nutrientes, lo que supondría un elevado coste en transporte, FLOTATS y col. (2000).

En este sentido, un tratamiento que estabilice y neutralice en la medida de lo posible los componentes orgánicos y nutricionales del purín y que reduzca su volumen, facilitará sin duda el transporte y aplicación a distancia del lugar de producción, evitándose la sobresaturación de los terrenos colindantes, SABATER y LOBO (2000).

Según FLOTATS y col. (2000a), el futuro se ha de basar en la gestión integral de los residuos orgánicos en zonas geográficas determinadas, integrando la producción, el tratamiento y la utilización posterior de los subproductos obtenidos.

2.5.1. SEPARACIÓN SÓLIDO LÍQUIDO

El purín es un producto semilíquido con un contenido variable en materia seca difícil de bombear para su aplicación al campo. El proceso de decantación natural del purín, cuando permanece almacenado un cierto tiempo, dificulta el vaciado de la fosa.

Además, la separación de sólidos es necesaria cuando se quiere realizar un tratamiento biológico al purín; también lo será como tratamiento previo a la deshidratación térmica, en aplicaciones por sistemas convencionales de irrigación o cuando se quiere realizar su transporte hidráulicamente, ya que los sólidos originarían obstrucciones o problemas operacionales, BLAHA (1977).

El interés en la separación del efluente ha crecido a causa del problema del almacenamiento, pero existen otras ventajas a su favor. El objetivo se encuentra en producir una fracción sólida que, aunque muy húmeda aún, puede amontonarse y utilizarse como un producto libre de olores y una fracción líquida que puede tratarse química y biológicamente y almacenarse, OSBORNE (1982). Cuanto más eficaz sea la separación del efluente inicial, tanto más elevada resultará la calidad del producto final obtenido, MUSMECI y GUCCI (1997).

La fracción sólida, una vez amontonada, comenzará espontáneamente a fermentar, alcanzando temperaturas entre 30 y 50ºC; cuanto más seca esté más rápidamente se eleva la temperatura y alcanza valores más elevados. Terminada la fermentación, la fase sólida permanece inerte y no da lugar a problemas de olores, de forma que puede mantenerse almacenada sin dificultades hasta el momento más oportuno para su aplicación a los cultivos. Sin duda esto es una ventaja, pero lo es aún más la ausencia de olores en el momento de la aplicación. En mezcla con otros materiales, fundamentalmente ricos en carbono, composta muy fácilmente, GRUNDEY (1982).

El líquido separado fluye fácilmente y en él se acumulan todos los compuestos fertilizantes solubles, GONZÁLEZ y col (1990b); este líquido es absorbido rápidamente por el suelo. Otras ventajas destacables son, GRUNDEY (1982):

- Exige menor volumen de almacenamiento y no se forma costra.
- Su composición es más homogénea y se pueden tomar fácilmente muestras representativas.
- La dosis y el momento de aplicación son más flexibles con lo que disminuyen los riesgos de contaminación.
- La respuesta de los cultivos al nitrógeno es más fiable.
- La hierba del pasto se ensucia menos.
- Puede ser vertido por un sistema de riego con trayectoria baja, generando menos olores. Incluso puede utilizarse un sistema de riego por goteo.
- Se puede equilibrar con fertilizantes líquidos.
- El control del olor puede realizarse con unos niveles mínimos de ventilación.
- Contiene menos microorganismos patógenos.

Es importante mencionar que el descenso de bacterias patógenas en la fracción líquida después de la separación está equilibrado por un aumento de su número en el material sólido, lo que por una parte es una ventaja al regar con la parte líquida y, por otra, exige que en la fermentación de la fase sólida se alcancen unas temperaturas que aseguren su completa higienización (compostaje).

Se utilizan dos métodos de separación: uno mecánico, que tiene lugar entre el edificio y la fosa, y un proceso de drenaje por gravedad que se produce en la fosa, OSBORNE (1982).

a) Separación natural

El método más común de separación natural consiste en dejar drenar el exceso de líquido fuera del sólido. La decantación natural por gravedad y la flotación de sólidos con la subsiguiente separación del líquido, proporciona un medio para obtener un material sólido con bajo contenido de agua, ESMAY (1977).

El proceso de decantación o separación de forma “natural” se produce por agrupamiento de las partículas que se encuentran en suspensión. En este proceso natural se presentan diferentes estratos que indican que se está produciendo una decantación. En la parte superior de la fosa se forma una costra, seguida generalmente de una zona esponjosa y de otra intermedia líquida. En la parte más profunda de la fosa se encuentra el sedimento o poso.

b) Separación mecánica

Se han desarrollado un gran número de separadores mecánicos de muy variados diseños. En primer lugar puede realizarse una selección de las fracciones más gruesas seguido de la aplicación de presión al sólido, generalmente mediante un rodillo para eliminar más líquido. El contenido en materia seca del sólido así producido es generalmente del 20 %. Los separadores se consideran muy efectivos si el contenido de materia seca no supera el 10 %, OSBORNE (1982). El producto ha de llegar al separador lo más homogéneo posible y debe transcurrir poco tiempo entre la producción

y la fase de tratamiento (los sistemas de evacuación continuada eliminan olores desagradables y facilitan la separación de los elementos).

- Rejas

Es conveniente separar los elementos voluminosos mediante un tamizado "grosero", con una reja intercalada en el recorrido del producto hasta el depósito de recepción previo al separador. Este depósito contará con un sistema de homogeneización que impedirá la estratificación natural.

Las rejas, como en cualquier depuradora, sirven para eliminar elementos gruesos y para evitar colmataciones en fases posteriores. Se utilizan de malla variable según la especie y edad de los animales y se instalan a la salida de la cochiquera, ESTEVAN BOLEA (1991).

- Tamizado

El separador más frecuentemente utilizado es una pantalla vibradora y consta, en esencia, de una lámina perforada que se hace vibrar. Son máquinas sencillas, robustas y emplean muy poca potencia. Funcionan satisfactoriamente, con pocas interrupciones, y si la zona donde se almacena la fase sólida dispone de un drenaje de retorno que devuelve las escorrentías al pozo de recepción, la instalación resulta muy eficaz, GRUNDEY (1982).

Estos tamices son los más eficaces ya que retienen tanto las partículas gruesas como parte de las pequeñas y de las coloidales, debido a la falsa colmatación del tamiz, que actúa así como un filtro, ESTEVAN BOLEA (1991).

El proceso de separación de fases es capaz de eliminar sólidos conteniendo aproximadamente un 22% de nitrógeno, un 20% de fósforo y un 20% de potasio, MOORE y GAMROTH (1993). La eficacia de este proceso de separación puede ser mejorada mediante tramientos previos con bacterias seleccionadas para transformar el amoníaco en nitrógeno proteico y así recuperar gran parte del nitrógeno soluble. La eliminación del nitrógeno orgánico pasa del 60% en el purín no tratado con bacterias, al 86%, DORFFER (1998b).

En los separadores de rodillos prensantes una pantalla convencional es cepillada, en una primera fase, pasando posteriormente el producto a una segunda fase en la que actúan los rodillos. La fibra húmeda es barrida en la primera parte del recorrido hacia unas pantallas semicirculares sobre las que se desplanzan dos rodillos, los cuales van barriendo la fibra una vez exprimida. El tamaño de las perforaciones suele ser de 1,5 mm y las producciones varían con el contenido en materia seca del purín, pero pueden considerarse correctos valores de 15 m^3 h^{-1} para el purín de ganado porcino, GRUNDEY (1982).

En los separadores de prensa de cinta, el purín se distribuye en forma de cinta o hilera sobre una correa perforada que se desplaza entre dos rodillos compresores. Pueden conseguir un sólido con un elevado contenido de materia seca, hasta del 25-30%, que composta rápidamente, GRUNDEY (1982).

Las máquinas combinadas de pantalla por gravedad y prensado trabajan en dos etapas: el purín pasa en primer lugar por un tamiz en forma de cuña y el sólido resultante, que ya ha perdido buena parte del líquido, se comprime mediante un pistón hidráulico dentro de un cilindro de paredes perforadas, GRUNDEY (1982).

- Centrifugación

La utilización de centrífugas para efectuar la separación no ha tenido mucha aceptación debido fundamentalmente a su precio y los costes de mantenimiento, teniendo en cuenta lo corrosivo de los purines sobre las condiciones de funcionamiento, además de no conseguir un rendimiento muy elevado, GRUNDEY (1982).

El sistema será aplicable en grandes explotaciones y el rendimiento puede ser del 40% para la DBO_5, ESTEVAN BOLEA (1991).

Los resultados obtenidos con el uso de centrífugas, BERTRAND y SMAGGHE (1985) muestran que este tipo de tamizado modifica poco las concentraciones de elementos solubles del purín (NH_4^+, K^+, Na^+, etc.). Por el contrario, el contenido en materia seca y en fósforo disminuyen en gran medida. Por último, se observa un ligero aumento del pH del purín tamizado (tabla RB28).

Tabla RB28: Valores medios de diferentes variables medidas sobre el purín fresco y tamizado, BERTRAND y SMAGGHE (1985).

n = 10	pH	Materia seca (%)	Materia mineral (% MS)	N total (g/kg)	N-NH_4 (g/kg)	P_2O_5 (g/kg)	K_2O (g/kg)	Na (g/kg)
Purín fresco	7,28	6,51	38,9	4,59	3,02	3,96	3,27	0,26
Purín tamizado	7,54	4,08	42,0	4,51	2,97	2,84	3,43	0,26

Evidentemente el separador debe ser capaz de trabajar durante períodos largos sin atención, puesto que no es aceptable tener que destinar mano de obra para vigilar posibles interrupciones.

La utilización de coagulantes en el tratamiento de los purines mejora el rendimiento de la separación (reducción del 20% de la DBO y del 50% de la DQO). Serán totalmente necesarios cuando, después del proceso de separación, quiere realizarse un proceso de oxidación y depuración de los líquidos. Pueden utilizarse coagulantes minerales (calcio, cloruro férrico, sulfato de hierro y sulfato de aluminio) o coagulantes orgánicos (polielectrolitos en forma de cationes), BALLESTER (1993).

CHÂTILLON (1998b) plantea un tratamiento consistente en una primera floculación con $FeCl_3$, seguido de una separación-filtración bajo presión, lo que permite obtener una fase líquida sin olor que puede almacenarse o usarse en irrigación, ya que contiene el 40-50% del nitrógeno, el 10% del fósforo y el 60% del potasio. La fase sólida está constituida fundamentalmente por la materia orgánica, contiene un 30% de materia seca y de ella se han retirado la mayor parte de elementos fertilizantes; además concentra el 80% de la carga contaminante del purín en un 20% del volumen inicial. Esta fase puede compostarse y reutilizarse posteriormente.

El sistema de tratamiento para las deyecciones de porcino propuesto por OSBORNE (1982), consta de una separación mecánica inicial que elimina cáscaras, fibras y residuos de alimentos no digeridos, obteniendo una fracción sólida con un 20-25% de materia seca que representa aproximadamente el 20% del aporte. La fracción líquida alimenta una sección de bio-filtración que tiene una circulación continua de líquido desde la superficie de un tanque a través del medio del filtro. El fango separado se elimina, se le añade un floculante y se bombea la mezcla a contenedores donde, al cabo de 5 días, se obtiene un producto gelatinoso, con aproximadamente un 10-11% de materia seca que puede utilizarse como estiércol, OSBORNE (1982).

La separación de fases permite producir un residuo sólido peletizable, fácil de transportar de cara a su exportación, COILLARD Y TEXIER (1994). La utilización de polímeros como coagulantes previa a la centrifugación, en dosis óptima de 3 tn de materia activa por tn de materia seca de efluente a tratar, permite obtener capturas superiores, del orden de 272 Kg de MS por tonelada, 9,2 Kg de N total, 16,6 Kg de P_2O_5 y 3,1 Kg de K_2O, así como el aumento del rendimiento de la alimentación, tiempos de funcionamiento más cortos y por tanto menores consumos eléctricos y mayores facilidades de evacuación de los residuos de la centrífuga.

WESTEMAN y BICUDO (2000) proponen un sistema de separación de flujo tangencial (TFS) donde los purines, previamente tamizados, se mezclan con cal, $FeCl_3$ y un polímero y se introducen en el tanque, cuyo movimiento circular tiende a reunir los sólidos en su parte central. El sistema puede eliminar una media de 22% del N total, 90% del P total, 49% la DQO, 50% los sólidos volátiles, 82% los sólidos suspendidos y el 87% de Cu y Zn.

No conviene olvidar que, el proceso de separación de fases de los subproductos de las explotaciones ganaderas, representa una solución al problema del almacenamiento de los purines y únicamente, si se considera bajo esta perspectiva, se puede obtener un resultado óptimo, condicionado a que su diseño y su capacidad sean adecuados a la producción y a las posibilidades de utilización de los productos resultantes.

2.5.2. TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

Consisten en desarrollar un cultivo bacteriano que actúa sobre los residuos utilizando la materia orgánica como sustrato para su actividad; por tanto reducen la DBO del residuo, controlando al mismo tiempo los malos olores.

Los microorganismos no actúan directamente sobre las materias a degradar, sino por medio de sus enzimas que ejercen de catalizadores. Estos enzimas son múltiples y específicos y están sometidos a la influencia de diversos factores, tales como la temperatura, pH, presencia y ausencia de ciertos elementos, agitación, etc., NEBREDA (1982).

El control de los sistemas de tratamiento biológico precisa por una parte, del conocimiento de las reacciones bioquímicas en las que intervienen los microorganismos y, por otra, de las características del efluente, del volumen de flujo y la carga orgánica del efluente a tratar, STAFFORD (1993).

Existen dos tipos de bacterias que condicionan el tratamiento: aerobias y anaerobias. En esta breve revisión bibliográfica se citarán, en primer lugar, los digestores aerobios y anaerobios, dejando para el final el desarrollo de estos procesos en lagunas, ante la dificultad de encontrar el lugar más adecuado a las lagunas facultativas, en donde se combinan procesos aerobios y anaerobios. Una mención independiente se concede a los tanques sépticos. Por último, al final de este apartado de tratamientos biológicos se incluye el compostaje, en atención a su carácter de proceso biológico aerobio, si bien, como se indicará más tarde, se considera que es algo más que un simple proceso de tratamiento.

2.5.2.1 TRATAMIENTOS AEROBIOS

El tratamiento aerobio del purín consiste en la digestión de la materia orgánica a partir de fermentaciones aerobias, es decir, por oxidación con el oxígeno disuelto en el purín. Con ello se consigue estabilizar una parte de la materia orgánica reduciendo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y aparecen nitratos, sulfatos, fosfatos y dióxido de carbono. El agua se separa por decantación, quedando en el fondo unos lodos, característicos de cada purín, que posteriormente pueden ser sometidos a una digestión, un secado o una aplicación al suelo, NEBREDA (1982).

El tratamiento aerobio limita el olor del purín y normalmente conduce a la formación de compuestos oxidados, BESNARD (1979). Cuando el purín es aireado el nitrógeno se encuentra principalmente en forma de amonio y se pierde por volatilización de amoníaco. Si la concentración de O_2 disuelto en el líquido aireado es suficiente, se forman nitritos y nitratos, se produce simultáneamente nitrificación y desnitrificación y se pierde más del 50% del nitrógeno..

El requerimiento de energía en los tratamientos aerobios de las excretas animales es bajo cuando el nivel de oxígeno disuelto es mínimo. La eliminación de materiales carbonados es similar a la que se obtiene con altos niveles de saturación de oxígeno. La sucesión de procesos de nitrificación y desnitrificación en el reactor de mezcla completa a escala laboratorio (15 litros) utilizado por SMITH y EVANS (1982), provoca pérdidas del 45% del nitrógeno total y del 90% del nitrógeno soluble. Los bajos niveles de oxígeno disuelto favorecen la nitrificación durante el tratamiento aerobio, debido al aumento de pH por la actividad de las bacterias desnitrificantes que eliminan el efecto inhibidor de las condiciones ácidas de las nitrificantes. Por último, el control del valor de pH a 7,1, mediante adiciones de hidróxido sódico o ácido clorhídrico, dio lugar a la completa oxidación del contenido de amonio del purín tratado.

GARRAWAY (1982) obtuvo eficiencias del 86% DQO mediante un sistema de tratamiento aerobio en tres etapas, utilizando tres depósitos de 20 litros provistos de aireador operando a temperaturas usuales de laboratorio. Cada día una parte del purín (1 -2 litros) se transfiere secuencialmente al depósito siguiente. Una considerable cantidad de nitrógeno se pierde durante el tratamiento (50%), sobre todo durante las dos primeras etapas. Los líquidos en los estadios previos son amoniacales y no olorosos, decreciendo la cantidad de amonio a medida que el tratamiento progresa; por el contrario, la concentración de nitritos y nitratos aumenta en los estados 2 y 3, debido a la nitrificación. La principal desventaja es el elevado consumo de energía y la pérdida de nitrógeno por desnitrificación, pero su bajo coste lo hace aplicable en casos concretos.

2.5.2.2. TRATAMIENTOS ANAEROBIOS

Los productos finales de cualquier tratamiento anaerobio son: agua, a la que se ha eliminado entre el 60 y el 80% de la DBO, unos lodos que es necesario gestionar y un biogas formado por metano, dióxido de carbono, sulfhidríco, hidrógeno, etc.

Cualquier digestión anaerobia de un material orgánico da lugar a una mezcla de metano y dióxido de carbono principalmente, denominado biogas, que puede usarse como combustible. Esta es la característica más importante de la digestión anaerobia y la razón de que, en una determinada época y en determinados países, haya gozado y goce de una gran popularidad. Como único sistema depurador de los estiércoles licuados de porcino, tropieza con la enorme DBO que caracteriza a estos residuos; aún suponiendo un proceso de digestión anaerobia altamente efectivo (con un rendimiento en destrucción de DBO del 90-95%), después de la digestión el efluente sigue teniendo una DBO suficientemente elevada como para no poder ser vertido en nigún cauce de agua, por lo que el proceso debe ser completado con otro u otros sistemas de tratamiento. Además, como en cualquier otro proceso de tratamiento biológico, se generan unos lodos a los que hay que dar algún destino que, generalmente, es la aplicación a los suelos agrícolas.

Cuando el estiércol licuado no tratado no puede aplicarse directamente al suelo a causa del olor u otros problemas ya mencionados, es preciso realizar un tratamiento, cuyo coste podría ser recuperado utilizando el biogás producido, por fermentación anaeróbica, para la producción de electricidad y transformándolo en calor, al igual que el valor del efluente usado como fertilizante, STAFFORD (1993).

En efecto, la energía térmica y eléctrica requerida en la producción porcina puede ser suministrada procesando el estiércol en un digestor anaerobio que produce gas metano, el cual puede alimentar un motor de combustión interna que acciona un generador eléctrico, FISCHER y col. (1981).

Mediante el proceso de digestión anaerobia se reducirá significativamente la carga contaminante del efluente sin perder el valor fertilizante mineral que contiene, STAFFORD (1993). Este proceso tiene la ventaja, frente a las técnicas aerobias, de ahorrar energía al no requerir oxígeno; se obtienen además subproductos valiosos como el biogas, BOOPATHY (1998), e incluso se utiliza el residuo procedente del digestor como alimento animal (en forma de proteína microbiana) o como fertilizante para uso en agricultura, tal y como se ha mencionado anteriormente.

El producto obtenido mediante fermentación anaerobia del estiércol licuado de porcino por PFUNDTNER (2000), consigue una importante reducción de materia seca (7,7 a 2,7%), es fácil de manejar, se absorbe mejor por el suelo, presenta menores pérdidas de amonio, y por tanto de olores, e incrementa la producción de maíz comparado con el producto no fermentado. Resultados semejantes fueron obtenidos anteriormente por ESTEBAN TURZO y col. (1982) en cuanto a la reducción de materia seca (10,6 a 4,6%); sin embargo, se obtuvieron producciones similares con ambos productos (fermentado y no fermentado), ESTEBAN TURZO y col. (1987).

La digestión metánica influye de manera importante sobre el valor fertilizante de los efluentes tratados. La utilización de un estiércol de porcino digerido anaerobiamente

en un cultivo de raygrass muestra un ligero aumento de la producción (6%) cuando se aplican al suelo junto con una fertilización mineral (150 Kg ha^{-1} de N-P-K) y un incremento más importante (17%) cuando se aplican en ausencia de fertilización mineral nitrogenada. La menor efectividad de los efluentes no digeridos se debe al bloqueo momentáneo del nitrógeno mineral del suelo provocado por la descomposición de las sustancias biodegradables, JUSTE y col. (1981).

Similares resultados se obtuvieron en pruebas realizadas en pastizales durante tres años por Stafford y su equipo; se alcanzó un mayor rendimiento en peso con el producto fermentado que con la utilización de estiércol licuado en bruto. Lo que en un principio puede parecer una contradicción, puesto que el nitrógeno se pierde como amoníaco durante el proceso de digestión anaerobia, los resultados sugieren que el nitrógeno que queda en el efluente se encuentra en formas más rápidamente asimilables para las plantas. La equivalencia entre el fertilizante comercial utilizado (Nitram) y el efluente digerido era aproximadamente de 1 m^3 de efluente por cada 4,44 Kg de Nitram, lo cual es debido no solo al nitrógeno, sino a la capacidad de fertilización más equilibrada del efluente y a sus niveles más altos de fósforo y potasio, STAFFORD (1993).

La comparación de la técnica aerobia frente a la anaerobia efectuada por SUTTON y col. (1976), conduce a menor contenido en materia seca en el tratamiento aerobio, debido a la mayor descomposición de la materia orgánica, así como menor concentración de nitrógeno total y amonio y mayor de nitratos, a causa de la oxidación biológica del amonio a nitrato en el foso aerobio con pérdida potencial de nitrato por desnitrificación.

2.5.2.3. LAGUNAJE

El lagunaje es un sistema de tratamiento de residuos formado por una o varias lagunas artificiales, también denominadas con frecuencia balsas o estanques de estabilización, puesto que su fin es disminuir el contenido de materia orgánica en el efluente de forma que quede estabilizada.

El lagunaje natural produce una desodorización a muy bajo coste energético, siendo una solución de tratamiento adaptada a los ganaderos que quieren aplicar un producto desodorizado y que disponen de tierras cultivadas e irrigables próximas a la explotación. Sometido el purín a una separación de fases, la sólida se comercializa, mientras que la fase líquida pasa a las lagunas donde es desodorizado naturalmente y pierde una parte de su nitrógeno por volatilización de amoníaco (33%). El purín tratado puede almacenarse durante largos períodos antes de ser esparcido por irrigación, DORFFER (1998d).

El lagunaje es un método habitualmente utilizado en las modernas explotaciones ya que se ajusta a un sistema de manejo automatizado del purín líquido. Pueden encontrarse lagunas que se utilizan fundamentalmente como almacenamiento en las que no se produce flujo de fluído por la parte superior; o lagunas con flujo donde además se consigue un manejo adecuado del olor, WHITE (1977).

Es un sistema biológico de tratamiento, al ser las bacterias y algas responsables del mismo. Frecuentemente se les incluye dentro de las denominadas tecnologías blandas de tratamiento.

En las lagunas aerobias-algas, el oxígeno disuelto proviene fundamentalmente de la actividad fotosintética de las algas, produciéndose el acoplamiento simbiótico entre éstas y las bacterias aerobias, que son las responsables de la degradación de la materia orgánica. Para la producción de oxígeno por las algas es fundamental la luz del sol, WHITE (1977).

En este tipo de lagunas, existen dos factores extremadamente críticos: la profundidad y la turbidez, WHITE (1977). En efecto, se producirá un gradiente vertical de concentración de oxígeno puesto que, cuanto mayor es la profundidad, la penetración de la luz será menor y, en consecuencia, la fotosíntesis. Si la carga orgánica es demasiado elevada, el oxígeno será insuficiente para que se den condiciones aerobias en la zona más profunda. Además, debido al CO_2 consumido en la fotosíntesis, el pH se mantendrá básico.

La profundidad de crecimiento profuso de algas es de aproximadamente 50 cm, que corresponde a la máxima penetración de luz. Los elevados contenidos de cobre en algunos purines, restringen el uso de este tipo de lagunas al ser un elemento tóxico para las algas, WHITE (1977).

En las lagunas aireadas, la acción de mezclado del aireador permite disponer de mayores profundidades (3-4 m). La transferencia de oxígeno en el interior del líquido aumenta a medida que se proporciona mayor contacto aire-agua a través de las burbujas formadas, WHITE (1977).

HEDUIT (1979) estudió la transferencia de oxígeno en efluentes procedentes de explotaciones de porcino, para lo que seleccionó tres parámetros: el coeficiente de transferencia global, la capacidad de oxigenación y la eficiencia de la aireación. Utilizando purines con capacidades de oxígeno de 0,3 kg O_2. kg^{-1} de DQO y 0,85 kg O_2. kg^{-1} de DBO, obtiene al cabo de 47 días, y con una temperatura de mezcla de 30ºC, un purín sin olor y con las siguientes eficiencias: 80% DBO, 70% DQO, 35% N total y 55% sólidos en suspensión.

En algunas regiones francesas, como Bretaña, los grandes volúmenes de residuos ganaderos, fuertemente cargados con nitrógeno y fósforo, exceden la capacidad asimilable del suelo para su aplicación en los alrededores de la explotación. De todos los tratamientos de valorización ensayados, el lagunaje intensivo se muestra como el más interesante porque requiere pocos conocimientos por parte de los operarios. La instalación de lagunas trabajando en serie permite, por una parte, conseguir mayores eficiencias que con el lagunaje clásico, y por otra, producir biomasa (microalgas, dafne y peces). NOÜE y col. (1994) desarrollaron un sistema de tratamiento de purines de ganado porcino crudo decantado, mediante lagunaje intensivo durante el invierno, consistente en tres estanques en serie conteniendo sucesivamente algas, dafne y peces. Los resultados obtenidos muestran que por debajo de 5 ºC la eficiencia es muy reducida, no se produce biomasa de algas, y la nitrificación es muy baja. La actividad se recupera

tan pronto como la temperatura se eleva en primavera, lo que significa que el efluente ha de ser almacenado durante el período frío.

El sistema descrito por COILLARD y TEXIER (1994), en una región francesa con grandes excedentes de efluentes de ganado porcino, tiene como objetivo la eliminación del nitrógeno por vía biológica (laguna aireada) tras la exportación de la mayor parte del fósforo por separación de fases (floculación con un polímero y centrifugación). La composición del efluente sin tratar es de (26 g/l MS; 2,2 g/l N total y 1,6 g/l P_2O_5) y la reducción conseguida para el efluente tratado ha sido significativa (7 g/l MS; 0,1 g/l N total y 0,08 g/l P_2O_5). Este sistema gestiona el residuo para que pueda aplicarse el efluente tratado, a dosis agronómicas, sobre la superficie disponible y exportar el sólido separado. Sin embargo, el equipamiento necesario es muy costoso: fosa de homogeneización para la recepción de purín, reja de 1 mm, depósito para mezclar el purín y los lodos biológicos en exceso, centrífuga, balsa de aireación equipada con dos aireadores de superficie, decantador para clarificar el efluente tratado, balsas de almacenamiento y dispositivo de esparcimiento por irrigación.

Las lagunas anaerobias poseen una profundidad variable, normalmente comprendida entre 1,5 y 3 m, aunque a veces alcanzan 6 m o más. Precisan una separación previa de fases, la impermeabilización de las lagunas y un volumen necesario 30 veces superior al volumen de residuos a tratar.

El diseño de una laguna debe realizarse de forma que favorezca el desarrollo de las bacterias metánicas. Los principales factores son la temperatura, el pH, el tiempo de retención, la frecuencia con que se va a realizar la carga y el tamaño de ésta. La presencia de oxígeno libre inhibe el desarrollo de las bacterias metánicas, las cuales, aunque crecen por debajo de 15 ºC, prefieren temperaturas más elevadas; durante el invierno dichas bacterias se inactivan, WHITE (1977).

El lagunaje puede ser considerado solamente un tratamiento parcial del residuos. La mayor parte de los sólidos del residuo decantan hacia el fondo de la laguna aumentando en esa zona su concentración y permaneciendo en la superficie únicamente aquellas partículas sólidas más finas y el material disuelto, HOBSON y ROBERTSON (1977).

La acumulación del lodo varía con la velocidad de carga y el tipo de explotación; para el ganado porcino supone al año 5-10% del volumen de la laguna. Aunque debe pensarse en alguna forma de eliminar estos sólidos, lo cierto es que las burbujas mantienen en suspensión a algunos de ellos y, con el líquido sobrenadante que se emplea para regar, se marchan también buena parte de los mismos, WHITE (1977).

En general el propósito de estas lagunas no es la purificación de agua sino la estabilización de la materia orgánica. En muchas ocasiones se utilizan como unidades de sedimentación para reducir la carga orgánica en las siguientes unidades de tratamiento aerobio. La calidad del efluente obtenido en una laguna no permite la descarga directa sobre un curso de agua. Un riego controlado del efluente permite utilizar su contenido en materia orgánica, nitrógeno y fósforo, WHITE (1977).

HOBSON y ROBERTSON (1977) apuntan como principales ventajas y desventajas de las lagunas anaerobias las siguientes:

- Suministran una forma barata de almacenamiento comparado con otros sistemas de tanques. Por contra, no se consigue una completa eliminación del olor aunque sí una reducción.
- La pérdidas de nitrógeno son menores en una laguna anaerobia que en un sistema de tratamiento aerobio. El tiempo de tratamiento para el sobrenadante de la laguna (necesario si se quiere verter a un cauce) mediante un sistema aerobio, es considerablemente menor que para el residuo crudo. Por otro lado, como el proceso de descomposición es lento, la laguna requiere una gran extensión de terreno para tener capacidad de almacenamiento. Los sólidos residuales han de ser removidos periódicamente, lo que supone un problema añadido.
- Los fallos de diseño u operación, o condiciones climáticas adversas, pueden ocasionar malos olores o atraer insectos y ser visualmente desagradables. La lluvia excepcional puede causar desbordamientos y contaminar los suelos de los alrededores. En ocasiones, las características del suelo donde se va a asentar la laguna hacen que su construcción sea virtualmente imposible.
- El lagunaje es, de cualquier modo, un sistema incontrolado de manejo de residuos y su uso debería ser contemplado únicamente en situaciones donde no hay poblaciones próximas a quien perjudicar y hay espacio suficiente para que las escorrentías imprevistas puedan ser absorbidas, sin provocar interferencia con las operaciones de la explotación y sin posibilidad de contaminar los cursos de agua. La laguna es vista como un sistema de tratamiento que permite almacenar el residuo cuando no es posible el vertido.

Actualmente, la mayor utilización de lagunas se realiza como parte de un sistema más completo de tratamiento, que precisa una separación previa de sólidos. La laguna en este caso contiene un residuo relativamente diluído y el ataque microbiano será más intenso.

Las denominadas lagunas "facultativas" poseen una zona superficial aerobia y una zona anaerobia en el fondo; en él se fija la mayor parte de la biomasa formada en la zona aerobia y experimenta una descomposición con los influentes sólidos. La cantidad de bacterias y algas en el efluente será menor que en el caso de lagunas aerobias con algas, además de producir una eliminación adicional de carbono a través de la formación de metano, WHITE (1977).

El metabolismo microbiano aerobio en la superficie de este tipo de lagunas convierte el residuo, principalmente el material disuelto, en dióxido de carbono y agua. El crecimiento de algas, además de favorecer la descomposición del residuo, suministra más oxígeno para el crecimiento microbiano en el líquido. Por debajo de esa capa superficial se produce un incremento anaerobio en profundidad, lo que provoca la aparición de productos del metabolismo anaerobio, como son ácidos y gases (hidrógeno, dióxido de carbono, metano, sulfuro de hidrógeno y amoníaco), HOBSON Y ROBERTSON (1977).

Como colofón a los tratamientos citados, cabe destacar que todos ellos exigen, salvo el lagunado, grandes inversiones en instalación y mantenimiento, precisando que éste sea realizado por personal especializado. El lagunado no requiere esta labor de

mantenimiento, pero sí precisa grandes superficies de terreno. Por otra parte, ninguno de los sistemas citados, salvo el caso del digestor anaerobio, valoriza el residuo, el cual, desde el punto de vista de la valoración energética, no es muy idóneo y, desde el punto de vista de la depuración, requiere un tratamiento secundario, biológico y físico-químico, que encarece más el proceso.

2.5.2.4. TANQUES SÉPTICOS

Si el residuo ha de ser almacenado antes de la aplicación, los tanques cerrados o parcialmente cerrados ofrecen ventajas. La profundidad que puede darse al tanque permite conseguir grandes volúmenes de almacenamiento y precisa de menos superficie que la laguna. Además, el residuo en el tanque puede agitarse mediante bombas para prevenir la decantación de sólidos.

Los tanques sépticos son capaces de contener la totalidad de residuos, pero los parámetros para un buen diseño, y la extensión del tratamiento de residuos mediante tanques, precisan de un mayor estudio.

Al igual que las lagunas, la principal desventaja del tanque séptico es el largo tiempo de retención, lo que significa que se precisa un gran espacio y volumen para el tanque. Al igual que en la laguna, el tanque séptico sufre durante largo tiempo un proceso incontrolado aunque, si dispone de una adecuada base y está debidamente cubierto, tiene la ventaja añadida sobre la laguna de disponer de una temperatura estable y no sufrir los efectos de la lluvia, HOBSON Y ROBERTSON (1977).

En ocasiones, como ya se ha visto, la revalorización del efluente y su mayor facilidad de traslado a zonas deficitarias requieren su tratamiento para conseguir un producto fertilizante fácilmente comercializable. Tal es el caso de la pelitización del residuo sólido procedente del lagunaje. Su valor agronómico y su evolución en el suelo han sido estudiados por DUFFERA y col. (1999) en procesos de incubación con suelos durante 16 semanas a 25ºC, observándose, poco después de la aportación, concentraciones altas de NH_4-N y bajas de NO_3-N; situación que se invierte rápidamente transcurridas 2 semanas de incubación. El contenido de nitrato generado alcanzó el 90% de su valor final después de la cuarta semana. En todos los suelos, de las cantidades inicialmente añadidas, el 24-35% de N, 15-50% del P, 20-50% del Zn y 15-20% del Cu, fueron extraíbles al cabo de 8 semanas. Teniendo en cuenta la composición inicial del producto (1,7% N, 2,5% P, 0,18% Zn y 0,12% Cu), puede ser considerado una excelente fuente de fósforo pero puede requerir adiciones de nitrógeno en la mayor parte de los cultivos si se utiliza como fertilizante.

2.5.2.5. PROCESOS INTEGRADOS

El tratamiento del efluente mediante digestión anaerobia se integra dentro de un proceso global de tratamiento que precisa de un complejo equipamiento consistente en una separación previa de fases, bombas de homogeneización y alimentación, sistemas de calefacción, fosa de homogeneización, depósito de lodos y tratamiento aerobio y/o físico-químico posterior. Muchos trabajos se han desarrollado en este sentido.

STAFFORD (1993) añadió una unidad refinadora biológica aerobia a la de digestión anaerobia para detener la actividad de las bacterias metanogénicas y eliminar cualquier problema de olor en la descarga de los digestores. El tamaño del sistema de aireación dependerá de la intensidad y del volumen del efluente. Este sistema provocará una pérdida adicional de amoníaco.

La integración de una unidad de aireación intermitente en el sistema glogal de tratamiento de los efluentes de ganado porcino, que incluye una separación sólido-líquido, un tratamiento anaerobio y una unidad de sedimentación final, consigue una mayor eficiencia en la eliminación de la DQO y el N total, YANG y WANG (1999).

YANG y col. (1982) y YANG y NAGANO (1984) proponen un sistema de tratamiento biológico de efluentes porcinos que integra un primer tanque de digestión anaerobio y un segundo con microalgas y bacterias. Algunas de las ventajas que consigue son la producción y utilización de energía, recuperación de un residuo seco utilizable como acondicionador y fertilizante del suelo, reutilización del agua y gran disminución de la DQO y del nitrógeno amoniacal.

Con el objetivo de mantener el valor fertilizante del purín de ganado porcino y respetar el período en el que, por razones climáticas o pedológicas, no es posible su traslado al campo, BERTOLO y col. (1984) diseñaron un sistema de tratamiento biológico anaerobio para conseguir la extracción combinada de la contaminación orgánica y del nitrógeno, en el que se producen una serie de fases de nitrificación y desnitrificación, subdivididas de forma que se respete la exigencia microbiana. Como último estadio del proceso se produce una fase de desfosfatación mediante la adición de $FeCl_3$. El fango químico producido se deposita en una balsa de acumulación y el biológico se utiliza agronómicamente.

En aplicación de la Directiva de prevención y control de la producción integrada (IPPC) que establece áreas prioritarias donde la contaminación puede ser un problema, principalmente de malos olores y contaminación de aguas, algunos países como Inglaterra, DAGNALL y col. (2000), han considerado la posibilidad de implantar sistemas de digestión anaerobia centralizada (AD), de forma que el líquido fertilizante digerido puede volver a la granja cuando el momento de aplicación sea correcto y se tenga la seguridad de que los nutrientes sean utilizados mejor por los cultivos. La fibra digerida tiene un valor inmediato como acondicionador del suelo y puede ser utilizada para producir compost.

En este sistema, el producto primario que alimenta el digestor es el purín de porcino (6-10% MS), junto con el de vacuno (14% MS). El producto secundario lo constituyen otros efluentes ganaderos (principalmente aves) y residuos de la industria agroalimentaria (40-70% MS). El tiempo de retención es de 20 días para una capacidad de digestor de 7500 m^3, a razón de 375 m^3/día, lo que da lugar a 1,67 toneladas de sólidos secos por hora para mezclas con 12% MS, DAGNALL y col. (2000).

La promulgación del Real Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica, residuos y cogeneración, ha propiciado un cambio en la percepción del concepto tratamiento; ha alterado la estructura de precios y por tanto la relación oferta/demanda en el mercado; ha modificado las prioridades de las líneas de

investigación y desarrollo y en las estrategias y objetivos de los tratamientos. Sin embargo, el proceso de cogeneración no es un tratamiento, sino un medio para hacer económicamente asequibles los procesos de tratamiento cuyo limitante sea el aporte de energía térmica., FLOTATS y col. (2000b).

Por otra parte, el aumento continuo del precio de los carburantes, ha renovado el interés en la producción de energía mediante digestión anaerobia. El proceso, acoplado a sistemas de cogeneración combinada de calor y electricidad, producirá suficiente energía para el propio digestor y la granja donde se encuentra instalado, así como en ocasiones para la exportación, STAFFORD (1993).

SABATER y LOBO (2000) proponen un sistema que integra operaciones unitarias de digestión anaerobia, acidificación para fijar el amoníaco producido, evaporación a vacío (utilizando como fuente de calor la energía térmica procedente de la refrigeración de las camisas de los motores de cogeneración), secado para reducir el contenido de humedad del producto final y cogeneración que atiende la demanda energética de todo el proceso. El resultado final es la obtención de un fertilizante orgánico-mineral estabilizado.

2.5.2.6. COMPOSTAJE

Aunque, el compostaje se ha incluido generalmente en el apartado de procesos unitarios de tratamiento de los purines de ganado porcino, se debe considerar mejor como un procedimiento para producir un material de importante interés agronómico.

La utilización del compostaje como método de tratamiento aerobio, provoca la descomposición termofílica de los residuos orgánicos por medio de organismos aerobios, cuyo crecimiento está controlado por la humedad, aireación, pH, relación C/N, fósforo, potasio y micronutrientes, además del tamaño de partícula y las condiciones ambientales. El resultado del proceso es la formación de un producto relativamente estable como el humus, conservando los nutrientes químicos del residuo fresco, a la vez que intensifica su asimilabilidad para las plantas y destruye los microorganismos patógenos, las malas hierbas y las larvas de insectos, TAIGANIDES (1977).

Los organismos activos en los últimos estadios del proceso son termofílicos y se multiplican en las condiciones de calor producido en la masa del residuo por el crecimiento de los organismos precedentes. El compostaje es entonces un proceso en serie, la descomposición del residuo es conducida por una sucesión de microorganismos, no dándose una población estable. Asimismo es necesaria la presencia de aire para que no se desarrollen condiciones anaerobias, HOBSON y ROBERTSON (1977).

El compostaje se puede aplicar al purín entero o a la fracción sólida procedente de un anterior proceso de separación de fases.

<u>Compostaje del purín entero</u>

Para compostar el purín entero deben modificarse algunas de sus propiedades físicas y químicas. En primer lugar, es necesaria la adición de un material rico en

carbono, puesto que los purines se caracterizan por una relación C/N muy baja. Por otra parte, debido a su estructura semilíquida o pastosa, no es fácil la implantación en su interior de condiciones aerobias. En consecuencia, deben incluirse en una matriz sólida absorbente (agente estructurante).

Por suerte ambos requisitos pueden ser satisfechos mediante el empleo de un único material: paja de cereal, virutas de madera, cortezas de árboles, cáscaras de cacahuete, cascarilla de arroz, etc.

En ocasiones, para que en el compostaje no se produzcan pérdidas de nitrógeno por volatilización del amoníaco, se aconseja la adición de tierra arcillosa (formada principalmente por arcillas del tipo 2:1), GONZÁLEZ y col. (1989), superfosfato, o materiales análogos capaces de evitar estas pérdidas.

En la bibliografía se describen diferentes sistemas de compostaje de los purines de ganado porcino.

El propuesto por BIDDLESTONE y col. (1986), consta de varios recipientes llenos de paja, también llamados reactores, sobre los que diariamente se vierten los purines. Alrededor de dos terceras partes del líquido son absorbidas por la paja y una tercera parte drena. El líquido que drena se añade posteriormente a la masa que está compostando; el objetivo es absorber todo el líquido. Las experiencias mostraron que 16 kg de paja podían absorber 90 litros de purín y que podían añadirse otros 45 litros aproximadamente una semana después.

GARRET y LOGAN (1984) describen una planta de compostaje análoga a la anterior en cierta medida: consta de un espacio limitado por paredes verticales fijas, a través de las cuales pasan unas tuberías para la recogida del líquido que drena; una de las paredes está provista de puertas para facilitar la extracción del material compostado; en un principio, el líquido que drena se recicla con el objetivo de conseguir ausencia total de efluente; sin embargo, cuando el clima no permite una absorción completa del líquido, el sobrenadante se trata con cal o un floculante aniónico para obtener un líquido que pueda utilizarse para riego o, si las condiciones lo permiten, se emplea como agua de riego sin ningún tratamiento.

El producto final obtenido se caracteriza por unas excelentes propiedades agronómicas que, frecuentemente, quedan reforzadas por los valores de la densidad real, densidad aparente, porosidad y capacidad de retención de agua, GONZÁLEZ y col. (1989).

Para el compostaje del estiércol licuado de porcino se ha empleado también un reactor abierto rectangular que, al principio del ciclo, se llena con el agente estructurante y sobre el que se va añadiendo, con regularidad, el estiércol líquido. El reactor está provisto de un mecanismo de agitación formado por unos ejes, que se desplazan transversalmente y van removiendo periódicamente la mezcla al estar dotados de unas palas giratorias.

Compostaje de la fracción sólida

La fracción sólida, procedente de un proceso de separación de fases del estiércol licuado de ganado porcino, es un material fibroso, rico en nutrientes y, con frecuencia, con un contenido de humedad elevado, por lo que para su compostaje suele ser necesaria la mezcla con un agente estructurante.

En la bibliografía se mencionan una diversidad de materiales que ejercen esta función: paja, virutas de madera, turba, cáscara de cacahuete, cascarilla de arroz, tallos de maíz, estiércol de ganado aviar e, incluso, lignito, RAO y PANDEY (1996), MUSMECI y GUCCI (1997); IMBEATH (1998). De ellos, unos de los mejores parecen ser las virutas de madera por su capacidad de absorber agua, proporcionar porosidad y retener amoníaco. También proporciona excelentes resultados la mezcla de turba rubia y fracción sólida en proporción 1:5 en peso (aproximadamente 1:1,25 en volumen). Después de 15 días es posible obtener un producto con olor a tierra, de color marrón oscuro y apariencia semejante a la turba.

La mezcla de la fracción sólida obtenida por centrifugación del purín de porcino con paja de cereales (10-20%), caña de maíz o restos de poda, produce un buen compost con un adecuado grado de humificación y con un contenido de nutrientes de 3,3-3,5% N, 4% de P y 1,22% de K (con paja) o 0,80% K (con restos de poda). Otros autores han probado mezclas con turba y una pequeña cantidad de paja de cereales, VUORINEN y SAHARINEN (1999) o con pasta de papel, KYUNGHO (1999).

YUN y OHTA (1997) utilizan una mezcla de microorganismos, compuesta de bacterias y antinomicetos, que poseen la habilidad de compostar las heces porcinas, y de paso, desodorizar al utilizar como fuente carbonada los ácidos grasos volátiles y los azúcares.

CHÂTILLON (1998a) propone, además, la adición de algunos compuestos para reducir el olor durante el compostaje. Estos productos aceleran las fermentaciones acéticas en detrimento de las butíricas responsables, en gran medida, de los olores desagradables y tenaces. Los purines tratados reducen entre el 50 y el 70% los desprendimientos de amoníaco y el 80% los de SH_2.

En la evaluación del proceso de compostaje, desde el punto de vista de la desinfección, es importante tener en cuenta que la tenacidad del agente infeccioso depende de la temperatura alcanzada, de la actividad bioquímica del sustrato compostado y del tiempo de exposición, STRAUCH (1982b).

En algunas granjas el estiércol sólido es almacenado en salas u hoyos. La temperatura del compostaje durante el almacenamiento aerobio supera en más de 10ºC a la de descomposición anaerobia, consiguiéndose mediante el propio almacenamiento una desinfección después de 3 meses de compostaje, STRAUCH (1982b).

Digestión anaerobia y compostaje

En la digestión anaerobia a que puede ser sometida la fracción líquida obtenida en un proceso de separación de fases, se obtiene un lodo que puede compostarse de la

misma forma que pueden someterse a compostaje los lodos de EDAR estabilizados por digestión anaerobia. Aunque hay que estudiar con detalle hasta qué punto este sistema de gestión es económicamente rentable, es indudable que esta combinación permite, primero, la obtención de un gas combustible y, segundo, un abono orgánico, TARRE y col. (1987).

2.5.3. DESHIDRATACIÓN

La deshidratación mejora sustancialmente las características de almacenamiento del producto al reducir la posibilidad de que se produzca un proceso anaerobio, al disminuir la cantidad de agua, y la producción de gases indeseables, ESMAY (1977).

La concentración de sólidos en los purines puede realizarse por deshidratación mediante la evaporación del agua que contienen y la posterior eliminación del vapor por medio de aire, que puede ser natural (viento), aire forzado por medio de ventilación controlada mecánicamente o aire caliente, ESMAY (1977).

En otras ocasiones se utilizan equipos evaporadores calentados eléctricamente que están provistos de un mecanismo de agitación. La temperatura se mantiene entre 69 y 91ºC, y la reducción de la cantidad de agua varía entre el 17 y el 43% según las condiciones de operación, BLAHA (1977). En este sentido, RODRIGUEZ GIL (2000) propone un sistema de evaporación multiefecto, donde el fluido caliente es el vapor generado en el efecto anterior.

El sistema de secado térmico a baja temperatura, propuesto por PERMUY (1999), basado en la tecnología de bomba de calor, permite trabajar a 65-70ºC. El aire de secado trabaja en circuito cerrado, por lo que no se producen emisiones atmosféricas. El agua eliminada del producto es condensada y la energía contenida en el vapor de agua vuelve al sistema. La tecnología es aplicable a los lodos procedentes de tratamientos previos para conseguir un mejor manejo, transporte y utilización, siendo compatible con el aprovechamiento del calor residual de otros procesos como la cogeneración.

La trasformación del purín en un producto sólido, estabilizado y seco, hace que se revalorice mediante su comercialización en zonas de gran demanda de abonos orgánicos, DORFFER (1998d). Sin embargo, el problema que se plantea es la pérdida de nitrógeno amoniacal en el agua extraída. Estos inconvenientes se eliminan reduciendo la temperatura de secado y fijando el nitrógeno para evitar su pérdida.

Una forma de evitar la pérdida de nitrógeno amoniacal consiste en la formación de una sal amoniacal mediante la acidificación del efluente. El ácido fosfórico presenta las ventajas de reaccionar rápidamente e incrementar el valor fertilizante del residuo final formado. El nivel de fijación del nitrógeno puede alcanzar valores de 89-93% para el nitrógeno amoniacal y de 94-99,9% para el nitrógeno total, ESTEBAN TURZO y GONZÁLEZ (1988). El producto obtenido por tratamiento del purín con ácido fosfórico y posterior deshidratación a 70ºC, además de eliminar las pérdidas de nitrógeno amoniacal mencionadas, la emisión de malos olores, gérmenes patógenos y disminuir el volumen, puede ser considerada positiva desde el punto de vista de la fertilización, ya

que consigue mayores producciones de maíz que los purines no tratados o tratados anaerobiamente, ESTEBAN TURZO y GONZÁLEZ (1986) y mayor coeficiente de utilización de nitrógeno por su más lenta mineralización, ESTEBAN TURZO y col. (1987).

La reducción de la concentración de agua en el purín puede realizarse también mediante adiciones de materia seca, de forma similar a la adición de cama para el estiércol. Sin embargo este proceso no reduce agua de la masa total, alcanzando un volumen mayor al inicial, lo que hace que las empresas modernas lo utilicen cada vez menos, debido también a los problemas de manejo añadidos, ESMAY (1977). A pesar de ello, ELWELL y col. (1999) proponen situar paja bajo el suelo de los sistemas de slat para absorber los excrementos del ganado porcino que caen a su través, de manera que se obtiene un producto bastante seco que podrá manejarse con un equipo convencional y ser posteriormente compactado o aplicado directamente al campo.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

2.5.4. DESODORIZACIÓN

La desodorización del purín puede realizarse por varios procedimientos:

Adición de productos comerciales

La introducción de productos en el seno del líquido a desodorizar puede originar:

- La inhibición de las fermentaciones, ya sea por el aporte de productos enzimáticos o de otros que bloqueen las fermentaciones (ácidos y bases).
- La superposición del propio olor del producto al del purín (enmascaradores).
- La inhibición de la percepción de los olores a niveles de las papilas olfativas (desodorantes)
- Fijadores de componentes del olor como fosfatos, carbón activado, turba, etc.

Este método puede aportar soluciones, pero debe aplicarse puntualmente para reponder a una situación particular. Además la eficacia de los productos es muy variable y el costo puede ser muy elevado.

Por otra parte, el uso de sustancias químicas que enmascaran el olor presenta serias dificultades para mezclarlas con los volúmenes de purín que se manejan, además de que existe disparidad de opiniones en cuanto a su eficacia. Es más útil airear, ya que la introducción de oxígeno en el purín hace disminuir la DBO y en consecuencia el olor, OSBORNE (1982).

Desodorización por aireación

Consiste en introducir aire en el seno del líquido a tratar para oxigenar el medio y favorecer las fermentaciones aerobias.

En los métodos aerobios se utiliza aireación procedente de diversos aireadores; éstos aportan oxígeno que favorece un proceso microbiano de descomposición, el cual

puede dar lugar a un proceso exotérmico (30-40ºC), semejante al que ocurre en una pila de compostaje de estiércol sólido. Este sistema es el propuesto por DORFFER (1998c); con él se obtiene un efluente desodorizado, estabilizado y conservando un buen valor agronómico. La eliminación de nitrógeno por volatilización en forma amoniacal es aproximadamente del 20%.

Se pueden considerar tres sistemas de desodorización por aireación, MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT (1984):

A) Chorro laminar o lecho bacteriano: este tipo de instalación supone un tamizado previo y una fosa de almacenamiento equipada con agitador.
Permite una reducción del 70-80% de los olores, además de la disminucuón del 50% de la carga contaminante y la pérdida del 50% del nitrógeno inicial.

B) Aireación en superficie: la introducción de aire se realiza mediante turbinas (lentas o rápidas) que proyectan el purín. Los aireadores generalmente son flotantes y el tratamiento se realiza en la fosa de almacenamiento.
Este tipo de instalación ofrece unos resultados satisfactorios y fiables: 90% de desodorización, 50% de eliminación de parámetros de contaminación, y volatilización del 40-60% del nitrógeno inicial, siempre que se cumplan una serie de condiciones, como son el dimensionado correcto para que la mezcla sea suficiente y no se formen depósitos, el buen funcionamiento de los aireadores y el aporte de purín de forma constante..

C) Aireación en el seno del líquido: mediante un dispositivo en depresión o con la ayuda de compresores, el aire es insuflado en el líquido y se difunde progresivamente hasta la superficie.
La desodorización del purín llega a ser del 90% y la pérdida de nitrógeno es ligeramente inferior a la que tiene lugar en la aireación de superficie.

Investigaciones en el tratamiento de excrementos animales por aireación para reducir el olor, realizadas por VETTER y RUPRICH (1979) concluyen que ambos sistemas de oxidación utilizados (ditch y automatic-flushing-system), reducen el olor tanto de establos como del aire. Los más altos costes corresponden al sistema dich donde la temperatura alcanzada fue de 25 y 35ºC y debería ser posible recuperar el calor generado.

GINNIVAN (1983), utilizando aireaciones de 15,9 a 23,8 mg O_2 L^{-1} h^{-1}, consigue una reducción del olor en proporciones superiores al 80% y los niveles de sulfuros volátiles y de amonio en el 95%.

La oxidación como sistema de control del olor causa pérdidas hasta del 50% del nitrógeno del purín. Intentar estabilizar el efluente durante largo tiempo en un proceso continuo no parece ser posible en todos los casos, ya que se producen nuevas fermentaciones durante el almacenamiento, ROUSTAIN y col. (1979).

Fermentación anaerobia

La desodorización es del 80-90%, la carga contaminante se reduce en un 60-70%, mientras que, como ya se ha indicado anteriormente, la concentración de elementos fertilizantes permanece similar a la del material inicial.

El control del olor mediante un proceso de digestión anaerobia requiere un tiempo de digestión de 10-20 días a una temperatura entre 30 y 40 ºC. El efluente resultante posee un valor fertilizante semejante al purín sin tratar, pero le han sido rebajados los niveles de sólidos totales, DBO y olor, además de ser más homogéneo, OSBORNE (1982).

Filtración

Entre los tratamientos, la filtración parece ser uno de los más sensibles a variaciones del olor, pero requiere el uso de un separador sólido-líquido y por tanto un incremento en el coste de la planta. ROUSTAIN y col. (1979) obtuvieron que para un volumen de filtro de 1 m^3, se necesita un volumen de almacenamiento de 20 m^3 y que el efluente de 100 cerdos requiere 2 m^3 de capacidad de filtro. Por otro lado, la aireación directa en el tanque de almacenamiento mediante un aireador flotante requiere estimaciones cuidadosas de la energía necesaria del sistema.

La utilización de biofiltros, después de una separación de fases, compuestos por microorganismos fijados sobre un soporte de turba y cortezas, DORFFER (1998c), consigue la desodorización del material además de descargarlo de materias en suspensión, fósforo y nitrógeno, al haber sido degradados por los microorganismos. El efluente resultante puede ser utilizado como agua de lavado o en irrigación.

KELLY y COLLINS (1982) discuten el problema del olor y su control. La incorporación de un depurador de aire para la filtración de la fase líquida separada del estiércol, supone costos inaceptables de energía e instalación. Los métodos químicos de control del olor son poco prácticos. Una temperatura de 70 ºC y un contenido en materia seca del 25% propicia el compostaje de la fase sólida separada y la destrucción de los microorganismos patógenos.

Algunos materiales adsorbentes naturales, como zeolitas o bentonitas, se han utilizado con éxito en procesos de tratamiento del purín de porcino, VENGLOVSKY y col. (1999). Estos materiales poseen gran afinidad hacia los iones amonio y olores indeseables. Poseen además una gran eficacia en la eliminación de microorganismos psicrofílicos y mesofílicos, en la sedimentación de sólidos suspendidos, adsorción de nutrientes y disminución en la contaminación orgánica total.

2.5.5. DESINFECCIÓN

Cuando el purín se utiliza en la capa arable del suelo, en condiciones que evitan la creación de aerosoles, no es necesario realizar una evaluación higiénica, aunque sea aconsejable, para mantener un período seguro de almacenamiento a fin de reducir el número de bacterias, EDEL (1982).

Según STRAUCH (1982b), una considerable variedad de métodos pueden utilizarse para mejorar la seguridad microbiológica de estiércoles infectados. Estos métodos están basados en principios biológicos, físicos y químicos o combinación de ellos.

Para grandes unidades de producción es factible realizar una separación sólido-líquido del estiércol, seguida de tratamientos de desinfección destinados a conseguir una reducción en el uso de desinfectantes químicos para la fase líquida y obtener un producto higiénicamente seguro para la sólida mediante el uso de un proceso de compostaje con bajo coste.

La capacidad de los estiércoles sólidos y líquidos para autodesinfectarse depende de los métodos y tiempo de almacenamiento. Los agentes infecciosos de los estiércoles sólidos y líquidos poseen tenacidades diferentes que pueden extenderse durante días, semanas, meses e incluso años. No puede presumirse que mediante el almacenamiento se consiga una descontaminación y una desinfección. En el caso de que los excrementos estén contaminados, ha de aplicarse un tratamiento desinfectante.

Para el estiércol líquido, al no producir altas temperaturas durante el almacenamiento, ha de considerarse un largo tiempo de supervivencia de patógenos (se ha encontrado supervivencia de *Salmonella* de 9 meses y mayores en purines de vacuno). En la orina de vacas y el purín de terneros su tenacidad es significativamente más baja. Aparentemente el pH tiene un influencia decisiva en su destrucción (cuanto mayor es el pH, menor es la supervivencia de *Salmonellas*). En el purín de ganado porcino el tiempo de supervivencia de *Salmonella* en verano varía entre 40 y 50 días, STRAUCH (1982b).

Puesto que los patógenos pueden sobrevivir también durante un cierto tiempo en los vegetales tratados con el estiércol, es necesario almacenar éste durante un tiempo antes de su uso y de esta forma asegurar que el tratamiento con purín a los pastos no provoque un aumento de patógenos que pueden ser ingeridos por los animales, STRAUCH (1982b).

Desinfección por métodos biológicos

Estos métodos inducen la descomposición de la materia orgánica y, en algunos casos, la desodorización, especialmente en el purín de ganado porcino que posee un intenso y ofensivo olor. Se clasifican en aerobios y anaerobios.

a) Sistemas aerobios

Los sistemas de aireación no son capaces de desinfectar el purín en invierno o en verano. Dependiendo de la temperatura, el valor del pH y el tiempo de almacenamiento, hay alguna reducción en el número de patógenos pero no una desinfección real, y no puede asegurarse la completa destrucción.

Para diferentes construcciones y según los tipos de aireadores, el canal de oxidación usado para el almacenamiento y tratamiento del purín de ganado porcino con piso de tablilla no es capaz de destruir patógenos mientras el purín permanece en

contacto con él. Si es necesaria la desinfección del contenido del foso de oxidación, han de usarse medidas adicionales aparte de la aireación. En ocasiones el tratamiento del purín en el canal de oxidación con pasos de nitrificación y desnitrificación y un paso final de precipitación fosfatato, no consigue alcanzar la desinfección. Sólo si se usa cal para la precipitación del fosfato se destruyen los patógenos (salmonellas), STRAUCH (1982b).

Por otra parte, es posible desinfectar el purín de ganado porcino mediante un proceso de estabilización aerobia termofílica. Este es un proceso de aireación exotérmica que fue usado, en sus orígenes, para la desodorización del purín de ganado porcino en muchas granjas. La aireación es inducida por un agitador-aireador el cual, mediante una óptima distribución del aire simula un proceso de oxidación exotérmico que desemboca en una subida de temperatura. Muchos estudios han concluido que es posible desinfectar el purín de ganado porcino (bacterias, virus y parásitos) mediante aireación durante 3 días a la temperatura de 50ºC y a un pH de 8,5. Si se trata solamente de destruir la salmonella en el purín será suficiente con 18 horas de aireación a 40ºC y pH de 8,5 o bien 8 horas de aireación a 45ºC y pH de 8,5.

b) Sistemas anaerobios

Los digestores pueden operar en forma continua o discontinua. Si el proceso es mesofílico (30-33ºC) es posible destruir bacterias vegetativas durante un tiempo de digestión de 4 semanas. La digestión que no alcance el rango de temperatura mesofílico, no da lugar a la desinfección.

El alimento continuo o intermitente de los digestores con productos infectados de patógenos provocará una infección del purín. El efluente será una mezcla de purín fresco y purín más o menos digerido, el cual todavía contendrá patógenos. Los contenidos de digestores anaerobios deben ser desinfectados de otra forma antes de utilizar el material en agricultura.

Desinfección por métodos químicos y físicos

Los productos más eficaces utilizados en la desinfección química consisten en ácidos, álcalis, fenoles y sus derivados, agentes oxidantes (hipocloritos, yodoformo, ácido fórmico), detergentes y disolventes de grasa, y otros como, por ejemplo, formalin. Muchos desinfectantes consisten en una mezcla de los anteriores.

Los procedimientos físicos más utilizados en la desinfección del purín son: separación mecánica de sólidos, proceso de secado a alta temperatura, métodos electroquímicos, uso de impulsos acústicos o eléctricos e irradiación con rayos ultravioletas, electrones acelerados o material radiactivo. Muchos de ellos están fuera de su utilización en agricultura, principalmente por razones económicas; además STRAUCH (1982b) sólo obtuvo resultados higiénicamente satisfactorios en el secado a alta temperatura (estiércol de ave) y mediante irradiación del purín con Co^{60},

El tratamiento térmico experimentado por SRI (2000) resultó ser una solución altamente apropiada por su efectividad y por no dañar al medio ambiente. El proceso puede ser relativamente económico si se utiliza un sistema apropiado de recuperación

del calor y fue muy efectivo al eliminar la contaminación en los purines porcinos que contenían virus FPA (fiebre porcina africana) y EVP (enfermedad vesicular porcina).

Otros autores también han estudiado procedimientos de esterilización para la eliminación de los virus presentes en los estiércoles. Así, SELLERS (1982) plantea que las secreciones y excreciones procedentes de animales afectados con patógenos virales peligrosos contienen virus. La aplicación de calor y la esterilización química puede ajustarse para asegurar que el virus se reduzca.

Los métodos principales de esterilización combinan métodos físicos (aplicación de calor) y químicos (desinfectantes), HOBSON y ROBERTSON (1977). El calor se suministra mediante la inyección de vapor a 100 ºC durante un determinado tiempo (1 hora). El hidróxido sódico es el elegido para el tratamiento químico, pero no todos los virus se desactivan completamente. El procedimiento de esterilización es controlado mediante la medida de la temperatura y el pH.

BIBLIOTECA VIRTUAL

2.5.6 PODER DEPURADOR DEL SISTEMA SUELO-PLANTA

La utilización del sistema suelo-planta como depurador justifica la aplicación al suelo de los purines o los lodos obtenidos en cualquiera de los sistemas de tratamiento utilizados; por consiguiente es un paso imprescindible en cualquier sistema de gestión.

En primer lugar, los efluentes animales son una fuente importante de nutrientes. La parte sólida del purín de ganado porcino, después de la separación sólido-líquido, puede ser fermentada y comercializada como un fertilizante orgánico. La parte líquida, después de su tratamiento, puede ser irrigada a los cultivos para mantener altas producciones. Por último, el biogas producido en el tratamiento anaerobio puede ser usado como combustible en la cocina y las instalaciones de la explotación. De esta forma no solo se utiliza de forma efectiva el efluente porcino sino que también se solventan muchos de los problemas de contaminación ambiental, FU y col. (1991).

La fertilización de cultivos con purín debe estar basada en los principios siguientes: proteger y conservar el medio ambiente, utilizar de una manera efectiva los suelos y cultivos y, en función de ello, limitar el número de animales por unidad de producción, evitar pérdidas excesivas del valor fertilizante e incrementar la productividad de los suelos, SKARDA (1977).

El papel del suelo en la depuración del purín es múltiple. Por una parte realiza un proceso de filtración, reteniendo tanto las partículas finas como las gruesas a mayor o menor distancia. Además actúa como medio de retención y transmisión del líquido, lo que permite un contacto suficiente del efluente con los microorganismos de degradación de la materia orgánica y con los coloides que permiten fijar ciertos elementos. El suelo permite la aireación del purín por sus poros, NEBREDA (1982).

Un aspecto importante a considerar es el sistema utilizado para el vertido, debido a la necesidad de conseguir una mayor precisión en la dosis esparcida, tanto por razones medioambientales como económicas. Los parámetros a considerar para una buena aplicación son el reparto transversal y la dosis por hectárea. El primer criterio viene, en

parte, determinado por el sistema (rampas, paletas, etc.), y el segundo precisa tener en cuenta el volumen de la cuba y su anchura útil de esparcimiento, así como el tiempo de vaciado para poder deducir la velocidad de avance en función de la distancia a recorrer, MARTI y DEBROIZE (1999).

EL "Banco de Estiércol", sistema adoptado en algunos países para manejar el superávit de purín, permite a los granjeros aplicarlo en zonas y momentos apropiados, transportándolo a distancias variables desde su lugar origen, KELLY y COLLINS (1982). STRAUCH (1982b) aporta recomendaciones de funcionamiento con el fin de evitar el peligro higiénico para las explotaciones que reciben el purín.

Algunos autores propugnan la utilización de estos efluentes en cultivos hidropónicos, JEWELL (1998), puesto que hacen máximo el crecimiento de las plantas, el tamaño de los sistemas es pequeño (menos del 5% del requerido en la agricultura tradicional), la purificación del efluente es alta y el producto obtenido tiene una alta proporción de proteína.

Conociendo cómo se desarrolla y mantiene la vida en la Tierra se llega a la conclusión de que el mejor destino y tratamiento de los purines, dada su composición, es su depuración a través del sistema suelo-planta; depuración que permite, además, el aprovechamiento de todos los elementos fertilizantes que posee. Esta forma de tratar los residuos ganaderos no solo es la más barata, sino también la más aceptable desde el punto de vista ambiental, GONZÁLEZ HURTADO (1991).

Hace pocos años se pensó en sofisticados sistemas de depuración, pero la DBO de los residuos ganaderos es tan extremadamente elevada que el empleo de sistemas convencionales de depuración (los que se utilizan en cualquier EDAR) es prácticamente imposible desde el punto de vista económico y, desde luego, irracional desde el punto de vista técnico, porque resuelve con dificultad la contaminación en un lugar, produciendo mayores contaminaciones en otros lugares, e incluso, en el mismo lugar, ya que en cualquier planta convencional de depuración se producen unos fangos que son contaminantes. Es necesario señalar que la salida a estos fangos es la utilización agraria.

Por ello en muchos países, cuando se solicita implantar una nueva explotación ganadera o ampliar una existente, no se exige la indicación del sistema depurador que se va a emplear, sino una descripción de los suelos propios o ajenos de que se dispone para proceder a su depuración, y la indicación del volumen de fosas que se estima necesario para almacenar los excrementos en las épocas en que no se pueden aplicar al suelo.

Conviene señalar que el aprovechamiento del valor fertilizante de los purines no solo permite resolver los problemas de contaminación que plantean estos materiales, sino también los que ocasionan las fábricas de obtención de fertilizantes minerales.

En efecto, el conjunto suelo-planta constituye un sistema depurador natural que puede calificarse de reactor físico-químico-biológico abierto, en el que tienen lugar tratamientes primarios, secundarios y terciarios como en cualquier planta convencional de depuración de aguas residuales; sin embargo, al igual que en éstas, no todas las combinaciones suelo-planta tienen la misma capacidad depuradora.

El estudio de las funciones del sistema suelo-planta como sistema depurador, permite conocer la capacidad depuradora de cada tipo diferente de suelo, las ventajas que, en general, se derivan de su elección como sistema depurador frente a otros y, por último, tomar conciencia de los daños que ocasionan vertidos incorrectos, realizados con la única finalidad de eliminar (no aprovechar o reciclar) estos residuos.

En primer lugar, el suelo actúa como filtro. En cualquier sistema convencional de depuración, éste constituye casi siempre también el primer paso. El suelo, como filtro, retiene un importante porcentaje de la demanda biológica de oxígeno (DBO) de los residuos. Por otra parte, las bacterias encuentran un freno importante en su movimiento a través de los microporos del suelo, de tal manera que espesores de un metro, en ausencia de grietas, se consideran suficientes para su eliminación.

Como todos los filtros, el suelo puede colmatarse si se realiza un aporte excesivo de residuos. Aunque esta colmatación es debida principalmente a la acción mecánica de las materias en suspensión, el aporte excesivo de materia orgánica da lugar a una enorme proliferación de microorganismos que pueden contribuir a anular la porosidad de los suelos.

Al ser vertido el efluente, la fase líquida, sólidos pequeños y materias en disolución, atravesarán los poros mientras que las partículas más gruesas serán retenidas.

Los suelos también pueden colmatarse por degradación de su estructura (debido principalmente al sodio), por exceso de agua que destruye la porosidad, por acción mecánica de las materias en suspensión, o por acción microbiana sobre la materia orgánica al formarse proliferaciones. Sin embargo estos problemas no suelen ser graves y pueden quedar resueltos mediante la realización de determinadas operaciones agrícolas.

Otra función del suelo en cuanto sistema depurador es su capacidad, por una parte de retener, y por otra, de transmitir el agua. El suelo es un material poroso; sus poros representan, por término medio, el 45% de su volumen total. Estos poros están ocupados por aire o por agua y son de dimensiones diferentes. El agua circula más fácilmente cuando los poros son más grandes y con mayor lentitud cuando los poros son más finos; en este caso, y en una primera aproximación, se puede hablar de retención.

La cantidad de agua retenida por el suelo varía; depende de sus características texturales y estructurales. La capacidad de un suelo para dejar pasar el agua depende de su permeabilidad, la cual condiciona la facilidad con la que se infiltran en el suelo determinados componentes del residuo a depurar.

Cuando llueve, según la intensidad de la lluvia y el consumo de agua por evaporación y transpiración de las plantas, hay unos períodos durante los cuales el agua es retenida por el suelo y otros en los que el agua circula hacia abajo.

Si llueve sobre un suelo que ha recibido una gran dosis de purines o éstos se vierten sobre un suelo húmedo, se produce un desplazamiento del líquido contenido en el suelo por el líquido aportado y simultáneamente una mezcla de los dos líquidos. Este

desplazamiento y mezcla juega un papel importante en el funcionamiento del suelo como sistema depurador.

Desde el punto de vista de la depuración, interesa mantener una circulación lenta con el fin de que el efluente permanezca en contacto con los microorganismos el tiempo suficiente para que se completen los procesos de mineralización y humificación de la materia orgánica, y también para que ciertos elementos puedan ser fijados por los coloides del suelo.

Los procesos biológicos (tratamientos secundarios) que tienen lugar en el suelo, y a los que se debe que éste pueda ser ca1ificado de reactor biológico, están a cargo de microorganismos aerobios. El suelo se encuentra dentro de los sistemas aerobios de tratamiento.

La porosidad del suelo es la característica que permite su aireación. Si se considera un suelo con una porosidad media del 45%, en un espesor de 30 cm puede almacenar teóricamente 619 kg de oxígeno, si el suelo está seco, y 260 kg si se encuentra al 50% de su capacidad de retención.

Por otra parte, el oxígeno puede ser renovado rápidamente por difusión; se estima que el tiempo suficiente para renovar completamente la atmósfera de un suelo de 20 cm es de unos 75 minutos. Este proceso de difusión del oxígeno en el aire es 10.000 veces más rápido que el proceso de difusión en el agua; por ello la velocidad del proceso en el suelo depende del contenido de humedad. Es conveniente, pues, mantener aireado el suelo, algo que se suele olvidar cuando se toma el suelo como un simple depósito de residuos.

Lo mismo que en cualquier otro sistema biológico de depuración, en el suelo tiene lugar una estabilización de la materia orgánica mediante los procesos de mineralización y humificación indicados. La actividad biodegradadora de la flora autóctona del suelo es uno de los mecanismos más efectivos de destrucción de los materiales orgánicos que llegan a su seno.

La mineralización de la materia orgánica en los suelos agrícolas pone a disposición del sistema radicular de los cultivos los elementos nutritivos que necesitan. Por ello el poder depurador del suelo tiene su base en la extracción por las plantas de los productos obtenidos en el proceso de mineralización de la materia orgánica. De aquí que se hable no sólo del suelo, sino del sistema suelo-planta como sistema depurador.

El tipo de cultivo instalado en el suelo aumentará o disminuirá el rendimiento de la depuración y, por tanto, permitirá el vertido de mayores o menores cantidades de aguas residuales. En ausencia de otras circunstancias ya indicadas, la dosis de residuos a verter en un suelo depende de la cantidad de elementos nutritivos que sea capaz de extraer el cultivo implantado, GONZÁLEZ y SÁNCHEZ (1992).

Se ha indicado que el suelo puede actuar de filtro y retener materias en suspensión, y que además es capaz de retener sustancias disueltas, gracias a su capacidad de retención de agua. Pero también hay una parte de sustancias disueltas que son retenidas porque son adsorbidas por los coloides del suelo.

Los suelos cultivados tienen, en general, una capacidad de intercambio de cationes que varía entre 10 y 20 miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo. Esto corresponde a la posibilidad de fijación teórica en la capa arable de hasta 20 toneladas de potasio por hectárea. En realidad, la fijación se hace por intercambio con los cationes ya adsorbidos por el suelo. Los cationes que más frecuentemente saturan el complejo adsorbente o de intercambio catiónico son calcio y magnesio; esquemáticamente, se puede admitir que los iones de potasio, calcio y magnesio se retendrán bien y los de sodio tienen tendencia a ser arrastrados. En cuanto a la materia orgánica hay una parte que puede ser retenida junto con el agua y otra que puede ser adsorbida.

La adsorción juega un papel importante en el caso de los cationes (capacidad de intercambio de cationes). El nitrógeno bajo forma amoniacal se fija bien, pero no bajo forma nitrosa o nítrica. Precisamente por ello los nitritos y nitratos pueden ser arrastrados, disueltos en el agua, y contaminar las aguas subterráneas.

Los iones fosfato son, en primer lugar, adsorbidos y después se combinan fácilmente con los iones de calcio, hierro o aluminio para formar compuestos difícilmente solubles, por lo que, en condiciones normales, no tienen por qué contaminar las aguas subterráneas.

Los virus presentan en muchos casos un comportamiento aniónico, por lo que pueden quedar retenidos con gran eficacia en el suelo.

Los microorganismos patógenos, además de ser retenidos, entran en antagonismo con los microorganismos del suelo y están también sometidos a la radiación solar y condiciones ambientales que hace que los riesgos estén prácticamente ausentes. En otras palabras: el sistema suelo-planta, como sistema depurador, incluye un proceso de higienización, algo que no hacen muchas Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales.

De lo anterior se deduce que no todos los suelos poseen el mismo poder depurador o, en otras palabras, no todos los suelos son igualmente aptos.

2.6. UTILIZACIÓN DE LOS PURINES COMO FERTILIZANTES

2.6.1 VALOR FERTILIZANTE DEL PURÍN

Hasta hace relativamente poco tiempo las deyecciones de ganado, sobre todo los purines, se consideraron como un desecho y se puso énfasis en su eliminación. Sin embargo, los aumentos de los costos de energía han propiciado alzas en los costes de los fertilizantes inorgánicos, lo que ha conducido a considerar la utilización sobre la eliminación, OSBORNE (1982).

Los elementos minerales esenciales para la vida de las plantas se encuentran presentes en las deyecciones del ganado que, además de nitrógeno, fósforo y potasio, contienen en cantidades variables, calcio, magnesio, azufre y oligoelementos, CASTILLÓN (1993).

Los subproductos ganaderos no han de verse como un problema por ellos mismos, sino como una fuente de nutrientes para las plantas, y de materia orgánica para el suelo, que puede favorecer todos los ciclos naturales y por lo tanto, afectar directa o indirectamente a la nutrición de las plantas, SOLIVA (1993). Se han de conocer bien estos residuos, particularmente los purines, para valorarlos al máximo y evitar los posibles deterioros del medio ambiente. Su correcta utilización requiere un exahustivo conocimiento de sus características, composición y valor fertilizante, DUTHION y GERMON (1979); SOLIVA (1993). Por otra parte, la composición del estiércol líquido aplicado al suelo es, con frecuencia, diferente a la composición media de la fosa que lo contiene debido a la carencia o deficiencia en la homogeneización anterior al llenado de la cuba, DUTHION y GERMON (1979).

La utilización agrícola del purín representa no solo la forma más natural y correcta de degradación, sino también un gran ahorro de abonos químicos que, aparte de su coste, comienzan a constituir un elemento de contaminación en determinadas zonas, NAVAROTTO (1982), FERRER y col. (1983), JACOBS (1989), TORRES (1993). Además, considerando su valor fertilizante y la evolución en el costo de los fertilizantes químicos, está claro su indudable interés económico, FERRER y col. (1983).

En la mayor parte de los casos se puede constatar que las aplicaciones se realizan según las necesidades de vaciado de las fosas sin tener en cuenta los conocimientos técnicos necesarios en cuanto a dosis, época de aplicación y posibles efectos. HERLIHI (1979), desarrolló modelos matemáticos en el estudio de la aplicación de estiércoles líquidos animales a suelos agrícolas.

La variedades altamente productivas de los cultivos agrícolas necesitan grandes aportaciones de fertilizantes, que no solo incrementan la producción sino que provocan una mayor actividad de los microorganismos del suelo, los cuales necesitan compuestos carbonados como fuente de energía, con lo que la degradación de la materia orgánica del suelo se acelera. El efecto puede ser compensado con la aplicación de estiércoles, BUNTING (1963); ABDEL-CHAFFAR (1982). En este sentido, después de 36 años de experiencias en suelos típicos de Egipto, los resultados indican que el contenido en materia orgánica de los suelos tratados con estiércoles aumenta un 0,5% sobre el control, que se acompaña de incrementos en producción de trigo, algodón, maíz y

trébol. Esto nos indica que existe una clara ventaja en la utilización de este tipo de materiales sobre la fertilización mineral única.

La medida y evaluación del valor fertilizante de los estiércoles sólidos y licuados, tiene como objetivo aportar al agricultor una medida del valor real de los productos para poder determinar las dosis de aporte en función de las necesidades estimadas de los cultivos y de los niveles de los elementos en el suelo, BERTRAND (1993), SÁNCHEZ y col. (1993).

El parámetro clave es el nitrógeno, ya que su carencia disminuye el rendimiento del cultivo y su exceso produce efectos sobre el cultivo (encamado, retraso de la madurez, sensibilidad a las enfermedades criptogámicas, etc.) y sobre el medio ambiente (contaminación de las aguas por nitratos), BERTRAND (1993).

Si el estiércol se utiliza como único fertilizante, pueden existir algunas dificultades en el suministro balanceado de nutrientes principales y para algunos cultivos puede ser necesario un suplemento de fertilizante, BUNTING (1963); DAM KOFOED y NEMMING (1979).

En efecto, la composición en elementos fertilizantes a menudo está desequilibrada en relación a las necesidades de la planta, LEIROS y col (1983). Además, la eficacia relativa de los componentes respecto a su disponibilidad para el cultivo, varía respecto a los fertilizantes minerales y presenta algunas limitaciones en su uso, TORRES (1993).

Por el contrario, las cantidades de elementos secundarios (azufre y magnesio) y de oligoelementos aportadas, son suficientes para prevenir las deficiencias de las plantas, siempre y cuando los esparcimientos de estiércoles licuados se realicen de forma regular, CASTILLÓN (1993); GONZÁLEZ y col (1993).

Sin embargo, la heterogeneidad del suelo y las diferentes necesidades de los distintos cultivos, requieren un conocimiento conjunto de las características de suelos, abonos y cultivos, para establecer una correcta programación de abonados, de manera que garantice la máxima productividad agrícola y el máximo ahorro económico, compatibles con la protección de la salud, del medio ambiente y de los suelos; procurando, además, una correcta aplicación, evitando escorrentías e infiltraciones y controlando la emisión de gases y olores y la contaminación en el transporte, TORRES (1993).

Los valores medios obtenidos por FERRER y col. (1983), en lo que se refiere a elementos fertilizantes principales, expresados en Kg m^{-3}, del estiércol líquido de porcino en los tres tipos de unidades de producción estudiados, aparecen reflejados en la tabla RB29. Sin embargo, a causa de la gran variabilidad encontrada por el grado de dilución de cada una de las explotaciones y por el propio metabolismo de los animales que originan distintos tipos de deyecciones, la utilización del estiércol líquido de porcino como fertilizante no debería hacerse en función de los valores medios aportados por los distintos autores, sino realizar como mínimo la determinación de la materia seca.

Tabla RB29: Valores medios de elementos fertilizantes ($Kg.m^{-3}$), FERRER y col. (1983).

Tipo de explotación	N	P_2O_5	K_2O	N / P_2O_5 / K_2O
Maternidad	3,4	1,8	2,3	1 / 0,5 / 0,7
Ciclo cerrado	4,3	3,2	2,8	1 / 0,75 / 0,65
Engorde	6,0	5,3	3,6	1 / 0,9 / 0,6

ITCF (1982) establece que 10 m^3 de purín de porcino equivalen a 160 Kg de nitrato amónico (33%), 100 Kg de superfosfato (45%) y 50 Kg de cloruro potásico (60%).

Por otra parte, su contenido en materia seca es de 3-8 %, la materia orgánica de 68-75 % sobre materia seca y una relación C/N de 3-5, SOLIVA (1993).

Tabla RB30: Contenido medio de elementos minerales en el estiércol licuado de ganado porcinos, de bovino y de aves de corral, CASTILLÓN (1993).

Elemento mineral		Concentración		
		A	B	C
Elementos principales ($Kg\ t^{-1}$ o m^3)	N	5,5	5	10 a 30
	P_2O_5	6	3	10 a 30
	K_2O	2,5	5	8
Elementos secundarios ($Kg\ t^{-1}$ o m^3)	CaO	5	3	8 a 20
	MgO	1,5	1	3
	Na	1	0,5	1,5
Oligoelementos ($g\ t^{-1}$ o m^3)	Cu	40	2	15
	Zn	64	16	124
	Fe	350	2000	375
	Mn	42	38	150
	B	4	-	10
	Mo	0,14	-	0,75
Elementos traza ($g\ t^{-1}$ o m^3)	Pb	0,7	-	1
	Cd	0,4	-	-
	Ni	1,4	-	4,3
	Hg	0,004	-	-
	Cr	0,77	-	6
	As	0,12	-	0,3
	Se	0,04	-	0,15

A. Estiércol licuado de ganado porcinos.
B. Estiércol de bovinos.
C. Estiércol licuado de aves de corral.

Además del aporte de elementos minerales al suelo, la utilización de efluentes procedentes de ganado porcino proporciona otros beneficios al suelo: unos de mejora de sus características físicas (color y estructura), otros mejorando su actividad microbiana y por último como activadores del crecimiento, CASTILLÓN (1993). Esta utilización permitirá obtener las mismas producciones que con los abonos minerales, siempre y cuando se realice un buen ajuste de las dosis que satisfagan las necesidades de los cultivos.

La utilización de enmiendas orgánicas, obtenidas por mezcla del purín de ganado porcino con paja procedente de diferentes materiales, en suelos dedicados a la producción hortícola, permite mejorar la altura de la planta de zanahoria y la producción de la parte aérea con respecto a la obtenida con la fertilización mineral, SEDIYAMA y col. (1998).

ROSSI (1998), al comparar la fertilización con purín de ganado porcino y con urea, en un suelo arcillo-limoso y con cultivo de maíz, obtuvo como resultado el incremento en la mineralización, la fijación del nitrógeno y la producción del cultivo, a causa del elevado nivel de nitrógeno en el purín de ganado porcino.

En cuanto al fósforo, se encuentra casi exclusivamente en las deyecciones sólidas de los animales bajo dos formas: del 60 al 80 % en forma mineral, principalmente fosfato bicálcico y el resto en forma orgánica. La eficacia del fósforo mineral respecto al cultivo es similar a la de los fertilizantes solubles en agua (superfosfatos, fosfato de amonio). La forma orgánica tiene composición variable dependiendo de los productos y precisa de una mineralización previa para liberar los iones fosfato que contiene. El fósforo orgánico proviene del que está contenido en los alimentos, del que se excretan los 2/3 aproximadamente. Cuando el estiércol es sólido hay que añadir además el fósforo contenido en la cama de paja, CASTILLÓN (1993).

La mineralización del fósforo orgánico se realiza por medio de las fosfatasas, presentes a través del alimento ingerido por el animal, o bien producidas por las raíces de los vegetales o por los microorganismos del suelo. Cuando la alimentación del ganado porcino está formada principalmente por harinas, el fósforo orgánico excretado contiene fitinas en gran proporción, que serán más o menos degradables según la composición de los alimentos. En la tabla RB31 se observa el menor coeficiente de utilización de estos estiércoles licuados que los de los bovinos, cuya alimentación se realiza a base de forrajes, CASTILLÓN (1993).

Tabla RB31: Coeficientes de utilización de fósforo de diferentes estiércoles licuados y del fosfato bicálcico en cultivo de Ray Grass de Italia, AMBERGER (1982). Citado por CASTILLÓN (1993)

Productos	Fósforo mineral (%)	Fósforo orgánico (%)	Coeficiente de utilización
Estiércol líquido de porcino	78	22	0,34
Estiércol líquido de bovino	82	18	0,37
Estiércol líquido de ave de corral	60	40	0,27
Fosfato Bicálcico	100	0	0,42

Además, teniendo en cuenta que los aportes de materia orgánica al suelo, en forma de estiércol sólido o de residuos vegetales, aumentan la disponibilidad del fósforo del suelo, es lógico considerar que el fósforo contenido en los efluentes de ganado posee una eficacia agronómica similar a la de los fertilizantes minerales, con la excepción de los que proceden de animales cuya alimentación esta basada en harinas y tortas de granos, CASTILLÓN (1993). El cálculo de la fertilización fosfatada con efluentes de ganado deberá tener en cuenta los datos de la tabla RB32 .

Tabla RB32: Coeficientes de equivalencia del fósforo contenido en las deyecciones de ganado, CASTILLÓN (1993).

Productos	Coeficiente de equivalencia
Estiércol seco de bovino, ovino, caprino y equino	1,00
Estiércol líquido de bovino	0,90
Estiércol líquido de porcino	0,85
Estiércol líquido de ave de corral	0,65

Cuando TITULAER (1999) comparó la eficacia del fósforo de un fertilizante mineral y de varios estiércoles en un cultivo de patatas, no encontró diferencias significativas, en la producción del cultivo y en la absorción de fósforo, entre las distintas proporciones de aplicación del fertilizante mineral, el tipo de estiércol (bovino, porcino y ave) y el método de aplicación (inyección y superficie).

El fósforo recuperado por la planta (P absorbido por la planta con fertilización y sin ella, respecto al total aplicado) en un suelo franco-arenoso, utilizando un cultivo de pasto para forraje, fue superior cuando se adicionó un fertilizante mineral (26%) que cuando se hizo lo mismo con estiércol de porcino (17%). El porcentaje obtenido en el suelo franco-arcilloso fue muy similar, WARMAN (1986).

Los aportes excesivos de fósforo realizados por los estiércoles sólidos y licuados, tendrán las mismas consecuencias para el medio ambiente que los abonos minerales fosfatados ya que, una vez liberados los iones fosfato, podrán ser retenidos en el suelo o arrastrados por la arroyada o la erosión hacia las corrientes de agua o los lagos donde se produciría la eutrofización, CASTILLÓN (1993).

Estudios de asimilabilidad de nutrientes en el purín muestran que el potasio que contienen es asimilable por las plantas en el primer año de aplicación, KIELY (1979); WARMAN (1986). Las diferencias se establecerán en función de las características del suelo, como en la experiencia de WARMAN (1986), donde tanto el contenido de potasio en el tejido como el porcentaje de recuperación por la planta, respecto al total aplicado al suelo, fueron mayores en un suelo arcilloso que en uno arenoso.

Por último, es importante considerar que, el aporte al suelo de minerales procedentes de los efluentes de ganado, es más heterogéneo que el realizado mediante la fertilización mineral, ya que existen diferencias en la composición del purín, según se ha visto anteriormente (alimentación del ganado, condiciones de almacenamiento). Además, la maquinaria utilizada para la aplicación produce diferencias en la distribución del purín, tanto lateral como longitudinalmente, respecto al eje de avance. Por otra parte, la repetición de los aportes sobre una misma parcela tenderá a reducir o aumentar estas diferencias, dependiendo de si los segundos aportes se realizan en lugares diferentes o no a los del primero, CASTILLÓN (1993).

Tabla RB33: Porcentaje de nutrientes, respecto al contenido inicial, que son asimilables por las plantas dependiendo del sistema de aplicación, MOORE y GAMROTH (1993).

Método de aplicación	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Inyección	95	100	100
Esparcido en superficie	80	100	100
Esparcido y enterrado	95	100	100
Aspersión	75	100	100
Aplicación a pastos	85	100	100

La valoración agronómica de los efluentes del ganado se enfrenta con el doble problema de ajuste de las dosis a esparcir: por una parte, en función de las necesidades de los cultivos y de la heterogeneidad del esparcimiento; por otra, de los riesgos de arrastre de los nitratos y del fósforo hacia los acuíferos, CASTILLÓN (1993).

El cálculo de la dosis deberá realizarse, respecto a estos dos elementos, en función de la composición del producto esparcido y de las necesidades de los cultivos, complementando con abonos minerales si estas no quedaran cubiertas. En este sentido, KIELY (1979), tras realizar experiencias con aplicaciones de purín de vacuno y de porcino a suelos para pasto, observó un enriquecimiento de potasio en los suelos tratados con purín de vacuno y de fósforo con purín de porcino. CABANEIRO y col. (1983) obtuvieron también un aumento del contenido de potasio asimilable en suelos de pasto abonados con purín de vacuno, cantidad que aumentó con la dosis de purín añadido y con los sucesivos tratamientos.

2.6.2. MÉTODOS RÁPIDOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL VALOR FERTILIZANTE

La gran variabilidad en la composición de los residuos agrícolas, hace difícil estimar su valor fertilizante con precisión, siendo imprescindible disponer antes del vertido, de la composición de los mismos, PICCININI y BORTONE (1991); SOLIVA (1993).

El problema se suscita a la hora de elegir el método de análisis, ya que los métodos tradicionales de laboratorio poseen elevada precisión y exactitud, pero son mucho más lentos en la obtención de resultados y, para poder ajustar al máximo las dosis a aplicar, se ha de disponer en las explotaciones de métodos rápidos, sencillos, directos, seguros y más económicos que, evidentemente, tendrían que haber sido contrastados en los laboratorios, PICCININI y BORTONE (1991); SOLIVA (1993).

LECOMTE (1979), plantea en su experiencia la posibilidad de que, en el caso de que existan correlaciones entre varios parámetros analíticos, alguno de los constituyentes (preferiblemente aquellos de fácil medida) podrían tomarse como referencia para determinar el valor de los otros. Los coeficientes de correlación encontrados se muestran en la tabla RB34.

Tabla RB34: Coeficientes de correlación entre variables analizadas en el estiércol líquido de porcino, LECOMTE (1979).

Variable	Materia Mineral	Materia Orgánica	Total-N	NH_4^+-N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Mat. Seca	+ 0,934	+ 0,966	+ 0,807		+ 0,734	+ 0,445	+ 0,739	+ 0,738
Mat. Mineral		+ 0,902	+ 0,540		+ 0,604	+ 0,520	+ 0,655	+ 0,634
Mat. Orgánica	- 0,992		+ 0,752		+ 0,742	+ 0,417	+ 0,743	+ 0,736
N total	+ 0,461	- 0,774		+ 0,856	+ 0,704	+ 0,461	+ 0,633	+ 0,677
N-NH_4^+			+ 0,958					
P_2O_5	- 0,013	+ 0,013	+ 0,173			- 0,061	+ 0,657	+ 0,684
K_2O	+ 0,786	- 0,786	+ 0,764		- 0,238		+ 0,354	+ 0,281
CaO	+ 0,069	- 0,069	+ 0,277		+ 0,249	+ 0,223		+ 0,777
MgO	+ 0,111	- 0,111	+ 0,269		+ 0,482	+ 0,110	+ 0,627	

Nota: Los datos sombreados se refieren a variables expresadas sobre materia húmeda; el resto, sobre materia seca.

La considerable heterogeneidad de los estiércoles líquidos estudiados, así como la ausencia de suficientes correlaciones entre los distintos componentes químicos analizados, llevan al autor a afirmar la necesidad de realizar un análisis completo del

material antes de su aplicación al campo. Particularmente es necesario el contenido de nitrógeno total, ya que de él podrían estimarse, con buen grado de aproximación, los de fósforo y potasio.

Por el contrario, DUTHION Y GERMON (1979), utilizando características de estiércoles de 40 explotaciones de porcino de engorde, obtiene coeficientes de regresión y correlaciones entre componentes del estiércol líquido y la materia seca y la densidad, considerando estas dos variables como independientes (tabla RB35).

Tabla RB35: Valores de algunos coeficientes de correlación entre componentes del estiércol líquido de ganado porcino de engorde, DUTHION Y GERMON (1979).

Variable	Densidad	Materia seca	COD	Total-N	P
Materia seca	0,904				
COD	0,847	0,926			
N total	0,873	0,764	0,660		
$N\text{-}NH_4^+$	0,557	0,425	0,312	0,780	
P	0,868	0,906	0,877	0,785	
K	0,476	0,296	0,169	0,731	
Ca	0,793	0,914	0,920	0,632	0,838
Mg	0,790	0,740	0,674	0,700	0,824
Cu	0,855	0,886	0,896	0,672	0,877
Zn	0,720	0,769	0,790	0,563	0,748

Pueden apreciarse conexiones entre contenidos en materia seca y COD, fósforo, calcio, cobre, cinc e incluso nitrógeno y magnesio. Asimismo se encuentran altas correlaciones entre estas variables y la densidad; también entre contenidos de varios elementos entre sí, como es el caso del fósforo con calcio, cobre y cinc.

Las ecuaciones de correlación permiten buscar aproximaciones para la mayor parte de los componentes del estiércol líquido, a través de la determinación de la materia seca y/o la densidad, GONZÁLEZ y col (1990c). Únicamente el contenido en potasio está insuficientemente correlacionado con estas dos variables (tabla RB36).

Tabla RB36: Ecuaciones de correlación entre materia seca y densidad de estiércoles líquidos de porcino y contenidos de COD, nitrógeno y fósforo, DUTHION Y GERMON (1979).

Variable dependiente ($g.L^{-1}$)	Variable independiente = Materia seca MS ($g.l^{-1}$)		Variable independiente = Densidad D ($g.l^{-1}$)	
	Ecuación	**Coefic correl.**	**Ecuación**	**Coef. correl.**
Densidad	$d = 1010{,}9 + 21{,}9.10^{-2}$ MS	0,904		
COD	$COD = 9{,}06 + 8{,}48.10^{-1}$ MS	0,926	$COD = -2420 + 2412.10^{-3}$ d	0,847
N total	$N = 2{,}88 + 3{,}74.10^{-2}$ MS	0,764	$N = -134{,}84 + 133{,}18.10^{-3}$ d	0,873
P	$P = 0.03 + 3{,}12.10^{-2}$ MS	0,906	$P = -93{,}77 + 93{,}06.10^{-3}$ d	0,868
Ca	$Ca = 0{,}31 + 0{,}56.10^{-2}$ MS	0,912	$Ca = -153{,}04 + 152{,}45.10^{-3}$ d	0,793
Mg	$Mg = 0{,}26 + 0{,}87.10^{-2}$ MS	0,740	$Mg = -29{,}13 + 29{,}09.10^{-3}$ d	0,790
Cu	$Cu = 6{,}35 + 0{,}81$ MS	0,886	$Cu = -2537 + 2520.10^{-3}$ d	0,855
Zn	$Zn = -5{,}80 + 1{,}09$ MS	0,768	$Zn = -3217 + 3187.10^{-3}$ d	0,720
Densidad	$d = 956{,}3 + 41{,}8 \log MS$	0,926		
Densidad	$d = 999{,}9 + 65.10^{-1}$ MS $- 2{,}4.10^{-3}$ MS^2	0,934		
COD			$\log COD = -15{,}83 + 17{,}09.10^{-3}$ d	0,902
N total	$\text{Log } N = -0{,}14 + 4{,}81.10^{-1}$ MS	0,811		
N total	$N=1{,}50 + 8{,}30.10^{-2}MS–3.02.10^{-4}$ MS^2	0,788		
P			$\log P = -22{,}17 + 21{,}77.10^{-3}$ d	0,895
Ca			$\log Ca = -15{,}39 + 15{,}48.10^{-3}$ d	0,815
Zn			$\log Zn = -25{,}60 + 26{,}52.10^{-3}$ d	0,807

	Otras variables independientes			
N total	N = 0,28 + 1,60 ($N\text{-}NH_4^+$)	0,880		
K	K = 0,27 + 0,37 N	0,731		
Ca	Ca = 0,82 + 0,51 P	0,835		

La tabla muestra altas correlaciones entre el nitrógeno total y el amoniacal en el estiércol líquido (relación N total/ $N\text{-}NH_4^+$ próxima a 0,6). Las relaciones entre fósforo, calcio, cobre y cinc son obvias. Por el contrario, no se encuentran relaciones entre el pH y otras variables tales como el nitrógeno total (r = 0,253) y amoniacal (r = 0,52).

GERRITSE (1977) afirma que los compuestos minerales del estiércol líquido que son ligeramente solubles o insolubles, corresponden aproximadamente al 80% del fósforo total; la regresión entre calcio y fósforo (r = 0,835) permite deducir que el 65-70% del fósforo está constituido por fosfato dicálcico, DUTHION y GERMON (1979).

Las ecuaciones de regresión solo son válidas entre los valores límites observados para la variable y por tanto, no podrán utilizarse fuera del área para el que se establecen. Ya se ha indicado de qué forma influyen sobre la composición del efluente el tipo de explotación, la alimentación, etc. TUNNEY y MOLLOY (1975a) y HEDUIT y col. (1977), encontraron contenidos estimados para nitrógeno y fósforo, cuya precisión varía mucho con la explotación o la época de muestreo (tabla RB37).

Tabla RB37: Ecuaciones de regresión según los autores.

TUNNEY y MOLLOY (1975a)		**HEDUIT y col. (1977)**	
Ecuación	Coef. Correl.	Ecuación	Coef. Correl.
$N = 0,76 + 6,18.10^{-2}MS - 1,61.10^{-4}MS^2$	0,95	$N = 3,16 + 5,3.10^{-2}\ MS$	0,80
$P = -0,34 + 3,77.10^{-2}MS - 1,15.10^{-4}MS^2$	0,86	P = 0,54 + 0,03 MS	0,84
$Mg = -0,13 + 1,53.10^{-2}MS - 0,48.10^{-4}MS^2$	0,88	N = 0,63 + 1,33 ($N\text{-}NH_4^+$)	0,86

Según DUTHION Y GERMON (1979), decidir la dosis de aplicación al campo del estiércol líquido por su contenido en nitrógeno es una óptima manera de planear la fertilización; el conocimiento de la materia seca y/o la densidad lo facilitará. Sin embargo, determinar el contenido en materia seca requiere un tiempo de secado hasta un peso o volumen del efluente conocidos. La densidad, por el contrario, puede determinarse fácilmente por medio de un densímetro, TUNNEY y MOLLOY (1975b).

La alta correlación existente entre densidad y materia seca permite utilizar la densidad para dosificar el purín, TUNNEY (1977 y 1979); VILLAR CELORIO y col. (1985); la obtenida por TUNNEY y MOLLOY (1975b): MS (%) = -255,8 + 255,46 d con un R^2 = 96,2, permite calibrar el densímetro directamente en contenido en materia seca hasta el 8%. Las muestras con mayor contenido son muy viscosas para permitir las lecturas con el densímetro, por lo que será necesario diluirlas con un volumen igual de agua y corregir posteriormente la lectura. Además, la correlación significativa existente entre el porcentaje de materia seca y los contenidos de nitrógeno y fósforo del purín, TUNNEY y MOLLOY (1975a), permite la calibración del densímetro para obtener lecturas de Kg de N y P por 10 m^3 de purín.

La utilización de un densímetro graduado de 1000 a 1060 g L^{-1} permite estimar la materia seca del purín y sus principales elementos fertilizantes. La lectura ha de corregirse en función de la temperatura, GONZÁLEZ y col. (1990d).

Se han realizado medidas de densidad rápidas con densímetros que posteriormente se han correlacionado por diferentes autores, VILLAR CELORIO y col. (1985), BERTRAND (1985), con contenidos en materia seca, nitrógeno amoniacal, fósforo, cobre, etc. (tabla RB38).

Tabla RB38: Estimación de la composición de purines de ganado porcino en base a la densidad, BERTRAND (1985).

DENSIDAD		VARIABLES			
PURÍN	PURÍN DILUÍDO *	MS (%)	N ($Kg.m^{-3}$)	P_2O_5 ($Kg.m^{-3}$)	K_2O ($Kg.m^{-3}$)
1004	1002	0,7	1,9	0,4	1,1
1008	1004	1,5	2,3	1,0	1,3
1012	1006	2,3	2,8	1,7	1,7
1016	1008	3,1	3,2	2,4	2,0
1020	1010	4,0	3,7	3,1	2,3
1024	1012	4,8	4,2	3,7	2,6
1028	1014	5,6	4,6	4,4	3,0
1032	1016	6,4	5,1	5,1	3,3
1036	1018	7,2	5,5	5,8	3,6
1040	1020	8,0	6,0	6,5	3,9
1044	1022	8,9	6,5	7,2	4,3
1048	1024	9,9	6,9	7,8	4,6
1052	1026	10,5	7,4	8,5	4,9
1056	1028	11,3	7,8	9,3	5,3

* Densidad del purín diluido con un volumen de agua para facilitar la lectura.

La precisión en la estimación de elementos fertilizantes mediante el densímetro, es media para el N total y el P_2O_5 y más baja para los elementos solubles K_2O y NH_4^+ al estar menos ligados a la materia seca, LEVASSEUR (1998c).

Tabla RB39: Diferentes ecuaciones que relacionan el % de Materia Seca y la densidad de distintos efluentes, según distintos autores.

Referencia autor	Tipo de residuo	Ecuación	Coef. Correl.
TUNNEY, 1979	Porcino y bovino	d = 1 + 0,0039 (%MS)	0,96
DUBE, 1982	Porcino	d = 1 + 0,0041 (%MS)	0,72
CHEN, 1982	Bovino	d = 1 + 0,0036 (%MS)	
CHESCHIER, 1984	Porcino y bovino	d = 1 + 0,0043 (%MS)	0,90
TUNNEY, 1985	Aves	d = 1 + 0,0036 (%MS)	0,92
KJELLERUP, 1985	Porcino y bovino	d = 1 + 0,0042 (%MS)	0,91
BERTRAND, 1985	Porcino	d = 1 + 0,0050 (%MS)	
TUNNEY, 1986	Fango depuradora	d = 1 + 0,0038 (%MS)	0,94
Media d = 1 + 0,004 (%MS)			

Tabla RB40:Coeficientes de correlación entre la medida de la materia seca y de las materias minerales y los constituyentes que caracterizan el valor fertilizante, BERTRAND (1993).

	N total	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Materia seca	0,90	0,96	0,94	0,87	0,98
Materia mineral	-	0,90	0,86	0,94	0,88

En el estudio realizado por FERRER y col. (1983), se observa una gran variación en la composición química; sin embargo, aparecen estrechas relaciones entre alguno de sus componentes, tendencia que se mantiene en los tres tipos de unidades estudiadas. Estas correlaciones permiten predecir la composición a partir de un

parámetro fácil de analizar como es el caso de la materia seca, que presenta una alta correlación con la mayor parte de los componentes (tabla RB41).

Tabla RB41: Relaciones entre contenidos de nutrientes y materia seca, en muestras de purín de explotaciones de engorde en Cataluña, FERRER y col. (1983).

Nutriente	Correlación con MS (‰)	Coef. Correl.
NITRÓGENO TOTAL (‰)	N = 3,18 * exp (0,006 MS)	0,781
N- NH_4^+ (‰)	N- NH_4^+ = 1,52 + 0,21 MS	0,570
N- ORGÁNICO (‰)	N-ORG = -4,53 + 1,62 * Ln MS	0,690
FÓSFORO (‰)	P = - 0,41 + 0,31 MS	0,937
POTASIO (‰)	K = 1,84 + 0,013 MS	0,506
CALCIO (‰)	Ca = - 0,88 + 0,052 MS	0,930
MAGNESIO (‰)	Mg = 0,22 * exp (0,012 MS)	0,847
COBRE (ppm)	Cu = 0,92 + 0,72 MS	0,787
CINC (ppm)	Zn = 18,40 * exp (0,010 MS)	0,773
MANGANESO (ppm)	Mn= 6,96 * exp (0,014 MS)	0,897
	Otras correlaciones	
N- NH_4^+	N- NH_4^+ = 0,034 + 0,569 N	0,876
POTASIO	K = 0,6329 + 1,8949 Na	0,835
CALCIO	Ca = -0,088 + 1,608 P	0,962

La correlación existente con las distintas formas de nitrógeno es explicable debido a que un mayor contenido en materia seca implica menor dilución y mayor concentración de nitrógeno. La mejor correlación con el nitrógeno total, aunque no demasiado elevada, se explica por la variación de las formas orgánica y amoniacal con el tiempo de almacenamiento del purín; el nitrógeno orgánico se degrada lentamente hacia formas amoniacales y esta variación influye en la bondad del ajuste. La mayor parte del nitrógeno amoniacal se excreta en la orina (70%) bajo formas ureica y amoniacal fácilmente biodegradables y el resto (30%) en las heces, y por tanto, existirá una relación mayor con el grado de dilución que con el contenido en materia seca.

Por el contrario, el fósforo presenta una alta correlación con la materia seca debido a que el 90% se excreta con las heces y un 80% del fósforo total se encuentra como fósforo inorgánico en la fracción sólida, GERRITSE (1977). Este hecho permite predecir, con pequeño error, la concentración de fósforo en el ELP. Comportamientos similares se observan en el calcio y magnesio que, como el fósforo, se excretan fundamentalmente en las heces. Sin embargo el 80% del potasio y el 70% del sodio se excretan con la orina. Además, el metabolismo del animal juega un papel importante para algunos elementos; de ahí que se obtengan altas correlaciones entre calcio y fósforo y entre sodio y potasio, FERRER y col. (1983).

El contenido de materia seca de las muestras de purines permite predecir la concentración de metales expresados en materia fresca. Los metales pesados están asociados principalmente con los componentes de la materia seca del purín antes que en disolución, NICHOLSON y col. (1999).

Tabla RB42: Ecuaciones lineales de regresión entre diversos metales pesados y la materia seca de purines de ganado porcino, NICHOLSON y col. (1999).

Variable	Ecuación de regresión	Precisión predicción (%)
Zn (g m^{-3} MF)	Zn = 5,46 Ms + 0,99	34

Cu (g m^{-3} MF)	Cu = 4,61 MS + 0,71	90
Ni (g m^{-3} MF)	Ni = 0,14 Ms – 0,003	68
Pb (g m^{-3} MF)	Pb = 0,10 Ms – 0,21	96
Cd (g m^{-3} MF)	Cd = 0,004 MS + 0,002	74
As (g m^{-3} MF)	As = 0,02 Ms – 0,003	75
Cr (g m^{-3} MF)	Cr = 0,06 Ms – 0,06	98

Correlaciones análogas se describen por CABANEIRO y col. (1985) al estudiar los purines de vacuno de Galicia. En este caso destaca la elevada correlación positiva entre la materia seca y la densidad, con un coeficiente de correlación de +0,824, y el signo negativo de la correlación de la densidad, y por tanto de la materia seca, con los elementos asimilables como N inorgánico (-0,473), K_2O (-0,460), Na_2O (-0,429) y MgO (-0,495). Destacan también las correlaciones positivas entre el contenido en cenizas y elementos asimilables y sin embargo de signo negativo con la materia orgánica (-0,539). Asimismo se encuentra una elevada correspondencia entre las diferentes formas de nitrógeno total, amoniacal e inorgánico y de éstos con los elementos asimilables.

Estos autores realizan un interesante análisis de componentes principales, tanto para cada uno de los muestreos como para la totalidad de las muestras. El porcentaje de varianza explicada por los cuatro primeros factores se refleja en la tabla RB43, apareciendo un primer factor más importante que los demás, desde el punto de vista cuantitativo, sobre todo en muestreo de otoño-invierno; además, entre los cuatro factores explican más del 75% de la varianza.

Tabla RB43: Tanto por ciento de la varianza explicada por cada factor en el análisis de componentes principales de los distintos muestreos, CABANEIRO y col. (1985).

Muestreo	Factor I	Factor II	Factor III	Factor IV	Total
Primavera	48,84	17,20	13,82	5,83	85,69
Verano	48,40	12,22	8,74	6,43	75,79
Otoño-Invierno	54,15	11,80	9,45	8,80	84,20
Total muestras	46,48	13,14	10,54	6,87	77,03

La distribución de las variables en relación a los ejes de los factores varía de unos muestreos a otros, aunque siempre aparecen asociadas de la misma forma, lo cual facilitará la caracterización de un producto tan complejo (tabla RB44).

Tabla RB44: Distribución de las variables respecto a los ejes del análisis de componentes principales, CABANEIRO y col. (1985).

Muestreo	Posición en el eje	Factor I	Factor II	Factor III	Factor IV
Primavera	Parte +	PH Cenizas	Carbono N-Orgánico	N- NH_4^+ K_2O N-Inorgánico Na_2O N-Total	CaO MgO
	Parte -	C/N		Densidad Materia seca	
Verano	Parte +	P_2O_5 Cenizas CaO	K_2O	N- NH_4^+ N-Inorg. N-Total N-Orgánico	MgO Na_2O
	Parte -	Carbono C/N	Densidad Materia seca		
Otoño-invierno	Parte +	pH N-Inorg. N-Total N- NH_4^+		P_2O_5 CaO MgO	Cenizas K_2O Na_2O
	Parte -		Densidad Materia seca		Carbono C/N

Total muestras	Parte +	Cenizas N- NH_4^+ pH N-Inorg. P_2O_5 N-Total K_2O	Na_2O	CaO MgO	Cenizas
	Parte -	C/N	Densidad Materia seca		Carbono

El factor I viene determinado, en su parte positiva, por el pH, el contenido en cenizas, el nitrógeno total, amoniacal e inorgánico, el fósforo y el potasio; y en su parte negativa, por la relación C/N. Es un "factor de mineralización" al que aparecen asociados los productos resultantes de la misma, como la variable que regula el proceso.

El factor II tiene asociadas la densidad y la materia seca en su parte negativa, por lo que se le podría llamar "factor de dilución".

Los factores III y IV no aparecen tan claramente definidos. Al primero de ellos se le asocian los contenidos de calcio y magnesio en su parte positiva por lo que sería lógico denominarlo "factor de alimentación"; en el segundo se asocia el contenido en cenizas en su lado positivo y el de carbono en el negativo, por lo que se le denomina "factor secundario de mineralización".

En el análisis "cluster" realizado sobre la totalidad de las explotaciones analizadas, aparecen agrupadas 13 muestras, cuya característica común más destacada es que poseen fosas cerradas. El agrupamiento de otras 8 muestras, la mayor parte de ellas con fosa abierta, pone en evidencia la influencia del tipo de fosa en la composición del purín, aunque no aclara el mecanismo mediante el cual la dilución influye sobre la composición de la materia seca ya que ésta es la base a la que se refieren todos los datos del análisis químico de las variables, CABANEIRO y col. (1985).

No obstante, aún siendo muy importantes las relaciones existentes entre las distintas variables del purín, únicamente permiten explicar las causas de la variabilidad del contenido de materia seca; más importantes, desde el punto de vista agronómico, son las relaciones que pueden establecerse entre los índices de la dilución del purín (% de materia seca) y los distintos elementos nutrientes, única forma de controlar de forma rápida las unidades fertilizantes añadidas, GIL SOTRES y col. (1985), tal y como se ha hecho anteriormente.

Sin embargo, la mayor parte de las tablas de correspondencia entre densidad, materia seca y contenido de nutrientes, tienen un origen relativamente reciente y la evolución de las técnicas de manejo han podido modificar la relación entre la tasa de materia seca y la composición en N, P y K. En este sentido, DUMORTIER y col. (1996) han podido constatar que los valores obtenidos por densímetro son ligeramente inferiores para la materia seca y el N total y superiores en un 30% para el P_2O_5.

Para contenidos de componentes muy solubles como el nitrógeno amoniacal o el potasio, en los que las correlaciones encontradas no son tan buenas, se puede recurrir a medidas rápidas utilizando aparatos como Nitrogenometer, Agros o Quantofix, BERTRAND y col. (1988). El nitrógeno amoniacal se transforma en nitrógeno gaseoso por reacción con hipoclorito. El gas se mide, según el modelo de aparato, por desplazamiento de agua dentro de un tubo graduado o utilizando un manómetro.

TUNNEY (1979 y 1986) propone la utilización del electrodo selectivo de amonio. La comparación entre el método colorimétrico (NH_4-C) y el electrodo selectivo de amonio (NH_4-E), realizada por CHESCHEIR y WESTERMAN (1984) para determinar el contenido de amonio en el purín de porcino, pone en evidencia que es un buen método siempre que se controle la cantidad de NaOH para evitar sobrestimaciones. La ecuación de correlación encontrada, cuando las concentraciones se expresan en ppm, es la siguiente: NH_4-C = 165 + 0,84 NH_4-E (R^2 = 0,95).

Tabla RB45: Ecuaciones de regresión utilizables para la predicción de los contenidos de Nitrógeno y Potasio, BERTRAND (1985).

Valor Y	Valor X	Coeficiente correlación	Ecuación de Regresión	Precisión Predicción %
N – NH_4^+ Destilación directa	Agros	0,98	Y = 0,08 + 0,958 X	4,6
	Electrodo	0,94	Y = 0,05 + 0,89 X	10,9
	Densidad	0,69	Y = - 51,6 + 0,05 d	24,0
Total-N	Agros	0,90	Y = 1,52 X	15,6
	Electrodo	0,80	Y = - 0,13 + 1,34 X	23,0
	Densidad	0,82	Y = - 107 + 0,108 d	21,0
K_2O Fotometría de llama	Electrodo	0,95	Y = 0,02 + O,81 X	15,0
	Electrodo+ tampón	0,96	Y = 0,06 + 0,76 X	13,8
	Densidad	0,67	Y = - 60 + 0,06 d	35,7

Agros: N obtenido por el método Agros.
Electrodo. electrodo selectivo de $NH4^+$ o de K^+.
Densidad: medida con densímetro y corregida la temperatura a 15 ºC.

Como el contenido en nitrógeno orgánico no es conocido, el nitrógeno total se estima a partir de un coeficiente de relación N total/NH_4^+, que depende del contenido en materia seca del purín y que según BERTRAND (1985), oscila entre 1,4 (MS = 1,1%) y 1,7 (MS = 9,3%). FERRER y col. (2000) obtienen un valor medio para el factor de 1,44, si bien se producen algunas variaciones según el tipo de explotación, siendo más elevado en precebo (1,63) y algo inferior en maternidad y gestación (1,40 y 1,34 respectivamente).

Con idéntico objetivo, PICCININI y BORTONE (1991) establecieron correlaciones entre componentes de estiércoles líquidos de porcino y vacuno con la materia seca y densidad (tabla RB46). Sabido es que la precisión representa la repetibilidad de la medida, calculada a base de establecer relaciones entre el error estándar de la estimación y su valor medio. Por tanto, cuando se utilice la ecuación de regresión lineal para estimar, por ejemplo, el contenido de sólidos totales, basada sólo en una determinación de la densidad, el dato calculado es responsable de un error mínimo del 22%. Para reducir este error es necesario realizar varias determinaciones de densidad en la misma muestra, de forma que el valor medio obtenido sea responsable de un menor error.

Tabla RB46: Ecuaciones de regresión entre componentes del estiércol líquido de porcino y vacuno, PICCININI y BORTONE (1991).

Variable dependiente	Variable independiente	Residuo	Coefic. Correl.	Ecuación regresión	Precisión predicción (%)
Sólidos Totales (%)	Densidad	Porcino	0,94	ST = -221,6 + 221,0 d	22
		Vacuno	0,88	ST = -215,6 + 226,1 d	22
N Total	Sólidos Totales	Porcino	0,90	N Total = 1,095 + 0,060 ST	27

($g.Kg^{-1}$)	($g.Kg^{-1}$)	Vacuno	0,66	N Total = 1,554 + 0,0216 ST	32
	Densidad	Porcino	0,75	N Total = -67,40 + 69,19 d	25
		Vacuno	0,56	N Total = -44,61 + 46,22 d	38
P Total ($g.Kg^{-1}$)	Sólidos Totales ($g.Kg^{-1}$)	Porcino	0,88	P Total = 0,032 + 0,0312 ST	40
		Vacuno	0,82	P Total = 0,3698 + 0,007 ST	23
	Densidad	Porcino	0,75	P Total = -46,61 + 46,88 d	46
		Vacuno	0,74	P Total = -14,05 + 14,40 d	27

Las correlaciones entre sólidos totales y nitrógeno total presentan un coeficiente de correlación muy superior en porcino que en vacuno. Los niveles de precisión son bajos. Las muestras de purín de vacuno digeridas anaeróbicamente (ST<8%) mostraron menor dispersión debido, posiblemente, a su menor contenido de celulosa (paja), comparado con el purín (ST>8%).

El método que propugna medir la densidad específica del purín con hidrómetro, calcular el porcentaje en sólidos totales utilizando la ecuación correspondiente, y obtener las concentraciones de nitrógeno y fósforo de las ecuaciones de regresión entre sólidos totales y nutrientes, está sujeto a errores elevados a causa de la combinación de niveles pobres de precisión y la repetibilidad obtenida. Es mejor utilizar la regresión lineal entre la densidad específica y los elementos fertilizantes, lo que evita cálculos y reduce el margen de error aún cuando los coeficientes de correlación relativos y las precisiones relativas no sean mejores que los encontrados en las correlaciones directas entre el contenido en sólidos totales y la densidad específica, por una parte, y el nitrógeno total y fósforo total, por otra, PICCININI y BORTONE (1991).

La relación entre entre el nitrógeno amoniacal y el total en el estiércol líquido de ganado porcino encontrada por estos autores, es importante para su utilización en el campo. De 206 muestras se obtuvo un valor medio de $N\text{-}NH_4^+$/N-Total = 0,65 (desviación estándar=0,12) y por tanto podría estimarse el contenido en nitrógeno total a partir del amoniacal determinado por el método Agros y, puesto que supone acumular errores tanto en el numerador como en el denominador, la aproximación más aceptable sería obtener el valor para el nitrógeno total directamente de la ecuación de regresión:

$$\text{N-Total } (Kg.m^{-3}) = 0{,}347 + 1{,}439.\ N\text{-}NH_4^+\text{Agros } (Kg.m^{-3}) \qquad r = 0{,}81$$

La comparación entre los tres métodos de determinación de nitrógeno amoniacal (tabla RB47), indica que el método Quantofix se mostró menos exacto que Agros, con un error sistemático del 5%. Sin embargo, ambos son útiles a causa de su correspondencia con el análisis realizado por un método convencional en laboratorio.

Para el amonio, la utilización de un electrodo selectivo ofrece excelentes resultados comparados con el análisis convencional de laboratorio, BERTRAND y ARROYO (1984). Los coeficientes de correlación entre ambas determinaciones son de 0,94 para el nitrógeno amoniacal y 0,80 para el total. Asimismo, la concentración de potasio puede ser evaluada por potenciometría con un electrodo específico.

Tabla RB47: Comparación de varios métodos de determinación de variables, PICCININI y BORTONE (1991).

Valor de Y ($mg.L^{-1}$)	**Valor de X** ($mg.L^{-1}$)	**Residuo**	**Coefic. Correl.**	**Ecuación regresión**	**Precisión predicción (%)**
MS Laboratorio	MS Slurry metter	Porcino	0,93	Y = -0,749 + 0,991X	29

		Vacuno	0,93	Y = -0,306 + 1,107X	21
$N\text{-}NH_4^+$Agros[1]	$N\text{-}NH_4^+$Laboratorio	Porcino	0,96	Y = 83,94 + 0,922X	12
		Vacuno	0,94	Y = 292,58 + 1,11X	20
$N\text{-}NH_4^+$ Laboratorio	$N\text{-}NH_4^+$ Agros	Porcino	0,99	Y = 78,47 + 0,992X	11-12
$N\text{-}NH_4^+$ Laboratorio	$N\text{-}NH_4^+$ Quantofix[2]	Porcino	0,98	Y = 313,33 + 0,802X	11-12

Agros[1]: Agros Nitrogen Meter
Quantofix[2]: Quantofix N-Volumeter.

Con estas medidas rápidas realizadas en la misma explotación, los ganaderos pueden conocer las variaciones de composición según el manejo con el fin de mejorar la gestión de los residuos, SOLIVA (1993).

El contraste entre estos métodos rápidos y los realizados tradicionalmente en los laboratorios, puede observarse en las tablas siguientes:

Tabla RB48: Comparación de concentraciones de nitrógeno encontradas en soluciones patrón, utilizando un método convencional y uno rápido (Nitrogen Meter), CHESCHEIR y WESTERMAN (1984).

Solución patrón	Concentración real	Concentración método convencional	Concentración método rápido	% Diferencia
NH_4Cl	1,000	1,010	1,200	19
NH_4Cl	5,000	5,000	5,400	8
NH_4Cl	10,000	9,930	11,000	11
$(NH_4)_2SO_4$	1,000	1,020	1,200	18
$(NH_4)_2SO_4$	5,000	5,180	5,150	- 0,6
$(NH_4)_2SO_4$	10,000	10,020	10,100	0,8

Los resultados obtenidos para el análisis de nitrógeno amoniacal, con el método rápido "Nitrogen Meter", son algo más elevados que los valores reales y los obtenidos por el método tradicional de laboratorio, especialmente en los valores más bajos, CHESCHEIR y WESTERMAN (1984).

Tabla RB49: Comparación de los contenidos de nitrógeno y potasio, medidos según métodos convencionales y métodos rápidos, BERTRAND (1985).

Variable	N Total Método Kjeldahl	$N\text{-}NH_4^+$ Destilación directa	Método Agros		K_2O Fotometría	K_2O Electrodo Selectivo	
			En caliente	En frio		Sin tampón	Con tampón
Media	3,94	2,62	2,92	2,65	2,95	3,56	3,87
Desviación típica	1,80	1,03	1,19	1,06	1,42	1,65	1,81
Coeficiente de variación (%)	45,60	39,30	39,70	40,00	48,10	46,30	46,70

Para finalizar, a partir de los años 90 se han desarrollado modelos matemáticos y de cálculo para estimar las cantidades de elementos fertilizantes excretados por el animal y, por tanto, la composición del purín en la excreta, en el almacenamiento y en el esparcimiento, CEMAGREF (1995).

La modelización matemática, desarrollada por DOURMAD y col. (1992) y GUILLOU y col. (1993), permite estimar la cantidad total de nitrógeno excretada por un cerdo, para diferentes estados fisiológicos, a partir de criterios fácilmente accesibles. Las simulaciones muestran las posibilidades de reducción del nitrógeno en la excreta a través de la alimentación, LEVASSEUR (1998c).

AARNINK y col. (1992) desarrollaron un modelo matemático para la estimación de la cantidad y de la composición del purín de porcino de cebo (20 a 100 Kg). Los elementos de composición son: materia seca, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Por otra parte, los datos considerados son: peso y velocidad de crecimiento de los animales, aguas de lavado, consumo de agua y de alimento, así como su composición, temperatura ambiente y de los efluentes y tiempo de almacenamiento.

La principal dificultad de los métodos de estimación estudiados estriba en que han sido experimentados a partir de submuestras del purín almacenado, por lo que es improbable que los resultados representen realmente al purín que se vierte en el campo. Con el objetivo de diseñar un sistema que efectúe las medidas durante el transporte y el esparcimiento, SCOTFORD y col. (1999) estudiaron la relación entre el contenido de los nutrientes principales del purín y algunas de sus propiedades físicas y químicas, cuya medida permita la automatización mediante la utilización de sensores adecuados.

El sistema consta de una sonda con sensores de medida del potencial redox, pH, temperatura y conductividad eléctrica con compensación automática de temperatura, un reservorio para la muestra y un tubo, por donde entra y sale la muestra del reservorio, donde se encuentra el instrumental de medida. Las correlaciones que permitieron mayor porcentaje de explicación de la varianza, aparecen reflejados en la tabla RB50 .

Tabla RB50: Ecuaciones de regresión simple entre nutrientes principales (mg L^{-1}) y propiedades del purín, Conductividad eléctrica (µS cm^{-1}) y densidad (kg m^{-3}), SCOTFORD y col. (1999).

Nutriente	Procedencia de las muestras	Purín de porcino	Purín de vacuno	% varianza explicada
NH_4^+- N (mg L^{-1})	Inglaterra	NH_4^+ = 0,149 CE + 131	NH_4^+ = 0,149 CE - 552	84,1
	Alemania	NH_4^+ = 0,139 CE + 217	NH_4^+ = 0,113 CE - 348	91,9
	Irlanda	NH_4^+ = 0,136 CE - 174	NH_4^+ = 0,136 CE - 523	80,6
	Italia		NH_4^+ = 0,083 CE - 327	39,1
P total (mg L^{-1})	Inglaterra	P = 31,16 d - 1337	P = 4,18 d - 4017	35,8
	Alemania	P = 23,06 d - 22618	P = -0,96 d + 1331	83,6
	Irlanda	P = 58,86 d - 57426	P = -0,041 d + 315	64,8
	Italia	P = 20,25 d - 20317	P = 6,85 d - 6837	76,1
K total (mg L^{-1})	Inglaterra	K = 0,184 NH_4^+ + 603	K = 0,763 NH_4^+ + 212	50,2
	Alemania	K = 0,110 CE + 306	K = 42,97 CE - 442	80,8
	Irlanda	K = 0,121 CE -215	K = 0,121 CE + 992	19,2
	Italia	K = 42,97 d - 43000	K = 42,97 d - 43000	42,4

La combinación de varias de las propiedades, incluyendo otras como el pH y k (relacionada con las propiedades reológicas del fluido), mejora las correlaciones y permite adaptar las medidas según las características de cada purín. Es por ello que el prototipo debiera incluir sensores de:

a) conductividad eléctrica (para el nitrógeno amoniacal),
b) densidad, flujo y gradiente de presión (k) y pH (para el fósforo total) y
c) conductividad eléctrica, densidad y electrodo de amonio (para el potasio total).

2.6.3. EFECTO SOBRE EL SUELO Y LOS CULTIVOS

L'HERMITE y DEHANDTSCHUTTER (1979) proponen, antes de la aplicación al suelo, el estudio de la influencia de las características físicas, químicas y microbiológicas del estiércol líquido de ganado porcino (cantidades de elementos

fertilizantes que contienen, materia orgánica y agentes contaminantes) sobre las características del suelo, la producción y calidad del cultivo y la calidad de las aguas. Esta influencia dependerá del tipo de suelo, la cantidad de efluente aplicado y el momento de aplicación y permitirá determinar la máxima cantidad de purín que ha de ser aplicada para obtener el óptimo de crecimiento y calidad del cultivo, mientras se produce el mínimo efecto dañino para el medio ambiente.

Como ya se ha visto, los diferentes sistemas de gestión de los efluentes ganaderos tienen un impacto importante sobre su contenido en materia seca. Las diferencias en materia seca influirán notablemente sobre su valor como enmienda orgánica. Cuando el contenido en materia seca es elevado y, por tanto, el de materia orgánica, mejorará la estructura del suelo, MARINARI y col. (2000), la resistencia a la compactación y la erosión, reduce la densidad del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua útil y mejora la actividad microbiana, CARBALLAS (1991), así como la población de lombrices de tierra. Estos efectos beneficiosos sobre las diferentes propiedades del suelo serán menos importante con un lisier que con un estiércol, THIBAUDEAU (1997).

El estiércol líquido utilizado a "dosis agronómicas" aporta al suelo los elementos esenciales para las plantas, no presentando apenas riesgos de transmisión de enfermedades por las aguas. Ahora bien, la utilización de este tipo de efluentes precisa aceptar unas condiciones en cuanto al momento y forma de aplicación, la dosis aplicada, el tipo de suelo, la presencia o ausencia de cultivo y el tipo de cultivo, DUTHION y col. (1979); CARBALLAS (1991); MEEUS-VERDINNE y DESTAIN (1993).

Sin embargo, la aplicación de "altas cantidades de estiércol" a suelos, sobre todo si éstos poseen una elevada saturación de agua, permite al estiércol líquido llegar a zonas profundas o correr en superficie con la consiguiente contaminación química y bacteriológica de suelos y aguas superficiales, STRAUCH (1982b).

La contaminación del suelo se puede producir en dos fases: principalmente formando parte de las partículas sólidas del suelo (adsorción, precipitación o junto partículas orgánicas) y, en forma menos acusada, disuelta en el agua de los poros del suelo. Esta fracción disuelta es bioasimilable por los organismos y de ahí su importancia, puede ser lixiviada hácia las aguas superficiales y profundas. La fracción sólida puede desplazarse por erosión, NOVOTNY (1999).

Son varios los autores que han estudiado la influencia que, sobre las propiedades del suelo, ejercen las aplicaciones de efluentes ganaderos de diversos tipos, sobre todo de los purines. Así YE y col. (1999) utilizan el estiércol de porcino para la recuperación de la vegetación en suelos procedentes de minas de plomo-cinc, observando que provoca en el suelo un aumento de pH, reduce la conductividad eléctrica, y las concentraciones de Zn, Pb y Cd extraíbles con DTPA.

El estiércol licuado de ganado porcino, como todo material orgánico, mineraliza en una proporción que depende de las condiciones del suelo y puede dar lugar temporalmente a un exceso de nitrógeno mineral. Por otra parte, la climatología (periodos secos y húmedos del año) juega un papel importante en la posible lixiviación de nutrientes. Además, cuando existe poca extensión de terreno en la granja que permita

un vertido seguro, se produce una sobrecarga de los suelos y una lixiviación de los nutrientes, DUTHION y col. (1979).

Ahora bien, cuando el suplemento de minerales procedentes de las excretas del ganado, por aplicaciones de grandes cantidades, excede los requerimientos de los cultivos, se produce un enriquecimiento del suelo. Los constituyentes móviles (nitratos y cloruros) se transportan fácilmente en profundidad y pueden alcanzar las aguas superficiales y subterráneas. Los iones con baja movilidad (fosfatos, cinc y cobre) se acumulan en la superficie del suelo y pueden contaminar las aguas superficiales. Por una parte, este enriquecimiento del suelo en minerales puede tener consecuencias adversas sobre la producción y calidad de los cultivos, tales como ahijamiento de cereales, disminución del contenido de fécula en patata y de azucar en remolacha; por otra, pueden tener efectos adversos sobre la salud animal (incrementos de nitratos y potasio en pastos, a la vez que disminución de calcio y magnesio). Además, en el caso de coníferas, los efectos del vertido son perjudiciales; la rápida mineralización de la materia orgánica superficial donde se encuentran la mayor parte de las raíces, produce la estimulación de hongos, SMILDE (1979).

Un balance no adecuado de los cationes de cambio del suelo (Na y K en relación a Ca y Mg) tras la aplicación de residuos ganaderos, puede causar agregados en el suelo que dispersan las partículas de arcilla, las cuales se desplazan por el suelo, bloqueando los poros y reduciendo la infiltración del agua a su través, POWERS y col. (1975).

El balance de K respecto a Ca+Mg en el forraje es un índice del diagnóstico nutricional; cuando excede de 2,2:1 puede causar toxicidad en el pasto. En la experiencia de WARMAN (1986) con estiércol de porcino, este nivel no se alcanzó en ningún caso.

Otros autores, como REID y col. (1984), no observaron efectos adversos producidos por exceso de sales solubles. Las altas proporciones de aplicación de estiércoles líquidos porcinos no originaron una disminución significativa de la producción de raygrass y trébol.

En un primer estudio sobre fertilización con purines de ganado porcino, BERNAL y col. (1987), obtienen como resultados más relevantes, el mantenimiento de la conductividad del suelo y de la concentración de cloruros lo que indica que no se produce salinización del suelo. Además observaron una disminución del pH, y un aumento en los contenidos de nitrógeno, fósforo y materia orgánica del suelo. Por el contrario, la relación C/N del suelo se mantiene dentro del los límites aceptados para un buen equilibrio nutricional.

Sin embargo, los ensayos realizados posteriormente sobre suelos de clima árido y semi-árido tras adiciones de purin de porcino, por BERNAL y col (1992), muestran cambios en la conductividad eléctrica del suelo y en la concentración de sales solubles, que parecen indicar riesgos de salinidad. Estos riesgos son mayores en suelos con alta capacidad de absorción de agua, al cabo de 24 meses de adicionar purín de ganado porcino a razón de 400 m^3 ha^{-1} $año^{-1}$. Además, la concentración de potasio soluble en agua del suelo alcanzó niveles superiores al de resto de los cationes debido a los altos contenidos de este elemento en el purín aplicado.

Como puede observarse, han sido varios los autores que han estudiado la influencia, sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, tras la aplicación de residuos ganaderos de diferente procedencia. Así, DÍAZ-FIERROS y col. (1983) observaron efectos beneficiosos sobre a la estructura y la conductividad hidráulica del suelo tratado con purín de vacuno. La elevación del pH durante los días posteriores a la aportación, puede tener efectos dañinos para las plantas. WHALEN y col. (2000) valoran positivamente el incremento de pH observado en suelos enmendados con estiércol fresco de vacuno en la mejora de suelos ácidos y el aumento del nitrógeno mineral, fósforo asimilable, potasio, calcio y magnesio, inmediatamente después de la aplicación; fósforo y potasio permanecen significativamente altos tras ocho semanas de incubación.

MBAGWU y BAZZOFFI (1988) discuten el papel de los residuos orgánicos en la estabilidad de los microagregados del suelo dependiendo del contendio de arcilla y sus metales polivalentes asociados, en un ensayo con estiércol de vacuno como enmineda. Es de todos conocido que en los suelos arcillosos se forman grandes macroporos o grietas debido a la contracción del suelo en períodos secos. Esto permite la rápida infiltración de agua y productos químicos, como los herbicidas, a través del suelo hácia el agua. La adición de residuos orgánicos mejora las características físicas del suelo mediante el fomento de la aireación y el incremento de la estabilidad de los gránulos. Utilizando una enmienda de estiércol de ave, McCLURE y MUNSTER (1997) obtuvieron un incremento de la humedad del suelo, una disminución de las grietas y una mayor retención de productos químicos en la zona radicular.

- **Materia orgánica**

El suelo es un medio vivo donde la microflora y microfauna tienen un papel activo. Los aportes de materia orgánica actúan no sólamente sobre la disponibilidad del nitrógeno del suelo, sinó también sobre la evolución de los microorganismos útiles o los patógenos. La materia orgánica interviene igualmente en la biodegradación de los productos fitosanitarios. La gestión de la materia orgánica es particularmente importante en el mantenimiento del humus, la satisfacción de las necesidades de las plantas y la limitación de la erosión del suelo, VILLENUEVE (1997).

Los factores principales que inciden en el incremento de materia orgánica en el suelo por la adición de estiércoles de origen ganadero son el contenido de materia orgánica aplicada, el tipo de estiércol orgánico y la duración de la aplicación, KOLENBRANDER (1975). La adición a suelos arenosos de la cama del ganado porcino, una vez agotada, con alto contenido en carbono orgánico y nutrientes, permite además intensificar la producción de vegetales frondosos (*Brassica parachinensis*), sin provocar excesiva acumulación de nutrientes y metales pesados en los tejidos, TAM y WONG (1995).

Cuando se aplican al suelo dosis agronómicas de estiércol licuado, el efecto sobre el contenido en humus del suelo es escaso, mientras que a dosis elevadas se observa un aumento del carbono en la capa superior, MEEUS-VERDINNE Y DESTAIN (1993).

El carbono orgánico contenido en el purín de ganado porcino fresco es muy bajo, la mayor parte soluble en agua y en el que predomina la fracción fúlvica. Esta baja proporción de carbono hace que los incrementos en el suelo se encuentren únicamente con altas dosis de aplicación de purín (800-1000 $m^3.ha^{-1}.$ $año^{-1}$) o bien tras largos períodos de tratamiento con dosis más bajas. Los suelos arenosos requirieron más dosis de purín para alcanzar la misma proporción de carbono orgánico debido la rápida mineralización de la materia orgánica en estos suelos y a la mayor lixiviación del carbono soluble en agua, BERNAL y col. (1991).

Las experiencias de ABD-ELNAIM (1982), con varios tipos de suelos a los que se aplicaron diversos materiales orgánicos, mostraron que al cabo de 6 meses, las pérdidas de materia orgánica fueron mayores en suelos arenos que en arcillosos debido a un exceso de aireación, obteniendo también mayor producción de grano de trigo en los suelos arenosos, la cual aumentó con la proporción de aplicación.

El nitrógeno inorgánico del purín se comporta de manera similar al de los fertilizantes minerales y más nitrógeno se mineraliza a medida que se descompone la materia orgánica. En ausencia de información acerca de la relación C/N de las diferentes fracciones del purín propuestas por SLUJIJMANS y KOLENBRANDER (1977), se supone que son iguales a la relación C/N del total y que la descomposición da como resultado la mineralización del nitrógeno. Sin embargo, estas afirmaciones no son totalmente válidas en las experiencias de incubación en laboratorio y se requerirán estudios complementarios posteriores de descomposición del purín en el suelo y sus efectos en la inmovilización y mineralización del nitrógeno, FLOWERS y ARNOLD (1983), SKJEMSTAD y col. (1987).

Estudios de incubación de suelos, a los que se han adicionado purines de porcino, muestran que se produce una fase inicial de inmovilización del nitrógeno, debido a la descomposición de una de las fracciones de la materia orgánica del purín, FLOWERS y ARNOLD (1983). No se pudo demostrar la existencia de un período de mineralización neta de nitrógeno que, aunque fue mayor que la del suelo control, podría ser atribuida a la mineralización del nitrógeno orgánico del purín o del nitrógeno inmovilizado, ya que una fracción del nitrógeno orgánico del purín es extremadamente resistente a la descomposición.

Este hecho continúa en conflicto con algunos experimentos de campo, que sugieren que los purines tienen un efecto residual debido a la mineralización del nitrógeno orgánico en los años posteriores a la aplicación; podría ser representada por una serie descendente (0,75; 0,15; 0,10; 0,05) que representa la fracción del nitrógeno total del purín, en este caso de vacuno, disponible el primer año; y la fracción del nitrógeno orgánico residual mineralizado durante el segundo año y siguientes, PRATT y col. (1976).

Es obvia la diferencia entre unos suelos y otros en cuanto al contenido total de humus y las proporciones relativas de las fracciones del mismo. Las sustancias húmicas formadas en un determinado tipo de suelo varían en cantidad, solubilidad y tamaño molecular de acuerdo con los cambios climáticos. Es conocida la influencia de la materia orgánica en numerosos aspectos de la fertilidad del suelo y su conservación; sin embargo, la consideración de la materia orgánica en su totalidad, no tiene en cuenta a

las sustancias húmicas que la componen, su abundancia, su estructura química y sus transformaciones, ANDREUX y col. (1990).

La aplicación de sustancias húmicas al suelo modifica el equilibrio de las reacciones químicas; este equilibrio ejerce un control en la concentración de especies iónicas solubles y metales pesados en suelo. Muchas de las propiedades modificadoras de las sustancias húmicas se atribuyen a la fracción de ácidos fúlvicos; sus grupos funcionales ácidos son capaces de formar complejos solubles con los cationes metálicos; la extensión de esta reacción dependerá de sus contenidos carboxílicos y fenólicos, de la naturaleza de disociación de grupos funcionales y de factores asociados al suelo y al medio ambiente. Los ácidos fúlvicos del estiércol de granja deberían proporcionar más lugares de vinculación a los cationes metálicos, si bien la estabilidad termodinámica de los complejos debería ser baja, PANDEYA (1992).

Los estudios realizados por PICCOLO y col. (1992) muestran que los ácidos húmicos formados en los suelos después de adicionar materiales orgánicos reflejan la composición química del material orgánico original y su grado de humificación.

En general, una relación C/N baja es un índice de un contenido elevado de nitrógeno amoniacal, mientras que si la relación C/N es elevada se asocia con un alto contenido de nitrógeno orgánico, THIBAUDEAU (1997).

Este proceso de descomposición, llamado mineralización, también es función de la relación C/N del residuo. Si ésta es inferior a 20, la cantidad de nitrógeno del residuo es suficiente para asegurar la rápida mineralización por los microorganismos. Sin embargo, para valores superiores a 20, una parte del nitrógeno del residuo puede quedar inmovilizado. Por tanto, los residuos ganaderos deberán ser gestionados de forma diferente según su relación C/N. Aquellos que posean una relación C/N baja y un alto contenido en nitrógeno amoniacal podrán ser considerados como abonos minerales; el lisier pertenece a esta categoría, GONZÁLEZ y SÁNCHEZ (1999b).

Sin embargo, cuando el contenido en nitrógeno orgánico y la relación C/N son elevados, las condiciones de esparcimiento deberán favorecer la rápida descomposición. Conviene, pues, propiciar la incorporación superficial con el fin de facilitar el contacto con los microorganismos activos y procurar el oxígeno necesario para la mineralización del nitrógeno orgánico. La aplicación de estiércol sólido después de la cosecha de cereales es igualmente una práctica ventajosa, puesto que las condiciones de fin de verano permiten iniciar el proceso de mineralización. En cambio, las aplicaciones tardías en otoño, con la temperatura del suelo demasiado baja y la escasa actividad de los microorganismos, no permite aprovechar en su totalidad el valor fertilizante nitrogenado de los resíduos durante la próxima estación, THIBAUDEAU (1997).

En una experiencia de incubación, ENWEZOR (1976) estudió el contenido de nitrógeno y fósforo de materiales orgánicos como un factor para determinar la tendencia de mineralización de estos elementos cuando son añadidos al suelo. Este autor observó que la mineralización del nitrógeno aumenta al disminuir la relación C/N del material orgánico de partida. La liberación de nitrógeno y fósforo de estos materiales en el suelo está gobernada, en gran parte, por el contenido de nitrógeno y fósforo en el material en relación con la demanda microbiana de estos elementos. Cuando ésta demanda sea

menor que la cantidad de nutriente mineralizado, se producirá un incremento neto en el nivel de nitrógeno y fósforo inorgánicos en el suelo (mineralización); en caso contrario dará lugar a la inmovilización y, por tanto, a la disminución neta del nivel de estos nutrientes en el suelo. Las relaciones C/N y C/P darán una indicación de la potencialidad de los materiales orgánicos frescos para mantener este balance.

Por otra parte, existe una estrecha relación entre la actividad biológica y factores ambientales, fundamentalmente temperatura y humedad. La difusión de CO_2 en el suelo es máxima en épocas de elevadas temperaturas junto con unas adecuadas condiciones de humedad y suficiente aireación, CALVO DE ANTA y DÍAZ-FIERROS (1982).

DI CHIO y col. (1999) proponen un modelo matemático para describir las cinéticas durante los procesos de degradación de la materia orgánica añadida al suelo, siguiendo la evolución de la biomasa a lo largo del tiempo, así como el nitrógeno inorgánico y total, carbono y humus, y describiendo sus interrelaciones.

La estructura del modelo está confeccionada pensando en la generalidad y las conexiones entre los nutrientes más importantes del suelo. Es fundamental el papel jugado por el humus y la biomasa; en particular la concentración bacteriana está presente en todas las ecuaciones del modelo y, paralelamente, la ecuación de la biomasa contiene términos dependientes de la concentración de carbono, nitrógeno y su relación C/N. Debido a estas características, el modelo puede ser utilizado para dosificar la entrada continua de nutrientes con el objetivo de preservar las condiciones biogeoquímicas de los suelos.

- **Nitrógeno**

Por lo que respecta al nitrógeno contenido en los efluentes del ganado, VAN FAASSEN y VAN DIJK (1987) establece tres fracciones:

a) Nitrógeno inorgánico (amonio y accidentalmente nitratos) y nitrógeno rápidamente mineralizable (urea y ácido úrico).
b) Compuestos de nitrógeno orgánico fácilmente descomponibles con una baja relación C/N (proteínas y aminoácidos).
c) Materia orgánica mineralizable lentamente con elevada relación C/N (fibra compleja lignocelulósica).

La absorción por las plantas precisa una transformación previa hasta la forma de nitratos a través de los microorganismos del suelo; este proceso sólo se realiza en parte y el resto queda bloqueado en la materia orgánica, lo que contribuirá a aumentar el contenido de nitrógeno orgánico en el suelo y, a largo plazo, influirá positivamente sobre la nitrificación, MEEUS-VERDINNE Y DESTAIN (1993).

El nitrógeno amoniacal del estiércol licuado de porcino sufre una mayor y más rápida nitrificación (80% tras dos semanas de aplicarlo al suelo) que una sal amónica aplicada a igual dosis y misma concentración (55%), POMAR GOMÁ (1984).

Todos los organismos vivos utilizan el nitrógeno para sintetizar los aminoácidos (precursores de las proteínas) y los ácidos nucleicos (base de ADN y ARN). La mayor parte de las plantas absorben directamente el nitrógeno del suelo, bajo la forma de ión

amonio (NH_4^+) e ión nitrato (NO_3^-), a través de las paredes y las membranas celulares, etapa más importante en el control de la nutrición nitrogenada.

Una vez absorbido por las raíces, el ión nitrato es reservado y reducido hasta ión amonio en ellas; o bien exportado hacia las partes aéreas de la planta, en las cuales es reducido y metabolizado, o almacenado en las vacuolas de las células foliares. La reducción del ión nitrato está catalizada por las enzimas nitrato y nitratoreductasa. Por otra parte, el ión amonio es integrado a las moléculas orgánicas para dar lugar a glutamina y glutamato, cuyo nitrógeno es distribuido por transaminación a otros sustratos carbonados para formar nuevos aminoácidos, MOROT-GAUDRY (1998).

Tras la aplicación de estiércol licuado de porcino al suelo se produce una acumulación temporal de nitritos, principalmente en la zona superficial del suelo, debido a la elevada actividad biológica y demanda de oxígeno que origina el aporte, pudiéndose alcanzar concentraciones muy elevadas y tóxicas durante un corto intervalo de tiempo, POMAR GOMÁ (1984).

Es necesario estimar las proporciones de mineralización para asegurar suficiente nitrógeno que produzca un crecimiento óptimo de las plantas, y a la vez prevenir la contaminación de las aguas, relacionando la proporción de aplicación al suelo con el potencial de lixiviación del nitrógeno mineralizado, WRIGHT (1978).

Si se utiliza la capacidad del sistema suelo- planta en el cálculo de la proporción de aplicación, para recuperar el nitrógeno adicional, han de considerarse dos factores: en primer lugar, el contenido de nitrógeno asimilable, que dependerá de la cantidad presente en el suelo antes de adicionar el residuo y el liberado al suelo a partir del residuo (proporción de mineralización); en segundo lugar, el contenido de nitrógeno usado por el sistema, que dependerá de lo que utilice el cultivo y lo que se pierda por volatilización y desnitrificación, POWERS y col. (1975).

La aplicación de purines de ganado porcino, por su alto contenido en nitrógeno amoniacal, juega un papel importante en el equilibrio dinámico del ciclo del nitrógeno en el suelo, en los sistemas de agricultura intensiva. Una parte del de nitrógeno es incorporada al cultivo; el resto se pierde por volatilización, desnitrificación ó lixiviación de nitratos, o permanece en el suelo fijado a los minerales de arcilla como NH_4^+, o bien es incorporado a las sustancias húmicas, FLOWERS y O'CALLAGHAN (1983); CECCHERINI y col. (1998). En este sentido, la fertilización con estiércol de ganado porcino ejerce un efecto directo sobre la oxidación del NH_4^+ por las bacterias del suelo.

Las pérdidas gaseosas de nitrógeno por desnitrificación pueden producirse tras altas cantidades de aplicación de estiércol al suelo. Las condiciones más favorables a este proceso se dan cuando, tras la incorporación del estiércol, se suceden períodos de tiempo húmedos y temperaturas cálidas, GUENZI y col. (1978).

LAUDELOT y LAMBERT (1979), desarrollan un modelo para el tratamiento cuantitativo de la contaminación por nitrógeno tras la aplicación de estiércol al suelo, como consecuencia de los procesos a los que se ve sometido dicho elemento. El modelo incluye la descripción cuantitativa de la mineralización de la materia orgánica, la utilización del nitrógeno mineral, la nitrificación del nitrógeno amoniacal y los procesos

en la biomasa. De la combinación de resultados experimentales y simulación se deducen algunas consecuencias, como que la acumulación transitoria de nitrito está directamente relacionada con la temperatura de oxidación del amonio y que, a bajas temperaturas, la inmovilización del nitrógeno añadido ocurre más despacio, pero se inmoviliza más cantidad.

Mineralización del nitrógeno

La mayor parte de los estudios de mineralización del nitrógeno en el suelo se realizan por la necesidad de disponer de métodos rápidos y fáciles que permitan evaluar la disponibilidad de nitrógeno para las plantas, GOH (1983).

a) Métodos de incubación y de campo

Muchos autores han estudiado este fenómeno; la mayoría, a través de experiencias de incubación de suelos, bajo condiciones controladas de laboratorio, durante un corto período (1 a 6 semanas) o períodos más largos (30 semanas). El contenido de nitrógeno liberado (amoniacal, nítrico o ambos) se contrasta con respuestas de plantas en experimentos de invernadero o de campo, GOH (1983).

Los métodos de incubación en períodos cortos se realizan a temperaturas constantes (20, 30 o 40ºC) y en condiciones aerobias (2-6 semanas) o anaerobias (1 semana). Cuando la condiciones son anaerobias, solo se libera y se cuantifica el amonio, mientras que aeróbicamente se miden los contenidos de nitrato y amonio, GOH (1983).

Estos métodos intentan simular la acción de los microorganismos en la liberación de formas de nitrógeno del suelo asimilables por las plantas, pero las condiciones de incubación son muy diferentes a las del campo e invernadero; este corto período de incubación, no refleja el contenido de nitrógeno liberado durante el ciclo del cultivo y por tanto, sólo se mide una parte del nitrógeno mineralizable del suelo, GOH (1983)

En contraposición con lo anterior, BREMNER (1965), tras su experiencia con más de 30 procedimientos de incubación cortos, concluye que dichos procedimientos ofrecen una gran exactitud y reproducibilidad, pero los resultados obtenidos son extremadamente sensibles a las condiciones de preparación de muestras y de incubación; por tanto, es muy difícil su estandarización y control.

STANFORD y SMITH (1972); STANFORD y col. (1973); STANFORD y col. (1974); STANFORD y col. (1977), desarrollaron un método de medida del poder del suelo para suministrar nitrógeno a largo plazo. Las muestras de suelo se incuban en períodos superiores a 30 semanas, a 35ºC, en óptimas condiciones de humedad del suelo, con extracciones intermitentes con $CaCl_2$ 0,01 M y una solución nutriente exenta de nitrógeno. La cantidad de nitrógeno mineralizado en un tiempo dado es función de la temperatura, agua disponible, velocidad de reposición de oxígeno, pH, cantidad y naturaleza de los residuos vegetales y nivel de otros nutrientes. Se supone que el tamaño de la población microbiana, en sí mismo, no es un factor limitante, excepto quizás en ciertos suelos, durante el período inicial de incubación.

La estimación parte de la base de que la proporción de mineralización, bajo unas particulares condiciones medioambientales, es proporcional a la cantidad de nitrógeno en el sustrato mineralizable en el suelo. El término "potencial de mineralización" (N_o) es la cantidad de nitrógeno orgánico del suelo que es susceptible de mineralización en el instante inicial, de acuerdo con una cinética de primer orden:

$$\log(N_o - N_t) = \log N_o - (kt/2{,}303)$$

donde: N_o = potencial de mineralización (mg kg^{-1})
N_t = nitrógeno mineralizado durante un tiempo t (semanas)
k = constante de proporción de mineralización ($semanas^{-1}$)

Del valor de la pendiente k/2,303 puede estimarse la constante de proporción de mineralización k, para la que se obtuvo un valor medio de 0,054±0,009, lo que indica que a 35ºC la fracción de nitrógeno mineralizable es liberada con una proporción media del 5,4% por semana, basado en la cantidad de nitrógeno mineralizable sobrante después de cada sucesiva semana de incubación.

Según STANFORD y col. (1974), la medida de N_t puede realizarse utilizando un período de incubación más corto (2-4 semanas), a condición de que el nitrógeno liberado en las primeras dos semanas no se use en la estimación de N_o.

La medida de la capacidad de mineralización del suelo por incubación durante 2 semanas a 28ºC propuesta por STANFORD y col. (1973), basada en una cinética de primer orden y representada por la ecuación: $N_t = N_o (1 - e^{-kt})$, induce a pensar que el valor de N_t debiera ser proporcional a N_o y por tanto constante en unas determinadas condiciones. La falta de constancia en los resultados obtenidos por LEIRÓS y col. (1983) se atribuye a la interacción compleja entre varias fracciones de nitrógeno: N_m (nitrógeno mineral), N_p (nitrógeno mineralizado durante un ciclo de un año) y N_r (nitrógeno mineralizado tras un largo período de tiempo); para SLUJIJMANS y KOLENBRANDER (1977), N_p es prácticamente identificable con la forma N_o.

Aunque la inmediata disponibilidad del nitrógeno en el suelo es elevada cuando se utiliza un fertilizante mineral nitrogenado, la capacidad de mineralización es claramente superior en los suelos tratados con purín; esto significa que parte de estas cantidades de nitrógeno presentes en las fracciones N_p y N_r, pueden llegar a ser disponibles para las plantas a medio y largo plazo, LEIRÓS y col. (1983).

CHAE y TABATABAI (1986) estudiaron la mineralización del nitrógeno en suelos enmendados con materiales orgánicos. Los resultados obtenidos muestran que con los estiércoles animales se produjo una baja o nula mineralización durante el período inicial de incubación de 4 semanas, a partir del cual se observó un marcado incremento de la proporción de mineralización entre las semanas 4 y 12, y una estable y constante liberación de nitrógeno mineral entre la 12 y 26 semanas de incubación. Los datos obtenidos de la comparación con suelos que no recibieron aportación de estiércol no se ajustan al modelo propuesto por STANFORD y SMITH (1972) y en general, los valores obtenidos para la constante de proporción de mineralización K fueron superiores en los suelos enmendados. La mineralización en suelos tratados con estiércoles animales puede variar con la composición tanto del estiércol como del suelo que lo recibe.

Los resultados del estudio de mineralización por incubación a 28ºC, realizado por ESTEBAN TURZO y col. (1987), sobre purines de porcino frescos y digeridos anaerobiamente adicionados a un suelo limo arcilloso, reflejan una volatilización del amonio durante las primeras cuatro semanas, correspondiendo la mayor proporción al purín no tratado, siendo además la única forma inorgánica de nitrógeno del suelo durante las dos primeras semanas, momento en que comenzó a aparecer la forma nitrito, mientras que los nitratos aparecieron a los 30 días. La mineralización finaliza en 14 semanas; en este momento se alcanzaron los valores máximos de nitratos en el suelo.

HASSEN y col. (1998) evaluaron la asimilabilidad del nitrógeno mineral en suelos franco arcillosos enmendados con diferentes materiales orgánicos y el efecto que, sobre la mineralización, pueden ejercer los contenidos adicionales de metales (Cu, Zn y Cd). Observaron que el proceso de mineralización abarca dos períodos principales:

- El primero de ellos, con una duración de ocho semanas, se caracteriza por la adaptación microbiana hacia un nuevo ambiente de suelo enmendado y está marcada por períodos de consumo-inmovilización de nitrógeno.
- En el segundo período, entre las semanas 8 y 16, se producen cinéticas activas de mineralización e intensa actividad microbiana.

Los resultados más destacables de este estudio son los siguientes:

- Los valores de nitrógeno potencialmente mineralizable (N_o), obtenidos por ajuste de un modelo de acumulación de nitrógeno mineralizado en un tiempo t, fueron inversamente proporcionales a la cte de proporción de mineralización (K).
- La presencia de metales provoca una reducción de No mediante el incremento de la proporción de mineralización K.
- El efecto inhibidor de la mineralización a causa de los metales añadidos se debe a la influencia que ejercen dichos metales sobre los microorganismos, por bloqueo de grupos funcionales esenciales, o por desplazamiento de iones metálicos o por modificación de la conformación de moléculas biológicas. Este efecto fue mayor para el Cd seguido de Cu y Zn.

DHULL y col. (1998) estudiaron la mineralización del nitrógeno para diferentes materiales orgánicos en tres tipos de suelos, observando, en todos los casos, un aumento de la acumulación de nitrógeno mineralizado con el incremento del período de incubación. Los modelos de mineralización siguieron cinéticas de primer orden, obteniendo resultados variables para No dependiendo del material orgánico añadido y el tipo de suelo. Por otra parte, los valores para la constante de proporcionalidad k fueron siempre superiores en suelos tratados con materiales orgánicos que en suelos no tratados. Para el estiércol de granja, los valores de N_o y K obtenidos según el tipo de suelo son:

Tipo de suelo	N_o (mg kg^{-1})	k (semana^{-1})
Franco-Arcilloso	45,1	0,315
Franco-Arenoso	46,9	0,382
Arenoso-Franco	31,5	0,297

Debido a la menor naturaleza empírica de N_o, algunos autores han ensayado su utilización para aplicarlo en condiciones de campo e invernadero. Para ajustar los

valores de N_o, SMITH y col. (1977) y HERLIHY (1979) han utilizado relaciones entre N_o y cambios de temperatura y mezcla.

Las experiencias en invernadero muestran que la absorción de nitrógeno por las plantas suministra una mejor estimación de asimilabilidad de nitrógeno que la respuesta del cultivo en cuanto a producción se refiere, GOH (1983).

Por lo que respecta a las experiencias de campo, la predicción de requerimientos de los cultivos, según su respuesta en la producción, se realiza considerando los efectos residuales de los cultivos anteriores, el nitrógeno mineral al comienzo del crecimiento de la planta, el nitrógeno mineralizable y parámetros climáticos (temperatura, humedad y mezcla del suelo), GOH (1983). La utilización del análisis de planta para estos fines no es muy recomendable debido a la complejidad o ausencia de correlaciones entre el contenido de nitratos en la planta y el suministro de nitrógeno del suelo.

JONES (1984) describe un método mediante el cual los resultados de STANFORD y SMITH (1972) se reanalizaron para obtener estimaciones de una rápida mineralización de nitrógeno, responsable de la inicial elevación de la mineralización (N_1), una más lenta mineralización (N_2) y una constante de proporción de primer orden (k_2) que describe la mineralización de N_2 bajo condiciones, casi ideales, de temperatura y mezcla. Las ecuaciones de regresión múltiple obtenidas suministran una media de estimación de N_2 y k_2 para una extensa variedad de suelos cultivados.

CALVO DE ANTA y DÍAZ-FIERROS (1982) estudiaron la mineralización en suelos forestales teniendo en cuenta las variaciones ambientales introducidas por las especies vegetales desarrolladas en ellos. Obtuvieron valores para No de 0,08 % (1420 kg ha^{-1}) y 0,05 % (1217 kg ha^{-1}) del nitrógeno total, cuando las especies presentes son roble y pino respectivamente. Como las pérdidas en forma gaseosa son mínimas y el contenido en nitrógeno del suelo es prácticamente constante, en ambos casos tiene lugar un proceso continuo de inmovilización por acumulación de 22 kg ha^{-1} de nitrógeno en pino y de 18 kg ha^{-1} en roble. La eficiencia total observada es del 71 % y 12 % respectivamente.

GRIFFIN y LAINE (1983) realizaron incubaciones a largo plazo con suelos enmendados con diversos materiales orgánicos. La mezcla de suelo y los datos de temperatura del suelo en cada lugar, permitieron ajustar los valores de la constante de mineralización k y realizar, con N_o y N mineral inicial, estimaciones de nitrógeno asimilable por el cultivo. La producción y la absorción de nitrógeno por parte del cultivo (*Zea Mays L.*), se correlacionaron bien con el parámetro N_o k; sin embargo, la utilización de N_o exclusivamente, dio lugar a pobres predicciones de la producción y del nitrógeno absorbido. Asimismo, si se considera un simple valor de k para todos los suelos, se obtienen también pobres correlaciones; esto evidencia que los valores de k son diferentes para suelos distintos y que estos valores deben ser considerados para obtener estimaciones seguras de la asimilabilidad de nitrógeno.

FLOWERS y O'CALLAGHAN (1983) estudiaron el efecto de la temperatura, los contenidos de mezcla y de adición de purín de porcino sobre la nitrificación en el suelo. No se produjo acumulación de nitritos bajo condiciones de incubación y la acumulación de nitratos no mostró un período de retraso, siendo lineal hasta que el suministro de NH_4^+ se agotó, lo que sugiere que la población de nitrificantes no se

incrementó y que la nitrificación no se vió afectada por la disminución de pH durante la incubación. WILLERS y col. (1998) observaron que la máxima nitrificación del purín de ganado porcino digerido se produce entre 35 y 40ºC, siendo prácticamente nula a partir de 45ºC.

DEANS y col. (1986) realizaron una comparación entre las ecuaciones exponenciales simple $N_t = N_o (1 - e^{-kt})$ y doble $N_t = N_o S (1 - e^{-kt}) + N_o (1 - S) (1 - e^{-kt})$, utilizadas para determinar el potencial de mineralización del suelo, donde N_t es el nitrógeno mineralizado en un tiempo t, N_o es el nitrógeno potencialmente mineralizable y S y (1 – S) son las fracciones de compuestos nitrogenados lábiles y recalcitrantes descompuestas en proporciones específicas h y k, respectivamente.

Estos autores concluyeron que la ecuación exponencial simple aporta una sistemática subestimación de No y una sobreestimación de k; por el contrario, la exponencial doble suministra el mejor ajuste de la curva de mineralización de N-tiempo (N_t/t), en largos y cortos períodos de incubación, apoyando la hipótesis de que al menos hay dos grupos de nitrógeno orgánico que contribuyen al N_t en las experiencias de incubación.

Los parámetros cinéticos derivados del modelo de doble exponencial obtenidos por DINESH y DUBEY (1999), indican que los suelos enmendados con estiércol orgánico poseen mayor potencial de mineralización y constantes de proporción que los suelos no enmendados. Los valores estimados para N_o fueron superiores a los acumulativos, y por tanto, parte del nitrógeno orgánico permaneció en el suelo tras las 36 semanas de incubación.

KIRCHMANN (1991) determinó la mineralización del estiércol en el suelo por diferencia entre el contenido de nitrógeno inorgánico (NH_4^++NO_3^-+NO_2^-), mineralizado en el suelo (control), y el contenido de nitrógeno inorgánico total mineralizado en la mezcla suelo-estiércol. Tanto el estiércol de porcino como el de vacuno responden a cinéticas lineales de inmovilización y mineralización. La mineralización, expresada como un porcentaje del contenido de nitrógeno total del estiércol inicialmente añadido, fue muy baja para el estiércol de cerdo (9% tras 2 meses de incubación).

La toma de muestras del suelo en otoño aporta una información importante sobre la dinámica del nitrógeno en el suelo. El laboreo del suelo después de la cosecha intensifica la mineralización del nitrógeno e incrementa el nitrógeno mineral, puesto que no se produce absorción. Por otra parte, la inmovilización del nitrógeno y posterior absorción por las plantas, estabilizan esta disminución de nitrógeno mineral. Estos procesos y el contenido de nitrógeno mineral resultante están fuertemente influenciados por la climatología, especialmente la temperatura y la humedad del suelo.

SIELING y col. (1999) aplicaron purines de ganado porcino al suelo durante otoño-invierno para estudiar la evolución del nitrógeno mineral en el suelo y, por tanto, la mineralización neta de nitrógeno. Utilizando una rotación de cultivos con diferentes sistemas de manejo, la mineralización neta de nitrógeno varió con el tipo de cultivo y se estimó como el contenido en nitrógeno mineral después de la siembra, menos el existente al comienzo del cultivo en primavera, más el absorbido por el cultivo al comienzo del crecimiento en primavera, más el nitrógeno lixiviado en invierno.

Con respecto a las variaciones observadas con los distintos cultivos, se mineralizaron 39 kg N ha^{-1} con la semilla de colza y 42 kg N ha^{-1} en el trigo, comparado con 31 kg N ha^{-1}en la cebada. De cualquier modo, se observaron altas variaciones entre los años experimentados y la aplicación de purín de ganado porcino condujo a diferentes contenidos de nitrógeno mineralizado. En la cebada se obtuvieron sólo 25 kg N ha^{-1} en las aplicaciones de otoño y sin embargo 42 kg N ha^{-1} en las de primavera. En contraste, con la semilla de colza el mayor valor se obtuvo con la aplicación de otoño (41 kg N ha^{-1}) y con el trigo, la aplicación de purín solo afectó levemente a la mineralización del nitrógeno. El incremento de fertilización nitrogenada mineral, disminuyó el nitrógeno liberado en la colza pero aumentó significativamente en los cereales. Por último, se observó que la aplicación de fungicidas no afectó a la mineralización del nitrógeno durante el invierno.

El modelo propuesto por VELTHOF y col. (1999), tiene en cuenta que los purines animales contienen ácidos grasos volátiles que pueden volatilizarse o descomponerse al cabo de varios días de su aplicación al suelo. Los contenidos de estos ácidos, corrigiendo la materia orgánica presente, permite una mejor caracterización del nitrógeno orgánico y de la mineralización del nitrógeno. Esta estimación aporta valores más altos para purines aplicados en primavera, pero más bajos en estiércoles animales en comparación con el método ordinario.

b) Métodos de extracción química

Algunos autores han desarrollado métodos químicos rápidos de extracción del nitrógeno orgánico, que se correlacionan bien con el nitrógeno mineralizable; de esta forma obtienen índices de asimilabilidad del nitrógeno del suelo, BREMNER (1965).

El contenido de nitrógeno extraído por cada extractante varía de acuerdo con la naturaleza del agente y de las condiciones de extracción utilizadas, sobre todo temperatura y tiempo, GOH (1983). Sin embargo, es muy difícil encontrar un agente químico capaz de simular actividades microbianas en la liberación del nitrógeno del suelo, o extraer selectivamente la fracción de nitrógeno orgánico del suelo susceptible de ser asimilable por las plantas a través de los microorganismos.

SMITH y STANFORD (1971) utilizaron un procedimiento de extracción con $CaCl_2$ 0,01M en autoclave, durante 16 horas a 121ºC, para producir la hidrólisis del nitrógeno orgánico del suelo y liberarlo como NH_4^+. Sin embargo, en un trabajo posterior, STANFORD y SMITH (1976) indican que este método no permite la estimación de N_o con una razonable confianza. Para suelos cultivados de regiones húmedas o subhúmedas, la expresión $N_o = 4{,}1\ N_i$, sirve de buena aproximación para estimar N_0; sin embargo no puede extenderse a suelos calcáreos.

STANFORD y SMITH (1978) investigaron un método para determinar el potencial de nitrógeno mineralizable en el suelo N_0 a través del NH_4^+ liberado por extracción oxidativa de la materia orgánica del suelo con permanganato ácido. Las correlaciones obtenidas para los distintos tipos de suelos ensayados (incluidos los calcáreos), $N_o = 2{,}06\ NH_4^+ + 1{,}63$ ($r^2 = 0{,}81$), permitirían su utilización en ensayos de rutina. Sin embargo, la utilización posterior de permanganato alcalino para la liberación

hidrolítica y oxidativa del NH_4^+ a partir de la materia orgánica del suelo, STANFORD (1978), no permitió mejores predicciones de $N_o = 1{,}15\ NH_4^+ + 17{,}6$ ($r^2 = 0{,}62$), como tampoco mejoró respecto a la predicción de N_o a través del contenido total de nitrógeno orgánico en el suelo ($r^2 = 0{,}62$).

En un estudio posterior, CASTELLANOS y PRATT (1981) propusieron como índice de nitrógeno asimilable el extraído mediante la digestión con pepsina, encontrando una alta correlación entre el nitrógeno asimilable y el carbono liberado como CO_2 durante la incubación. Las ecuaciones de predicción de la proporción de mineralización de nitrógeno (Y) en estiércoles de ganado porcino, obtenidas por el autor utilizando índices químicos (extracción con pepsina) y biológicos son:

I. $Y = 8{,}025 + 0{,}725\ X_1$ ($r^2 = 0{,}804$)

II. $Y = -16{,}660 + 0{,}714\ X_2 + 1{,}050\ X_3 + 2{,}534\ X_4$ ($r^2 = 0{,}994$)

III. $Y = -9{,}675 + 0{,}758\ X_3 + 2{,}018\ X_4 + 0{,}747\ X_5 + 0{,}087\ X_6$ ($r^2 = 0{,}999$)

X_1 = porcentaje de N extraído con pepsina .
X_2 = porcentaje de C liberado como CO_2 durante la primera semana de incubación.
X_3 = porcentaje de N mineralizado durante la primera semana de incubación.
X_4 = Relación C/N.
X_5 = porcentaje de N mineralizado tras 10 semanas de incubación
X_6 = NH_4^+ liberado con permanganato ácido (mg kg^{-1} 10^2)

En un intento de relacionar el contenido de nitrógeno mineralizable en el suelo con las medidas de su asimilabilidad obtenidas por procedimientos de degradación hidrolítica, GONZÁLEZ PRIETO y col. (1984) afirman que el nitrógeno extraído en la primera etapa de hidrólisis débil (45% del nitrógeno total en los purines densos y 75-90% en los ligeros), puede ser considerado como una medida del nitrógeno asimilable por el cultivo durante el mes siguiente a la aplicación del purín. El nitrógeno extraído en la segunda etapa de hidrólisis (30% del nitrógeno total en purines densos y 5-15% en los ligeros) puede ser identificado con el nitrógeno que, al cabo de 1-2 años, llega a ser asimilable en el suelo. Finalmente, el 13-17% del nitrógeno total de los purines densos y el 3-6% de los ligeros será asimilable al cabo de 5-6 años. El nitrógeno no hidrolizable (3-13% del nitrógeno total) forma parte del residuo no hidrolizable con una alta relación C/N y gran resistencia a la mineralización.

En estudios del ciclo del nitrógeno en suelos de pasto, se hace énfasis en la medida de entradas de nitrógeno como fertilizante, fijación biológica, excreta, atmósfera y material vegetal, y salidas de nitrógeno por eliminación en productos animales, material vegetal cosechable y pérdidas hacia el agua o la atmósfera. La proporción a la cual el nitrógeno es mineralizado de la materia orgánica, varía con el período del cultivo, tipo de suelo y manejo, y será balanceado con una variable que describa el proceso de inmovilización. En suelos de pasto esto es particularmente difícil de cuantificar, debido a la existencia de un equilibrio no muy definido de mineralización e inmovilización que se ve alterado con el tiempo, HATCH y col. (1991).

Experiencias de medida de mineralización neta de nitrógeno, utilizando un método de incubación durante 180 días (períodos de 14 días), añadiendo acetileno a la mezcla para inhibir la nitrificación del suelo y preveer pérdidas de nitrógeno por desnitrificación, muestran que la estimación de un índice de nitrógeno potencialmente

mineralizable en el suelo al comienzo del crecimiento del pasto (extracción con KCl 1M y medida en el extracto del nitrógeno inorgánico), resultó ser inferior en un 50% al obtenido por incubación de las muestras. Las proporciones de mineralización varían significativamente con las fluctuaciones de la temperatura del suelo, pero el método de incubación resultó ser menos sensible respecto a los cambios del contenido de agua del suelo; no obstante suministra un método rápido y conveniente para valorar la contribución de este proceso sobre el balance de nitrógeno en suelos de pasto. HOOK y BURKE (1995) estudian métodos de incubación para estimar la mineralización neta de nitrógeno en suelos de pasto semiáridos.

WHITEHEAD (1981) contrastó 9 métodos de extracción química para predecir el suministro de nitrógeno en 21 suelos por comparación con el nitrógeno absorbido por la planta (raygrass perenne), bajo condiciones de invernadero, obteniendo que la mejor predicción se correspondía con el tratamiento del suelo en caliente con KCl 1M seguida de la determinación de nitrógeno mineral liberado (NH_4^++NO_3^-).

BHAT y col. (1979) estudiaron un modelo de simulación para prevenir las transformaciones en el suelo del nitrógeno aplicado por los efluentes ganaderos, en respuesta a las variaciones del suelo y factores climáticos. A corto plazo el modelo debería basarse en las transformaciones del nitrógeno en el suelo, mientras que a largo plazo debería tener en cuenta otros elementos que tienden a acumularse en el suelo y que, por tanto, limitarían las aplicaciones anuales. Se intenta encontrar la forma en que la planta asimila formas de nitrógeno acumulado en el suelo o desaparecido de él, en respuesta a variaciones en el clima (temperatura y precipitaciones, agua y nutrientes demandados por el cultivo y pérdidas por lixiviación).

Los trabajos actuales de investigación sobre la liberación de nitrógeno de los fertilizantes orgánicos, intentan construir modelos a partir de ciclos acoplados de nitrógeno y carbono en el suelo, para predecir el efecto de los aportes orgánicos en términos de nitrógeno mineralizado y/o humus formado, ROBIN y BIRLING (1998).

- **Fósforo**

Aportes excesivos de purines de ganado porcino pueden provocar saturación del suelo y producir un movimiento de los fosfatos hacia las aguas tanto superficiales como subterráneas, causando eutrofización, VAN DER ZEE (1988).

VETTER y STEFFENS (1979) concluyeron en sus experiencias que, mientras que ninguno de los procesos en el campo dió lugar a altas concentraciones de fósforo en las aguas superficiales, el vertido de 90 m^3 ha^{-1} de estiércol licuado de porcino durante cuatro años provocó un incremento considerable de los contenidos de fósforo en el suelo a distintas profundidades, con valores medios, expresados como mg P.100 g^{-1} de suelo, de 5,5 (0-30 cm), 7,5 (30-60 cm) y 1 (60-90 cm). Además, los suelos que han sido tratados con altas cantidades de estiércol licuado de porcino durante años, han sufrido enriquecimientos como los reflejado en la tabla RB51.

Tabla RB51: Incrementos de P_2O_5 en el suelo por aplicación de 2200 $m^3.ha^{-1}$ de estiércol licuado de porcino (ELP) durante 22 años, VETTER y STEFFENS (1979).

Profundidad	**mg P_2O_5. 100 g^{-1} suelo**		
	Sin ELP	Con ELP	Incremento

0-30 cm	17	74	47
30-60 cm	5	22	17
60-90 cm	20	5	2

GIL SOTRES y col. (1983), en su estudio sobre la dinámica en el suelo del purín de vacuno, obtienen que la adición al suelo del purín afecta a los procesos dinámicos, produciendo un considerable incremento en el nivel de fósforo de la disolución del suelo. Aunque este incremento en el parámetro intensidad debería dar lugar a una mayor absorción por el cultivo y, en consecuencia, elevar la producción, esto no ocurre y, por tanto, los procesos de inmovilización del fósforo inorgánico en el suelo en su conjunto no se ven afectados por la adición de purín.

Durante el año de aplicación del ELP, el nitrógeno limita la cantidad a verter sin perjuicio para la calidad del agua. Después de aplicaciones continuadas, el nitrógeno lixiviado y el fosfato enriquecen las capas profundas del suelo, DAM KOFOED y NEMMING (1979); SPALLACCI y BOSCHI (1979); VETTER y STEFFENS (1979). Las concentraciones de nitrógeno en el agua de suelos pesados son similares y, en ocasiones, un poco mayores que en suelos arenosos, pero la cantidad de nitrógeno lixiviado de los suelos pesados es generalmente menor que la de suelos arenosos, debido a la menor cantidad de agua, WARMAN (1986). Por otra parte, más cantidad de fósforo se moviliza en las capas internas de suelos arenosos que en suelos pesados, VETTER y STEFFENS (1979); SPALLACCI y BOSCHI (1979).

- **Potasio**

El potasio del estiércol líquido de porcino se encuentra, sobre todo, en la fracción líquida, en forma inorgánica, LECOMTE (1979), GEYPENS y col. (1992); MEEUS-VERDINNE y DESTAIN (1993). Aquella parte que no sea asimilada por las plantas o absorbida por los coloides del suelo puede ser lixiviada, lo cual se agravaría aún más en suelos de textura arenosa.

El mayor enriquecimiento del suelo en metales, encontrado por CALVO y col. (1999), correspondió al potasio (1,66 ppm y 7,94 tras 6 y 9 riegos respectivamente). La proporción de acumulación de sodio y magnesio también fue elevada debido a su alta concentración en el purín.

Además, estos autores proponen un modelo matemático para correlacionar la concentración de metales en el suelo con el número de riegos aplicados, dado por la expresión: concentración del metal = ß * exp (Ω w) , donde ß es la concentración inicial del metal para un número de riegos igual a cero, Ω es un factor acumulativo que engloba la riqueza en metales del purín y la capacidad de cada metal para fijarse en el suelo, y w es el número de riegos aplicados. Este modelo presenta un alto grado de precisión para todos los metales estudiados.

- **Boro**

En cuanto al boro, a pesar de ser un elemento indispensable para las plantas, puede volverse tóxico a partir de una concentración en el suelo de 5 ppm de boro soluble, REISENAUER y col. (1973). Este valor apenas se alcanza con los vertidos de

estiércol líquido, salvo quizás en suelos muy ácidos donde la solubilidad del boro puede ser muy alta.

Suelen ser más frecuentes los casos de carencia de boro, lo cual se debe más a la baja disponibilidad por causa del pH, que al contenido total en el suelo. Por el contrario, la mineralización de la materia orgánica pone al boro a disposición de las plantas, y por tanto, el aporte de boro por los desechos animales suele ser beneficioso, MEEUS-VERDINNE Y DESTAIN (1993), aunque en los suelos con gran contenido en materia orgánica a veces se observa un bloqueo de este elemento, SCOKART y col. (1984).

- **Cobre**

La asimilabilidad de metales pesados por las plantas no sólo depende de las concentraciones en los suelos, sino que otras condiciones edáficas, como pH y niveles de carbono orgánico del suelo, pueden afectar, CHEUNG y WONG (1983).

Las sales metálicas tienen, por su naturaleza, una elevada toxicidad que a largo plazo, además de producir un deterioro del suelo, podría afectar a los microorganismos presentes, a las plantas y a sus consumidores. De entre los metales aportados por el estiércol licuado, el hierro, manganeso, cobre y cinc son esenciales para el desarrollo de las plantas. Como ya se comentó anteriormente, el cobre y el cinc se añaden como factores de crecimiento a la dieta alimenticia del animal y son asimilados en pequeña proporción, por lo que aparecen en cantidades importantes en las deyecciones del animal, PRIEM y MATON (1979); MEEUS-VERDINNE y DESTAIN (1993).

Según VETTER (1979), el enriquecimiento del suelo en fósforo y cobre, después de aplicaciones continuadas durante cuatro años de 90 m^3 ha^{-1} de purín de ganado porcino, puede alcanzar niveles críticos.

El nivel de suplementación de cobre en la alimentación del cerdo, aporta al purín contenidos de 700 ppm de cobre expresadas sobre materia seca. El incremento del nivel de cobre en planta en diversas especies de pastos, a los que se ha aplicado purín, puede variar entre 1,2 y 9,6 ppm, McGRATH y col. (1979); los valores más elevados aparecen al final de la temporada de pasto. Las aplicaciones anuales de 115 m^3 ha^{-1} de purín, repartidas en tres porciones, ocasionaron el valor más alto del contenido de cobre en planta con variaciones entre 4 y 100 ppm, KELLY y COLLINS (1982).

La absorción de cobre por la planta estuvo influida por la proporción de aplicación del purín, la longitud de la hierba en el momento de la aplicación, el intervalo de tiempo entre la aplicación y el muestreo y el modelo de precipitación. El estudio continuó sobre aplicaciones de purín de 20 m^3 ha^{-1} anuales en tres veces. Se controló la captación de cobre por el hígado de las ovejas, no llegando en un año a valores potencialmente tóxicos.

McGRATH y col. (1979) alertaron del peligro de la aplicación al pasto de estiércoles líquidos de ganado porcino ricos en cobre (700 ppm en MS), ya que el cobre añadido se distribuye entre la hierba, la materia orgánica, la supericie del suelo y el suelo en general. La magnitud del riesgo de acumulación de cobre en animales susceptibles dependerá del tipo de animal, situación anterior del cobre y su interacción

con otros nutrientes y con el suelo, y factores de manejo, incluyendo la extensión de exposición de animales al cobre del purín.

POOLE y McGRATH (1980), estudiaron la captación de cobre por ovejas, pastando durante 15 semanas, en pastos que habían recibido purín (0, 200, 400, 1000 m^3 ha^{-1}) durante los tres años anteriores. El análisis de cobre se realizó sobre muestras de hígado obtenidas por biopsia antes de la experimentación y posteriormente a la matanza. El contenido en cobre en la hierba osciló entre 10 y 13 ppm y, aunque los niveles de cobre fecal fueron superiores a los más altos de aplicación del purín, los diferentes tratamientos no fueron significativos; los valores medios oscilaron entre 21 y 25 ppm.

Los valores de cobre en el hígado aumentaron en el rango de 160 a 220 ppm durante el experimento; no se produjo ningún efecto significativo en el tratamiento, puesto que el mayor incremento ocurrió con la aplicación cero de purín. A pesar de tener suelos con valores de cobre superiores a 100 ppm en las zonas donde se aplicó mas purín, el contenido de cobre, tanto en planta como fecal, no excedió los niveles de control, y los valores de cobre en hígado no fueron elevados.

LEXMOND y DE HAAN (1979) estudiaron los efectos de diversas concentraciones de cobre, añadidos como sulfato y nitrato, sobre los suelos y el crecimiento de los cultivos (maíz). La materia orgánica del suelo fue la principal responsable de la absorción de cobre, observándose además, por una parte, un aumento del efecto tóxico, a causa de las altas concentraciones de cobre a valores altos de pH, y por otra, una disminución con altos contenidos de fósforo asimilable.

En experiencias realizadas en suelos de regiones con cría intensiva de ganado porcino donde se han efectuado aportaciones masivas de purín, MEEUS-VERDINNE y col. (1986), se comprueba un enriquecimiento de cobre debido a su combinación con la arcilla y la materia orgánica del suelo (las pérdidas son menores del 1% del cobre aportado); también se comprueba que la fracción asimilable de cobre aumenta respecto a los suelos que solo se estercolan ocasionalmente.

La alta concentración de cobre en los pastos puede ser tóxica para algunos animales sensibles a estos contenidos, especialmente en el caso de bovinos. Los riesgos de fitotoxicidad por cobre dependen del pH del suelo: si a un pH de 6,5 prácticamente todas las plantas pueden tolerar 70 ppm de cobre intercambiable, UNWIN (1980), en suelos arenosos con un pH inferior a 5, se ha comprobado fitotoxicidad a partir de 20 a 25 ppm de cobre intercambiable, DELAS (1963).

Es de destacar que la mayor parte de las parcelas analizadas en la experiencia de MEEUS-VERDINNE Y DESTAIN (1993), poseen contenidos de cobre inferiores al máximo admisible por la CEE para los lodos procedentes de depuración (50 ppm), algunas sobrepasan ligeramente este límite y sólo una mínima parte presenta contenidos significativamente superiores. Por tanto, el riesgo de enriquecimiento excesivo de cobre de los suelos a causa de aplicaciones de purines es limitado, tanto más como que se han restringido estos aportes en la alimentación.

VETTER y STEFFENS (1979) obtuvieron notables incrementos de cobre y cinc en la capa superficial del suelo, después de la aplicación de 90 m^3 ha^{-1} de estiércoles líquidos de porcino durante cuatro años.

Finalmente, es necesario destacar que algunas bacterias del suelo son poco resistentes a elevados contenidos de cobre en la capa arable, BROOKES y McGRATH (1984), puesto que podrían disminuir las funciones metabólicas microbianas, DUXBURY y BICKNELL (1983) y se verían afectados, por tanto, procesos tan importantes como la fijación de nitrógeno por las cianobacterias o a la descomposición del ácido glutámico, VAN STAPPEN y col. (1990). Por otra parte, FLOWERS y O'CALLAGHAN (1983) no encontraron evidencias de que las concentraciones de cobre y cinc, presentes en el purín de ganado porcino aplicado al suelo, tuvieran un efecto inhibidor de la nitrificación.

- **Cinc**

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

MEEUS-VERDINNE y col. (1986) encuentran que el contenido total de cinc en los suelos sigue siendo normal, oscilando entre 40 y 100 ppm, valor que se explica por la gran movilidad de este elemento; las cosechas lo absorben hasta tal punto que se pierde menos de un 15%.

La mineralización de la materia orgánica provoca la movilización del cinc, de manera que únicamente encontraremos contenidos más elevados de cinc en suelos que han recibido aportes recientes de materia orgánica; y aunque puede aumentar la posibilidad de asimilación por las plantas, no se llega a niveles fitotóxicos, MEEUS-VERDINNE Y DESTAIN (1993). Sin embargo, CALVO y col. (1999), tras sus experiencias en suelos regados con purín de ganado porcino, encontraron resultados algo dispares a los anteriores puesto que tras seis riegos, la concentración de cinc alcanzada fue de 79 ppm.

Por otra parte, desde la introducción de variedades de cultivos altamente productivas, la aplicación de micronutrientes, particularmente el cinc, ha dado una respuesta positiva. De todas las fuentes de cinc, el $ZnSO_4$ aparece como la más efectiva para la mayor parte de los cultivos, pero su coste está creciendo, en vista de lo cual, existe la necesidad de encontrarle sustitutos a bajo precio, o bien de reducir las dosis de cinc mediante el incremento de su eficiencia. Este último efecto lo realizan los estiércoles orgánicos al actuar como agentes quelantes, GUPTA y col. (1992). En efecto, aplicaciones 10 t ha^{-1} de estiércol de porcino son tan efectivas como 5 ppm de cinc aplicados como $ZnSO_4$ exclusivamente. El complejo Zn-humato es una menor fuente de cinc para el primer cultivo, pero aporta la mejor respuesta en el segundo cultivo si se compara con el $ZnSO_4$.

- **Otros metales**

Respecto al resto de metales no esenciales para las plantas tales como plomo, cadmio, mercurio, arsénico y selenio, los aportes realizados al suelo a través de los desechos animales son tan pequeños que no representan ningún riesgo. Los suelos contaminados por estos elementos se dan más por las proximidades de zonas industriales que por vertidos de desechos animales (informe de la CEE, 1980). En

ocasiones algunos de ellos aparecen en altas concentraciones debido a su uso como desinfectantes en el establo, MEEUS-VERDINNE y col. (1979).

Tabla RB52: Composición media en metales del estiércol líquido de porcino, MEEUS-VERDINNE y col. (1979).

Variable	Nº muestras	Valor medio	Valor mínimo	Valor máximo	Coef. variación (%)
Materia Seca	132	7,1	1,1	17,6	60
PH	96	7,1	6,4	8,1	5,9
Cu (ppm)	132	574	48	996	28
Zn (ppm)	132	919	180	1686	34
As (ppm)	9	2,3	0,7	5	71
Se (ppm)	17	0,8	0,4	1,3	33,3
Cd (ppm)	10	0,6	0,3	0,8	30
Hg (ppb)	99	100	9	138	147

De la composición media de la tabla RB52, pueden calcularse los contenidos de cobre y cinc que podrían encontrarse en la capa superficial del suelo en una aplicación normal. Un vertido de 100 m^3 ha^{-1} de estiércol líquido daría lugar, en los 30 cm superiores del suelo, a contenidos de cobre y cinc de 1,5 y 2,5 ppm respectivamente.

Si se analizan los elementos extraíbles con NH_4Ac-EDTA (fracción asimilable por la planta), los contenidos aumentan conforme lo hacen los vertidos, de forma que con cantidades de 100 m^3 ha^{-1} se produce un aumento significativo de estos metales, por una parte en el suelo, variable entre 35-80%, y por otra en el cultivo (paja de trigo), entre 30 y 50 %, incrementos más fuertemente marcados en suelos ligeros (40-90 % en el grano de trigo y en la cebada de invierno). Además de la cantidad de estiércol líquido vertida, influyen otros factores como el momento de la aplicación y las condiciones climáticas, MEEUS-VERDINNE y col. (1979).

Los incrementos en los cultivos obtenidos en la experiencia anterior, están muy lejos de alcanzar concentraciones tóxicas ya que, al cabo de un año, tanto el agua recogida en lisímetros como el suelo tomaron únicamente entre 2 y 10 % del cobre y cinc aplicados, quedándose en el suelo más del 90% del cobre y más del 80% del cinc; este hecho, en un futuro, podría plantear problemas de acumulación.

Una visión vista a largo plazo implica realizar pruebas que permitan, por una parte, cuantificar las desventajas de altas aplicaciones de estiércol líquido de porcino para el crecimiento de las plantas y la eutrofización de las aguas, y por otra, especificar las cantidades a verter sin peligro para la fertilidad del suelo y la calidad de las aguas, VETTER y STEFFENS (1979). Sin embargo los resultados indican que grandes vertidos realizados durante años, enriquecen las aguas en fosfatos y, en cobre y cinc los suelos, pudiendo alcanzar valores tóxicos para las plantas. Por ello, estos autores consideran suficientes, para satisfacer las necesidades de las plantas y la protección del medio ambiente, los vertidos en primavera de 30 m^3 ha^{-1} de estiércol líquido de porcino, que se corresponden con 180-200 Kg N ha^{-1}, 130-150 Kg P ha^{-1} y 1,2-1,5 Kg Cu ha^{-1}.

Para aconsejar a los granjeros sobre las cantidades de purín y estiércol que deberían verterse a los campos, el servicio de extensión agraria en Alemania ha editado un pequeño folleto titulado “Producción Animal- Ecológicamente Beneficiosa”, donde se establecen las siguientes cantidades, STRAUCH (1982b):

- Pradera y tierras arables:
  40 – 80 m^3 de purín de vacuno con 7,5 % de materia seca.
  35 – 45 m^3 de purín de ganado porcino con 7,5 % de materia seca.
  15 – 25 m^3 de purín de pollos con 15 % de materia seca.
  50 – 60 dt de estiércol de pollo seco con 80 % de materia seca.

- Pastos:
  15 – 22 m^3 de purín de vacuno con 7,5 % de materia seca.
  15 – 22 m^3 de purín de ganado porcino con 7,5 % de materia seca.

En el documento mencionado también se establece que, dependiendo del contenido en materia seca del purín, los valores máximos por hectárea varían; por ello es preferible limitar el número de animales por hectárea de manera que su purín, bajo condiciones normales, permita lograr un abonado seguro (si se produce estiércol seco, el número de animales puede aumentarse el 50 %):

- 3 unidades de ganado vacuno mayor.
- 18 plazas de ganado porcino de engorde o 42 cerdos de engorde por año.
- 300 gallinas de puesta o 1000 plazas de pollos o 5500 pollos producidos al año.

Otros autores, POWERS y col. (1975), proponen fórmulas matemáticas para el cálculo de la proporción de aplicación de residuos orgánicos al suelo, estableciendo un balance de nitrógeno y efectuando las correcciones oportunas (debido al límite impuesto por la concentración de sales tanto del residuo como del agua de riego).

En algunos casos, una posible solución a la realización de vertidos inadecuados de purines de porcino por necesidades de vaciado de la fosa, puede ser la aplicación de dichos purines a terrenos repoblados con chopo, consiguiéndose un doble efecto: su depuración y la aportación de los necesarios elementos fertilizantes, HERNÁNDEZ DE LEÓN (1981).

Un aspecto nuevo a considerar es la influencia del vertido de estiércol líquido de porcino sobre los nematodos del suelo. Las experiencias realizadas por DE GUIRAN y col. (1979) sobre vertidos de grandes cantidades de estiércol líquido de porcino, cinco veces superior al nitrógeno equivalente a una aplicación fertilizante normal, muestran que se produce un rápido e importante cambio en la composición de la fauna de nematodos, provocando un gran aumento de la proporción de microfagosus y una disminución de los fitofagosus. Este efecto se atenuó rápidamente y, después de algunas semanas, el número de los diferentes grupos tróficos siguió un modelo normal. Sin embargo, sucesivas aplicaciones tienen un efecto acumulativo y el suelo tratado contiene un número elevado de nematodos, particularmente en primavera y otoño, debido principalmente al incremento del número de especies de microfagosus. A pesar de ello, esta modificación no afectó significativamente al equilibrio de la nematofauna. Cuando el vertido se realiza en cantidades equivalentes a la aplicación normal de fertilizante, no afecta a la nematofauna.

Por otra parte, tampoco se pueden excluir los riesgos de contaminación de los suelos por bacterias patógenas y parásitos contenidos en los purines de ganado porcino.

Algunos de los microorganismos son resistentes a los antibióticos, sobre todo los C*lostridium prefringens*, VAN STAPPEN y col. (1990).

Finalmente, se hace necesario considerar el efecto que la aplicación de residuos animales al suelo ejerce sobre la población microbiana de éste y, por tanto, sobre los procesos de descomposición y la proporción de reciclado de nutrientes.

La población microbiana presente en la excreta, puede realizar una serie de reacciones como son: proteolisis, amonificación, desnitrificación, celulosis anaerobia, fijación anaerobia de nitrógeno, amilolisis, pectolisis, reducción de sulfatos y mineralización anaerobia de sulfuros orgánicos, NODAR y col. (1992).

Durante el almacenamiento en forma de purín, la población original en las excretas está sometida a nuevas condiciones ambientales de pH, nivel de nutrientes, oxígeno y tensión de mezcla, lo que puede influir sobre poblaciones específicas y provocar la dominancia de un grupo microbiano particular, NODAR y col. (1992).

El seguimiento de la evolución del purín de ave durante el almacenamiento, realizado por NODAR y col. (1992), observó, al comienzo del almacenamiento, una marcada disminución de la población de microorganismos viables y la mayor parte de los grupos microbianos. Sin embargo la población viable rápidamente se multiplicó, lo que se atribuye a las bacterias anaerobias, aunque se vieron negativamente afectadas las bacterias heterótrofas aerobias, incluyendo los esporulados y acidofílicos, los actinomicetos y los fungi. Por tanto aparecerán sustancias resistentes al ataque microbiano y productos intermedios de la oxidación del carbono, nitrógeno y azufre, que tenderán a acumularse o perderse por volatilización, con lo que la oxidación del sustrato no se completará.

Las características físico-químicas del purín de vacuno estudiado por ACEA y CARBALLAS (1983), se corresponden con los distintos grupos microbianos; el más representativo del número total de microorganismos por gramo de purín seco, es el de los amonificantes, seguido del de los pectinolíticos y de los proteolíticos. Las condiciones anaerobias del purín favorecen la presencia de microorganismos desnitrificantes, sulfito-reductores, celulolíticos anaerobios, mineralizadores anaerobios del azufre orgánico y clostridios, en tanto que los microorganismos aerobios, como los nitrificantes, oxidadores del azufre, celulolíticos aerobios y amilolíticos se encuentran en menor proporción. Comparando estos resultados con la población microbiana habitual de suelos hidromorfos, se observa bastante correspondencia entre ellos.

La adición de purín al suelo da lugar a un gran aumento inicial de la población microbiana total y, en menor proporción, de los microorganismos nitrificantes. La microflora total desciende bruscamente poco tiempo después del vertido y no se producen cambios tras nuevas adiciones de purín. Por el contrario, las sucesivas adiciones favorecen la presencia de microorganismos nitrificantes; sin embargo, todos los microorganismos tienden a alcanzar con el tiempo un nivel base, que siempre es superior al de los suelos sin purín, ACEA y col. (1986).

2.6.4. EFICACIA DE LOS NUTRIENTES PRINCIPALES CONTENIDOS EN LOS PURINES

Nitrógeno

Existen varios parámetros para determinar la utilización de los elementos nutritivos del purín por parte de los cultivos. Por una parte se define el "coeficiente de utilización " como la cantidad de un elemento nutritivo que es absorbido por el cultivo, y por otra, el "coeficiente de eficacia o de equivalencia" definido como la relación, en tanto por ciento, entre el coeficiente de utilización de ese elemento nutritivo presente en el purín y el que se encuentra en el fertilizante mineral de referencia, generalmente nitrato amónico. A veces, este último término se define también en función del rendimiento del cultivo, como el efecto sobre el rendimiento, en tanto por ciento, de un elemento nutritivo presente en el purín con relación al que produce el mismo elemento contenido en el fertilizante mineral.

En otras ocasiones, los autores utilizan la expresión "eficacia del nitrógeno" para referirse a la cantidad de materia seca producida por kg de nitrógeno aplicado.

Se observa que los coeficientes de equivalencia calculados a partir de la producción de biomasa son, generalmente, superiores a los que se calculan a partir del nitrógeno producido por esta biomasa, lo que indica la existencia de otros efectos benéficos propios del abono orgánico, aparte del nitrogenado, CASTILLÓN (1993).

Según CASTILLÓN (1993), la eficacia agronómica del nitrógeno vendrá condicionada por la importancia de las fracciones que lo componen y, para un determinado cultivo, dependerá de:

- La velocidad de mineralización según el clima y las características del suelo.
- La dinámica de absorción del nitrógeno mineral del suelo por la planta, que dependerá de la alimentación hídrica y de la calidad del arraigo.
- Las pérdidas de nitrógeno de los estiércoles licuados, sobre todo en forma amoniacal, producidas bien durante la aplicación (del 20 al 50% dependiendo de las condiciones del viento, de humedad del aire y del tamaño de las gotas), o bien de la superficie del suelo si no se ha producido un enterramiento rápido del producto esparcido (del 10 al 75% según las condiciones del clima y del suelo).

En la tabla RB53 se muestran los valores aportados por la CEE, teniendo siempre presente la influencia que sobre dichos valores va a tener el tipo de residuo, el suelo, la época de aplicación y la climatolología de la zona, SOLIVA (1993).

Tabla RB53: Distribución del Nitrógeno de los residuos ganaderos en diferentes fracciones, CEE (1978).

Tipo de residuo	% N mineral	% N orgánico mineralizado en 1 año	% N residual
Estiércol de bovino	35	25	40
Estiércol líquido de bovino	40	30	30
Estiércol líquido de aves	40	20	10
Purín de porcino	95	3	2
Estiércol líquido deporcino	50	22	28

En cuanto a la distribución del nitrógeno del purín en las distintas fracciones, una parte está ligada a la materia orgánica (50%) y no será liberada hasta que ésta se

descomponga, lo cual ocurrirá, en parte, tras el primer año de aplicación (Np = 33%) y el resto en años sucesivos (Nr = 17%). El nitrógeno no ligado a la materia orgánica (Nm = 50%) está formado fundamentalmente por amoníaco y, en menores cantidades, urea, P.A.G.V. (1989); GEYPENS y col. (1992).

En principio, el contenido de nitrógeno mineral debería influir más sobre la utilización de nitrógeno, pero en aportaciones regulares de purín, la eficacia del nitrógeno residual puede ser equivalente al nitrógeno mineralizado el primer año Np. Para un suelo determinado, la cantidad de nitrógeno mineralizado al cabo de un año, depende de las cantidades de Np y Nr presentes en el purín y de las condiciones atmosféricas.

Otros autores, BERTRAND (1993) y CASTILLÓN (1993), encuentran proporciones en el purín del 60-70% del nitrógeno en forma amoniacal y del 30-40% en forma orgánica; de éste último, el 20% corresponde a la fracción fácilmente mineralizable a lo largo del año posterior a su aplicación y el 20% al nitrógeno liberado lentamente durante los años posteriores.

DUTHION (1979) estima que los coeficientes de utilización del nitrógeno por la planta, calculados como cociente entre la diferencia de contenidos de nitrógeno en planta con y sin adición de nitrógeno y la cantidad de nitrógeno aplicado, son inferiores que los que se obtienen para el nitrato amónico. En efecto, aproximadamente un 30-50% del nitrógeno mineral del estiércol no fue efectivo o se perdió durante el primer año comparado con sólo un 18% del fertilizante mineral; en consecuencia, la relación entre la utilización del nitrógeno del estiércol y la utilización del nitrógeno del fertilizante mineral varía entre 0,6 y 0,87, dependiendo de las cantidades de estiércol aplicadas.

Sin embargo, el coeficiente de utilización de nitrógeno encontrado anteriormente por MOHAEMEN (1978), en experiencias con raygras, es algo menor, con valores que oscilan entre 0,44-0,48 para el nitrógeno total y 0,54-0,76 para el nitrógeno mineral, lo cual puede ser debido a diferencias en la volatilización de amonio al mezclar el estiércol con el suelo. WARMAN (1986) obtuvo un valor medio para el coeficiente de utilización de 0,28 respecto al nitrógeno total aplicado como estiércol de porcino, en suelos franco arenosos y franco arcillosos, y con un pasto para forraje como cultivo.

KIELY (1979), en su intento de establecer el momento y proporción de aplicación de los estiércoles líquidos de animales, plantea la variabilidad en la asimilación del nitrógeno que contienen en función de la época de aplicación al campo, la climatología, el contenido de materia seca del purín y la forma de incorporación al suelo. Ofrece datos de varios países europeos, teniendo en cuenta la asimilabilidad respecto al fertilizante mineral y no el contenido de nitrógeno del purín; así en Inglaterra entre el 50 y el 75% es asimilable en el año de aplicación; en Escocia y norte de Irlanda, entre el 44 y el 84%; en Noruega, entre el 60-80% de nitrógeno del purín de vacuno; en Dinamarca, el 40% del estiércol; en Alemania, el 50% del purín de vacuno; y en Canadá, el 50% del purín de vacuno.

En cuanto al momento de la aplicación, KIELY (1979) afirma que el purín de ganado porcino fue una buena fuente de nitrógeno para el pasto, especialmente cuando

se aplicó en primavera, ya que por encima del 75% del nitrógeno se utilizó en aplicaciones de 150 Kg N ha^{-1} en el primer corte. Para una experiencia simultánea con purín de vacuno se obtuvieron valores inferiores al 30%, lo que indica la menor asimilabilidad del nitrógeno del purín de vacuno.

WOLT y col. (1984) asocian la variaciones en la producción, además de con el contenido de nitrógeno del purín, con las condiciones en el momento de la aplicación, sobre todo la temperatura del suelo.

El purín de ganado porcino aplicado en primavera tardía o verano, en condiciones de tiempo húmedas, puede ser también una buena fuente de nitrógeno, pero aplicado de abril a junio con tiempo seco se obtienen valores mucho más bajos. El autor cita una experiencia anterior en Inglaterra realizada por ANON (1976), en la que aproximadamente el 16% del nitrógeno, tanto del purín de ganado porcino como de vacuno, fue asimilable en aplicaciones en diciembre, 25% en junio y 50% en marzo.

La efectividad del estiércol licuado de porcino aplicado en otoño es diferente según el tipo de suelo, pero en todos los casos es muy baja para los requerimientos de las plantas en primavera. Comparada con el fertilizante mineral nitrogenado, dependiendo de las condiciones climáticas y del tipo de suelo, la efectividad del nitrógeno del estiércol licuado de porcino, obtenida por VETTER y STEFFENS (1979), es de 5-50% después de vertidos en otoño y de 70-100% cuando el vertido se realiza en primavera. Esta segunda opción hace que se produzca una rápida absorción por el cultivo, reduce las pérdidas de nitrógeno dentro de las estructura del suelo y mejora su efectividad para el cultivo siguiente. Las eficiencias obtenidas por SMITH y col. (1994) fueron del 25% en aplicaciones de otoño y del 54% en aplicaciones de primavera; sin embargo, apenas se apreciaron diferencias cuando se aplicó estiércol sólido de porcino.

Varios autores han estudiado la magnitud de este proceso. Así, LECOMTE (1979) afirma que sólo un 45% del nitrógeno contenido en 20 000 litros de estiércol licuado de ganado porcino, aportado en otoño, es transformado en nitrógeno mineral disponible para las plantas en primavera. Un aumento de la dosis a 40 000 litros provoca una reducción de esta proporción hasta el 34% y, en general, ésta se sitúa por debajo del 60% durante el primer año para la mayor parte de los cultivos, e incluso mucho menor cuando la aplicación se hace superficialmente en otoño. Conclusiones similares obtienen DESTAIN y col. (1984) y LIMBOURG y col. (1986).

Los trabajos realizados por el Instituto para el Estudio de la Fertilidad del Suelo en Haren (Holanda) y continuados con algunas pruebas de verificación en Francia, determinan las curvas de respuesta de los cultivos a dosis crecientes de nitrógeno aportadas por el estiércoles sólido y licuado (en otoño y primavera) y en forma de nitrato amónico. De ellos se deduce que cuando los aportes orgánicos son regulares, los efectos del nitrógeno mineral y del que es rápidamente mineralizado se suman a la fracción lentamente mineralizada procedente de aportes anteriores, pudiendo considerar que, al cabo de 20 años de aportes anuales, todo el nitrógeno procedente de los estiércoles sólidos y licuados tiene la misma eficacia que el que procede del nitrato amónico y el coeficiente de equivalencia será igual a uno, CASTILLÓN (1993).

PAIN y SANDERS (1979) estudiaron el efecto del vertido de efluentes de ganado vacuno, obteniendo mayor efectividad al utilizar el líquido separado del purín (con o sin adición de nitrógeno) que el purín entero, ya que se consiguieron valores medios de eficacia del 45% como nitrógeno fertilizante en incrementos de producciones del pasto. Esto sugiere la posibilidad de producir un material fertilizante balanceado que puede fortalecerse, si es preciso, con fertilizante mineral antes de la aplicación. LUND y col. (1975) obtuvieron menores producciones de pasto en suelos tratados con estiércol sólido de vacuno que en el equivalente de estiércol líquido.

Otros autores, BLANCHÓN y col. (1974), COLLINS (1979), TUNNEY y col. (1979) y REID y col. (1984), recomiendan el vertido de purines de porcino en pastos, sobre todo para ensilar y heno, ya que la producción muestra una relación positiva con la proporción de purín aplicado.

DAM KOEFED y NEMMING (1979), obtuvieron mayores producciones de cultivos con aplicaciones de estiércol líquido de porcino que con el mismo peso de estiércol; sin embargo, cuando se comparan en base a sus contenidos en nitrógeno amoniacal, el estiércol licuado de porcino y el estiércol fueron igual de efectivos para los incrementos de producción.

Por otra parte, aplicaciones anuales de estiércol licuado de porcino y estiércol permitieron obtener mejores producciones que en aplicaciones únicas o en años alternos. En este mismo sentido, BLANCHÓN y col. (1974) habían obtenido una equivalencia con el nitrógeno de fertilizantes minerales sobre praderas, al considerar el contenido de nitrógeno amoniacal del purín de bovino.

ERNANI (1984) y WOLT y col. (1984) estudiaron los requerimientos de nitrógeno para la producción de grano de cereal en suelos fertilizados con estiércol de ganado porcino. La máxima eficiencia para la producción se obtuvo con aplicaciones de estiércol diez días antes de la siembra; esta eficiencia aumentó con la proporción de aplicación, debido fundamentalmente a su contenido en nitrógeno. La aplicación conjunta de estiércoles y fertilizante mineral permite obtener mayores producciones de cereal en general, MAGDOFF y AMADON (1980), de cebada para forraje en particular, POMARES-GARCÍA y PRATT (1978), y de patata y rábano, MADHU y col. (1997), que aplicaciones aisladas.

Las experiencias aportadas por CARBALLAS (1991) en suelos de Galicia inciden en este mismo aspecto. Así, el rendimiento de un prado temporal, abonado con purín de ganado porcino durante 4 años, fue también superior al abonado con la misma dosis de fertilizante mineral. En praderas de 7 años, abonadas todos los años, la eficiencia del purín de ganado porcino se incrementó cuando se le incorporaron fertilizantes minerales.

Además, en una rotación realizada en una región montañosa, el abonado con purín de ganado porcino aumentó el rendimiento con respecto al suelo sin abonar y la eficiencia fue similar a la del abonado mineral. Finalmente en otra pradera, también abonada con purín de ganado porcino, la productividad aumentó con la dosis de purín, así como la absorción de nitrógeno por la planta y, aunque a dosis elevada no se produjo una respuesta proporcional del cultivo, sí se observó que el aumento del contenido de

nitratos en la planta fue menor con el purín que con el fertilizante mineral; por tanto, también será menor el posible riesgo de contaminación de las plantas.

Aplicaciones de purín de ganado porcino sobre rastrojo de cereales o a continuación de un enterramiento de pajas, facilitan su descomposición y disminuyen el efecto depresivo que se origina en el cultivo siguiente, URBANO TERRÓN (1985).

En trabajos holandeses, confirmados por franceses, se facilitan coeficientes de equivalencia calculados a partir de la producción que, a efectos prácticos, son los más interesantes para el agricultor, tabla RB54.

Tabla RB54: Cálculo de los coeficientes de equivalencia de los abonos nitrogenados de los efluentes de ganado porcino, CASTILLÓN (1993).

Cultivo	Tipo de aporte	Aporte del año actual				Aportes de años precedentes		
		Aporte ocasional	Aportes regulares			Todos los años	Cada 2 años	Cada 3 años
			Todos los años	Cada 2 años	Cada 3 años			
Cereal	A	0,15-0,15	0,50-0,50	0,33-0,33	0,27-0,27	0,35	0,18	0,12
	B	0,20-0,30	0,40-0,50	0,30-0,40	0,27-0,37	0,20	0,10	0,07
	C	0,20-0,40	0,33-0,53	0,27-0,47	0,24-0,44	0,13	0,07	0,04
Maíz	A	0,20-0,30	0,70-0,80	0,45-0,55	0,37-0,47	0,50	0,25	0,17
	B	0,30-0,45	0,62-0,77	0,46-0,61	0,41-0,56	0,32	0,16	0,11
	C	0,30-0,60	0,50-0,80	0,40-0,70	0,37-0,67	0,20	0,10	0,07
Pradera	A	0,20-0,23	0,80-0,83	0,50-0,53	0,40-0,43	0,60	0,30	0,20
	B	0,35-0,40	0,75-0,80	0,55-0,60	0,48-0,53	0,40	0,20	0,13
	C	0,35-0,45	0,60-0,70	0,48-0,58	0,43-0,53	0,25	0,13	0,08

Tipos de aporte:
A. Estiércol de bovinos, ovinos, caprinos y caballos.
B. Estiércol licuado de bovinos, y seco de porcinos y aves de corral rico en cama de paja.
C. Estiércol licuado de porcinos, y aves de corral pobre en cama de paja y jugo de estiércol.

En la tabla RB55, se muestra la influencia del cultivo, la época y el modo de aplicación del purín, sobre los coeficientes de eficacia.

Tabla RB55: Coeficientes de eficacia según el cultivo, época y modo de aplicación, IRAÑETA y col. (1999).

Cultivo	Cereal secano			Maíz	
Época de aplicación	Otoño		Primavera	Primavera	
Modo de aplicación	Enterrado	Sin enterrar	En vegetación	Enterrado	Sin enterrar
Efecto inmediato	0,30	0,24	0,60	0,70	0,45
Efecto posterior	0,13	0,13	0,13	0,20	0,20

Otros autores, en experiencias con purín de vacuno utilizando maíz y pasto como cultivos, también han comprobado los efectos negativos sobre los rendimientos, GÓMEZ-IBARLUCEA (1985). En el maíz las aplicaciones de purín inferiores a 166 kg N ha^{-1} obtienen mejores respuestas que con fertilizante nitrogenado mineral, superando por tanto el 100% de eficiencia; con niveles de 272 kg N ha^{-1} la eficiencia disminuye al 66%, tendencia que se mantiene al aumentar la dosis de purín. En el pasto, a partir de 60 kg N ha^{-1}, se observa una pobre respuesta del cultivo; la eficiencia disminuye a medida que la dosis de purín aumenta. La eficacia del purín, a una dosis de 120 kg N ha^{-1}, fue del 33% en relación con el nitrógeno mineral, valor que se acerca al 35% aportado por TUNNEY y col. (1979).

Los aportes elevados de purín, además de reducir la eficacia del nitrógeno, y en ocasiones influir negativamente sobre el rendimiento del cultivo, pueden producir un aumento del nivel de nitratos en el suelo, GUIOT y GOFFART (1992) y un excesivo contenido de nitratos en los cultivos, VETTER y STEFFENS (1979), como los hortícolas, DEMYTTENAERE y col. (1990) y en pasto, LUND y col. (1975), REID y col. (1984).

El objetivo principal de las experiencias de BITZER y SIMS (1998) era la evaluación de un método para estimar el contenido de nitrógeno asimilable en estiércoles de ave, con el fin de maximizar la respuesta del cultivo y minimizar las pérdidas de nitrógeno al medioambiente. La aplicación de estiércol se basó en predicciones de nitrógeno asimilable (PAN), asumiendo que el 80% del nitrógeno inorgánico podría ser utilizado y que el 60% del orgánico podría mineralizar al cabo de 140 días. Los resultados obtenidos fueron del 66% para el nivel medio de mineralización del nitrógeno orgánico, pero solo un 35% del nitrógeno inorgánico contenido en el estiércol fue extraído mediante KCl después de la incorporación al suelo; estos resultados indican que se produjeron fuertes pérdidas y refuerzan la necesidad de tener precaución al evaluar la cantidad de nitrógeno asimilable de estos efluentes.

La forma de distribución del purín en el suelo también va a incidir de manera importante sobre la utilización de los nutrientes que contiene, especialmente el nitrógeno. La aplicación de purín realizada por BALSARI y col. (1998) sobre una pradera permanente en toda la superficie, en bandas o por inyección poco profunda (3-5 cm), muestra que esta última permitió obtener una producción similar a la obtenida con fertilizante mineral. Además el contenido en proteína bruta en el forraje fue significativamente inferior cuando el purín se aplicó en toda la extensión.

Fósforo

Como en el nitrógeno, el fósforo de las deyecciones animales está en forma orgánica (10-20%) e inorgánica o mineral (80% aproximadamente). La parte de este último que no sea utilizada por los cultivos será fijada por la fracción mineral del suelo por adsorción o precipitación, o bien reorganizada en formas orgánicas más o menos estables. El fósforo orgánico debe ser mineralizado por los microorganismos del suelo antes de ser asimilado por las plantas, LECOMTE (1979); LEVASSEUR (1998a).

Así, el coeficiente medio de eficacia (equivalente mineral) del estiércol de bovino sólido es de 65%, mientras que alcanza el valor de 80% para el purín de bovino y porcino, THIBAUDEAU (1997); LEVASSEUR (1998a). Hay que pensar que, en un plazo más o menos largo, todo el fósforo que se añada al suelo procedente del purín podrá ser utilizado por las plantas, GIL SOTRES y col. (1985).

La eficacia del fósforo del purín de ganado porcino es muy similar a la de un fertilizante mineral siempre que se produzcan aportes en condiciones agronómicas, LECOMTE (1979); GEYPENNS y col. (1992).

De forma similar a lo que ya se ha planteado para el nitrógeno, la aplicación conjunta de fósforo procedente de estiércoles y fertilización mineral produce mayores incrementos en la producción del cultivo y en la absorción de fósforo. Además,

continuas aplicaciones de estiércol dan lugar al aumento de las distintas fracciones de fósforo orgánico en el suelo debido a su fuerte asociación con el incremento del carbono orgánico, DAMODAR y col. (2000).

Potasio

La mayoría de los autores coinciden en que la asimilabilidad del potasio procedente del estiércol líquido de porcino es equivalente a la de los abonos minerales, GEYPENS y col. (1992); THIBAUDEAU (1997).

2.7. ALGUNOS ASPECTOS SOBRE LOS CULTIVOS DE GIRASOL Y CEREALES

A continuación se describen algunos aspectos generales sobre los cultivos de girasol y cereales (cebada y trigo) ensayados en el trabajo de campo.

2.7.1. CULTIVO DE GIRASOL (*Helianthus annuus* L.)

2.7.1.1. Fases de desarrollo del girasol

Según los autores, el ciclo del girasol desde siembra a recolección puede constar de varias fases o estados fenológicos.

ALBA y LLANOS (1990) establecen cinco fases diferenciadas con una duración total del ciclo de cultivo de 110-167 días.

1. De siembra a emergencia: tiene una duración de 10 a 30 días según la temperatura del suelo; en condiciones de siembra invernal puede alargarse hasta 30 o 35 días. Si la temperatura es inferior a 4ºC, la semilla no germina.

2. Desde la emergencia hasta 4-5 pares de hojas: su duración es de 15 a 25 días. En esta fase se produce el enraizamiento de la planta, que a su vez condicionará su posterior vigor. Al final de este período pueden apreciarse los esbozos foliares y florales. Estos últimos se inician en los estadios de 8 a 12 hojas (en el capítulo aparecerán hasta 2000 esbozos florales).

3. De cinco pares de hojas a principio de la floración: su duración media es de 40 a 50 días. En ella se produce el crecimiento más activo de la planta y la mayor absorción de nutrientes, alcanzando al final el 75-80% de su materia seca total, a razón de 200 kg ha^{-1} $día^{-1}$.

4. Floración: puede durar entre 10 y 12 días. Comienza con la apertura de las primeras flores liguadas (falsos pétalos amarillos), sigue la apertura de las flores de los anillos exteriores del capítulo y continúa la apertura en dirección hacia el centro, a razón de 1 a 5 anillos diarios. En esta fase se produce el número de flores que posteriormente se convertirán en semilla, siendo el capítulo el receptor principal de los nutrientes asimilados por la planta.

5. Maduración: su duración es de 35 a 50 días y abarca desde el final de la floración hasta la madurez fisiológica (llenado de las semillas). El incremento de materia seca de la planta es escaso y los nutrientes asimilados y acumulados por la planta se redistribuyen en beneficio de las semillas, a expensas de los tallos y las hojas, produciéndose la síntesis y acumulación de los ácidos grasos que determinarán el contenido posterior de la cosecha. La humedad de las semillas en el estado de madurez fisiológica es del 30% aproximadamnete, momento en que comienzan a perder agua hasta alcanzar una humedad del 8 al 9% óptima para la recolección. Las condiciones ambientales y la variedad de planta cultivada marcarán la duración de este período final del ciclo de cultivo.

SUMMERS RIVERO (1981) coincide con el autor anterior en el número de fases aunque la diferenciación entre ellas es algo diferente. Las fases propuestas son las siguientes:

1. Nascencia
2. Estado de 2-3 hojas
3. Formación del capítulo
4. Floración
5. Madurez

Por el contrario, otros autores diferencian siete fases; las propuestas por SAUMELL (1980) son las siguientes:

1. Nacimiento (6-8 días): desde la siembra a la emergencia. Influyen las adecuadas condiciones de preparación del suelo, la humedad y la temperatura del suelo.
2. Formación de la plántula (18-23 días): desde la emergencia hasta que la plántula posee 8-10 hojas verdaderas. Es fundamental la elevada disponibilidad de fósforo soluble y suficiente nivel de nitrógeno.
3. Formación de la planta (13-17 días): desde el estado de 8-10 hojas verdaderas hasta el botón floral. Crece mucho la parte aerea y por tanto precisa un nivel de nitrógeno elevado y suficiente fósforo asimilable. Consigue en esta fase el 50% de altura de tallo y 50% de superficie foliar.
4. Formación del capítulo (18-23 días): desde el botón floral a principios de la floración. En esta fase consigue el 95% de altura de tallo y el 80% de superficie foliar.
5. Floración (8-12 días): desde principios a fines de la floración. Son necesarias unas condiciones climáticas adecuadas.
6. Formación de frutos y semilla (19-25 días): desde fines de la floración hasta el capítulo verde amarillento. La buena disponibilidad de fósforo soluble en el suelo incrementa el tamaño y el peso del fruto y de la semilla.
7. Maduración (18-22 días): desde el capítulo verde amarillento a castaño seco (cosecha).

Para este autor, la duración total del ciclo de cultivo oscila entre 100 y 130 días.

VIROEL VRÂNCEANU (1977) plantea una duración del ciclo de 113-153 días, repartido en las siguientes fases:

1. Germinación de las semillas y emergencia (10-30 días): desde la siembra hasta la aparición de los cotiledones.
2. Formación de las hojas (20-24 días): desde la emergencia a 4-5 pares de hojas verdaderas.
3. Diferenciación de los primordios del receptáculo (8-10 días): de 4-5 pares de hojas hasta 7-8 pares.
4. Crecimiento activo (26-28 días): de 7-8 pares de hojas hasta floración.
5. Floración (14-16 días): principio-fin de la misma.
6. Formación de las semillas y acumulación del aceite (20-25 días): desde el fin de la floración hasta el color amarillo-verdoso de los capítulos.
7. Llenado de las semillas y consecución de su tamaño definitivo (15-20 días): del color amarillo-verdoso de los capítulos hasta el color amarillo-oscuro.

La planta de girasol forma casi la mitad de su superficie foliar total al empezar a formarse el capítulo, y más de las tres cuartas partes al comienzo de la floración. Las hojas mayores son normalmente las del cuarto al décimo par. Desde la formación del capítulo hasta la madurez, estas hojas representan aproximadamente un 60-80% de la superficie foliar total, jugando un papel muy importante en la producción, VIROEL VRÂNCEANU (1977)

2.7.1.2. Influencia de la climatología

La temperatura necesaria en el suelo para la germinación es de 8 a 10ºC y, como mínimo, necesita 5ºC durante 24 horas para iniciar la germinación. De esta fase dependerá la densidad real de la plantación (nº de plantas por unidad de superficie), ALBA y LLANOS (1990). El proceso de formación de esbozos florales se ve afectado por las bajas temperaturas que pueden inducir a deformaciones y ramificaciones del capítulo.

El tiempo frío y nublado y el tamaño grande de los capítulos hacen alargar la floración. El estrés hídrico y las temperaturas elevadas afectan gravemente el rendimiento de la cosecha. Además, la temperatura suave y la disponibilidad de agua adecuada en la maduración son condiciones ambientales adecuadas para el rendimiento de la cosecha y su elevado contenido graso, así como la conservación de una superficie foliar verde durante la fase y su prolongación, ALBA y LLANOS (1990).

La disponibilidad de agua es muy importante para la iniciación foliar, su escasez en el suelo reduce el número de esbozos foliares formados en esta fase y, como consecuencia, el de hojas futuras en la planta y el rendimiento final. Por el contrario, un exceso de agua hará que el sistema radicular no profundice, ALBA y LLANOS (1990). La aparición del botón floral (de unos 3 cm de grosor) marca el comienzo del período de máxima sensibilidad de la planta a la falta de agua (estrés hídrico). Según SAUMELL (1980), las necesidades de agua durante el cultivo son de 500-600 mm.

Se admite que el girasol debe recibir al menos 250 mm de agua a lo largo de su ciclo de cultivo, aunque el consumo medio, existiendo disponibilidad de agua, puede llegar a 550 –700 mm, consumida de forma bastante irregular: 23% en el período de nascencia-formación floral, 60% en el período de formación del capítulo-floración y 17% en el período granazón-maduración, SUMMERS RIVERO (1981).

La lluvia abundante puede ocasionar un progresivo y constante lavado de nutrientes, sobre todo en las primeras capas del suelo (30-35 cm), que en el caso del nitrógeno, por su gran capacidad de lixiviación, puede dar lugar a su ausencia total en los primeros centímetros del suelo. Asimismo el fósforo habrá sufrido lavados en esa primera capa del suelo puesto que, en suelos de textura media y con una pluviometría media puede descender en torno a 2-3 cm, valor que puede incrementarse notablemente cuando la pluviometría es abundante (como ha ocurrido en varios de los años estudiados) y el suelo posee una textura arenosa, LANCHA ZAPICO (1990).

En el caso del potasio, el efecto de lavado es aún mas acusado que en el fósforo, ya que la proporción con la que se desplazan estos tres elementos hacia capas inferiores del suelo por efecto de las lluvias, es de 24-1-6, aunque el nitrógeno puede volver a ascender de nuevo cuando lo haga la capa freática. Por tanto, el suelo estará muy mermado de nutrientes en la zona donde le son mas necesarias a las raíces de girasol, LANCHA ZAPICO (1990).

BIBLIOTECA VIRTUAL

2.7.1.3. Absorción de nutrientes

El proceso de absorción y acumulación de los distintos nutrientes está sometido a importantes oscilaciones, en función de las condiciones de suelo y clima y de la técnica de cultivo, lo que explica las diferencias entre algunos datos experimentales aportados por la literatura, VIROEL VRÂNCEANU (1977).

- **Nitrógeno**

Los principales órganos consumidores de nitrógeno son los limbos de las hojas y los tallos. Al inicio de la floración comienza a disminuir el contenido de nitrógeno en la parte vegetativa debido a la emigración a los órganos reproductores, disminución que se intensifica durante el engrosamiento de la inflorescencia o capítulo y de la formación de la semilla. Los limbos llegan a ceder dos terceras partes de sus constituyentes nitrogenados, SUMMERS RIVERO (1981).

Los momentos críticos de necesidades de nitrógeno se presentan en el período de crecimiento inicial, desde la nascencia hasta la aparición del botón floral, absorbiendo aproximadamente el 50% del nitrógeno que precisa en todo el cultivo, siendo los limbos de las hojas y los tallos los principales receptores, LANCHA ZAPICO (1990) y VIROEL VRÂNCEANU (1977).

Desde este momento hasta el comienzo de la floración, el consumo de nitrógeno será del 30%, pasando a ser del 15% hasta la plena floración y del 5% hasta la plena fructificación. A medida que la planta se acerca a su estado adulto, el nitrógeno se fija en los órganos reproductores, de forma que al final de la maduración, en la semilla se deposita un 60% del nitrógeno total absorbido por la planta en todo su desarrollo, un 15% queda en las hojas, un 15% en el receptáculo y el 10% restante en los tallos, LANCHA ZAPICO (1990).

Durante toda la vegetación la concentración de nitrógeno en la hoja es aproximadamente dos veces mayor que en el tallo, y disminuye hacia la maduración de la planta en ambos órganos, debido a la traslocación de este elemento en los capítulos y

semillas. Las hojas, los tallos y los capítulos, siguen consumiendo nitrógeno hasta la floración máxima, después de la cual la extracción del suelo disminuye considerablemente, FILIPESCU y col. (1965). KARASTAN y BOSKANIAN (1966) constataron que la absorción de nitrógeno por la planta es más intensa en la fases incipientes del desarrollo, y cesa prácticamente cuando se termina la floración. En la fase de formación del capítulo, la planta contiene un 63% de la cantidad máxima de nitrógeno. Según ROLLIER (1972), el girasol absorbe, entre la fase de 4-5 pares de hojas y la plena floración, un 70-90% del nitrógeno necesario para su desarrollo. COIC y col. (1972) subrayan la importancia primordial del nivel alto de nutrición con nitrógeno durante la época comprendida entre la germinación y la floración, etapa en la cual la planta puede acumular en el tallo gran cantidad de nitratos que puede utilizar ulteriormente.

El girasol es exigente en nitrógeno. El nitrógeno influye sobre todo, en el desarrollo de materia vegetativa verde y en la creación de biomasa. Es considerado como factor de crecimiento en el inicio del desarrollo de la planta, así como imprescindible en el desarrollo de cabezuelas, LANCHA ZAPICO (1990). Además, aumenta el contenido de proteína en la semilla pero suele reducir el porcentaje de materia grasa, aunque el aumento del redimiento en grano consigue una mayor cantidad de materia grasa por hectárea. Se suele recomendar una dosis de 50 kg de N ha^{-1}, SAUMELL, H. (1980)

En la literatura hay datos que indican reacciones muy distintas del girasol en la fertilización con nitrógeno, yendo desde la eficacia máxima hasta efectos negativos. La mayoría de los investigadores concuerdan, sin embargo, en la conclusión de que los aumentos de producción que aportan los abonos con nitrógeno son modestos y las grandes dosis de nitrógeno son ineficaces, reflejándose de modo negativo sobre el contenido de aceite de las semillas y sobre la producción de aceite, VIROEL VRÂNCEANU (1977).

Examinando los datos existentes en cuanto a la utilización de abonos con nitrógeno, se observa que el efecto de los mismos varía mucho en función del abastecimiento de agua de las plantas, y del fondo de fósforo y potasio en el suelo en que se aplica. Teniendo en cuenta la influencia negativa del nitrógeno sobre el contenido de aceite, y los efectos modestos e inconstantes sobre la producción de semillas, se debe evitar la aplicación unilateral, y en dosis grandes, de los abonos con nitrógeno, VIROEL VRÂNCEANU (1977). STOIANOV (1973) estableció el efecto tóxico que tiene la acumulación excesiva de nitrógeno nítrico en las plantas jóvenes de girasol (amarilleamiento).

El nitrógeno es considerado como uno de los elementos decisivos en la nutrición del girasol. Su insuficiencia retarda, e incluso paraliza, los procesos de crecimiento y desarrollo. Proporcionalmente al aumento de la dosis de nitrógeno disminuye el contenido de aceite de las semillas, pero aumenta el de proteína bruta, hecho considerado positivo en la producción de semillas destinadas a la siembra, VIROEL VRÂNCEANU (1977).

A principios del ciclo vegetativo el ritmo de absorción del nitrógeno es más rápido que el de formación de la materia seca, lo que muestra que el girasol debe

encontrar este elemento bajo una forma fácilmente asimilable, para que pueda ser acumulado rápidamente en los tejidos jóvenes. En condiciones normales de nutrición, el girasol es capaz de acumular importantes cantidades de nitrógeno en las hojas y tallos, asegurando de este modo una alimentación rítmica de la planta.

Al estudiar el ritmo de absorción del nitrógeno por órganos y fases de desarrollo, se observa una intensa traslocación del mismo de las hojas y los tallos a los capítulos, y sobre todo a las semillas después de terminada la floración. De este modo las hojas se pueden considerar también, no solamente como un aparato de asimilación, sinó como un depósito temporal para guardar el nitrógeno y sus compuestos.

En el proceso de acumulación de nutrientes por las semillas, las que participan más intensamente son las hojas del nivel medio, y las de menos participación son las jóvenes del extremo superior.

En las especies con contenido alto de aceite, el crecimiento más intenso de los tejidos de reserva del interior de las semillas, está condicionado por la movilización más activa del nitrógeno de la parte media y superior del tallo, influyendo menos las hojas superiores, que dejan de crecer más temprano que las hojas similares de aquellas especies con contenido bajo de aceite, DIAKOV (1969). La traslocación del nitrógeno de las hojas está determinada por su envejecimiento, mientras que el nitrógeno de los tallos está polarizado hacia la inflorescencia.

- **Fósforo**

Al igual que el nitrógeno, pero de forma más intensa, el fósforo absorbido en las primeras fases del desarrollo de la planta por hojas y tallos, sufre una redistribución parcial a partir de la floración, SUMMERS RIVERO (1981).

Aunque el girasol extrae el fósforo del suelo durante toda la época de vegetación, en la etapa comprendida entre el comienzo de la diferenciación floral y el final de la floración, absorbe un 60-70% del fósforo necesario para su desarrollo, ROLLIER (1972).

A medida que avanza la madurez de la planta se distinguen tres etapas bien diferencias. En la primera, la de crecimiento de la inflorescencia, el receptáculo acumula gran cantidad de fósforo a expensas de otras partes de la planta como hojas y tallos. En la segunda, tras la plena foración y fecundación, el fósforo emigra hácia las semillas que en este momento se encuentran en pleno período de formación. En la última etapa, durante la maduración del grano, el fósforo vuelve a fijarse en el receptáculo, el cual queda enriquecido en este elemento, LANCHA ZAPICO (1990); SUMMERS RIVERO (1981).

Con el aumento de masa vegetativa en la planta, disminuye el contenido relativo de nitrógeno, fósforo y potasio, registrándose en la maduración el porcentaje más bajo de nitrógeno y fósforo debido a la migración de los órganos vegetativos a los reproductores. En la maduración, el contenido en nitrógeno de las semillas es cuatro veces mayor y, el de fósforo, nueve veces mayor que el de la masa vegetativa, VIROEL VRÂNCEANU (1977).

Las mayores exigencias de nitrógeno y fósforo en la planta de girasol coinciden en el tiempo, 30 días antes de producirse la floración (1-2 meses después de la nascencia), LANCHA ZAPICO (1990) y SUMMERS RIVERO (1981).

En la primera parte de la etapa vegetativa, la forma básica del fósforo en los órganos vegetativos, la constituyen los fosfatos minerales, pero después de la floración el contenido de los mismos disminuye. A finales de la floración aumenta el contenido de fosfatos solubles en ácidos, que representaban la principal forma del fósforo en las semillas, KARASTAN y BOSKANIAN (1966).

El fósforo es considerado como factor de fecundidad, influyendo especialmente en el desarrollo del sistema radicular, así como en la síntesis de hidratos de carbono y en su traslocación hacia los órganos reproductores, en el metabolismo de lípidos y en la producción de aceite y en la regulación de la fertilización nitrogenada. Su presencia en cantidades adecuadas acelera la madurez de la semilla y el secado del grano LANCHA ZAPICO (1990); SUMMERS RIVERO (1981) y VIROEL VRÂNCEANU (1977).

El fósforo actúa sobre el rendimiento y lo mejora sólo cuando la cantidad de nitrógeno es suficiente. Aumenta el contenido en materia grasa de la semilla, reflejándose en un mayor rendimiento de materia grasa por hectárea. Suelen recomendarse dosis de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5, SAUMELL, H. (1980). En muchos suelos, el fósforo es el elemento que más influye en el nivel de cosechas, aumentando al mismo tiempo la resistencia de las plantas a la sequía.

El fósforo tiene el mejor efecto sobre la producción del girasol en la mayoría de los tipos de suelo y además, no disminuye el contenido de aceite de las semillas. La utilización de fósforo por las plantas de girasol está estrechamente ligada a la humedad del suelo. BORODULINA y col. (1972) comprobaron que el contenido de fósforo de las plantas depende de la cantidad de fosfatos del suelo y de las condiciones de abastecimiento de agua. En el caso de abastecimiento insuficiente de agua, el nivel de utilización de los abonos con fósforo es más reducido, VIROEL VRÂNCEANU (1977).

En condiciones de salinidad, la absorción y translocación del fósforo disminuyen, acumulándose más en las raíces, ASHOUR Y KABESH (1970).

La absorción del fósforo es favorecida por la presencia en el medio nutritivo de los cationes K, Mg, Ca, y de los elementos N y S dentro de la categoría de los aniones, CHIRILEI y col. (1962); GIURGIU (1968).

- **<u>Potasio</u>**

El contenido de potasio de las partes vegetativas aumenta progresivamente hasta el inicio de la floración, disminuyendo a continuación ligeramente como resultado de la migración hacia el capítulo primero y a las semillas porteriormente. El valor máximo del contenido de potasio en el tallo se produce al comienzo de la floración, estacionándose hasta su finalización, tras lo que prosigue su acumulación en el tallo hasta llegar a la fructificación, momento en el que comienza la cesión hacia el receptáculo, SUMMERS RIVERO (1981).

Los receptáculos experimentan un débil crecimiento vegetativo a lo largo del proceso de maduración; sin embargo su materia seca se enriquece fuertemente y la cantidad de potasio llega a duplicar al valor que poseía al inicio de la fase. Por el contrario, en la formación y maduración de la semilla la materia seca sufre un gran aumento, disminuyendo la cantidad de potasio en proporción inversa. El flujo del potasio hacia el capítulo se debe a su participación en la formación y el transporte de los hidratos de carbono, SUMMERS RIVERO (1981).

Las hojas y tallos formados hasta la la plena floración son grandes consumidoras de potasio, absorbiendo la planta un 65-75% del potasio que consumirá durante todo su ciclo. Posteriormente, este elemento emigra hacia el receptáculo y más tarde a las semillas. Al final de la maduración en los tallos se concentrará el 50% del potasio total absorbido, en el receptáculo el 25%, en las hojas un 10% y un 7% en las semillas, LANCHA ZAPICO (1990); SUMMERS RIVERO (1981).

La concentración de potasio es mayor en los tallos que en las hojas. En los tallos, el contenido en K_2O aumenta hasta la floración, después de la cual y hasta la formación de las semillas tiene lugar una disminución no importante, permaneciendo constante hasta la madurez. La presencia de potasio en las hojas, aumenta hasta finales de la floración, disminuyendo después hasta la maduración, VIROEL VRÂNCEANU (1977).

El potasio es considerado como factor de calidad, contribuyendo al ahorro de agua por parte de la planta al disminuir su transpiración, así como al contenido de aceite de las semillas y a la disminución de la incidencia de enfermedades en la planta.

Pese al hecho de que el girasol extrae del suelo cantidades muy grandes de potasio, la aplicación de abonos potásicos, incluso en combinación con los nitrofosfóricos, no da resultados positivos debido a la capacidad del sistema radicular del girasol de extraer el potasio de las formas difícilmente solubles del suelo. La absorción del potasio por el girasol está impedida por elevadas concentraciones de los cationes de calcio, de manera que en los suelos ricos en calcio aparece la necesidad de la fertilización con potasio en dosis moderadas, incluso si las reservas naturales de potasio del suelo son grandes, VIROEL VRÂNCEANU (1977).

El potasio tiene un papel importante en la actividad normal de las hojas; la falta de potasio provoca la aparición de amarillez y de manchas oscuras en las hojas.

Se conoce la intervención del potasio, así como del fósforo, en distintas etapas de la formación y la movilización de los glúcidos, así como su papel en establecer el equilibrio entre las fracciones del nitrógeno soluble y el nitrógeno proteico. El potasio participa en las reacciones enzimáticas de síntesis de amidas. El potasio favorece la resistencia de la planta a la sequía al aumentar la capacidad de retención de agua, debido al incremento de la presión osmótica y a la disminución de la transpiración, VIROEL VRÂNCEANU (1977).

Siempre que se habla de nutrición mineral del girasol, las épocas de absorción máxima de elementos nutritivos se consideran como épocas críticas. Sin embargo, BILTEANU y VOICA (1962) constataron que en época crítica, considerada como aquel momento en el que la falta o insuficiencia acentuada de elementos nutritivos ejercen la

acción negativa más fuerte sobre el crecimiento y desarrollo de la planta, no coincide con la época de absorción máxima para ninguno de estos elementos. Los autores comprobaron que la época crítica para cualquiera de los tres elementos básicos es la etapa de crecimiento inicial, en la cual la falta o la insuficiencia de un solo elemento nutritivo, ejerce una influencia negativa fuerte sobre las plantas, influencia que no puede corregirse ulteriormente, aunque se aseguren las mejores condiciones de nutrición. La falta o insuficiencia del medio nutritivo, durante veinte días, de uno de los elementos nitrógeno, fósforo, potasio, durante la época de absorción máxima de estos elementos, influyen muy poco en la producción. Durante la época de crecimiento inicial, la falta de uno de los tres elementos nutritivos, y sobre todo el nitrógeno, determina la disminución acentuada de la actividad de catálisis, BILTEANU y col. (1962).

Al comienzo de la vegetación, el girasol se caracteriza por un más alto contenido porcentual de elementos. La disminución de nutrientes en el tallo, hojas y capítulo, a medida que envejece la planta, fue evidente también en las determinaciones de ROBINSON (1970b). Durante la época de maduración, las semillas tenían una concentración mayor en nitrógeno, fósforo, cinc y cobre que los órganos vegetativos, pero menor en calcio, sodio y hierro. El potasio tuvo una concentración mayor en los órganos vegetativos, VIROEL VRÂNCEANU (1977).

- **Otros nutrientes**

El calcio, igual que el potasio, tiene un papel importante en equilibrar las fracciones de nitrógeno soluble y nitrógeno proteico. Hasta la completa floración, el calcio es absorbido en proporción del 65-70%, acumulándose principalmente en las hojas, VIROEL VRÂNCEANU (1977).

El papel de los microelementos es cada vez más importante, según las investigaciones modernas. El molibdeno, hierro, cobre, magnesio y manganeso están implicados en la reducción de los compuestos nitrados. La concentración alta de manganeso determina un aumento del valor osmótico del exudado de las plantas, HOFNER y HERWING (1966). La insuficiencia de cinc determina la disminución del nivel de auxinas libres y ligadas y aumenta el contenido de los inhibidores endógenos, KRUPNIKOVA y DAVIDOVA (1972).

PINTEA y col. (1961) obtuvieron aumentos de producción al tratar las semillas con Mn, Cu, Mo, B, U, o pulverizando con Zn y U. El cobre, el molibdeno y el cinc aceleran el desarrollo de las plantas, y a la vez la formación del capítulo, y el uranio y el boro atrasaron el desarrollo a principios de la vegetación.

Tanto la insuficiencia como el exceso de boro, influyen desfavorablemente en el metabolismo del fósforo. En ambos casos se nota una reducción de la absorción de fósforo en las plantas, perturbaciones en la distribución en las distintas partes de la planta, y disminución de la intensidad de reutilización desde las partes más viejas de la planta a la inflorescencia.

La tabla RB56 muestra el ritmo de absorción de nutrientes por el girasol en distintas fases de su desarrollo.

Tabla RB56: Absorción de nutrientes por el girasol en distintas fases de su desarrollo, LANCHA ZAPICO (1990)

Estadio	Absorción de nutrientes											
	N (%)				P_2O_5 (%)				K_2O (%)			
Nascencia	50				24				37			
Botón floral		30				38				28		
Principio floración			15				15				33	
Plena floración				5				23				2
Plena fructificación												

La tabla RB57 refleja el contenido de nutrientes principales (nitrógeno, fósforo y potasio) en plantas enteras de girasol en distintas fases de su desarrollo.

Tabla RB57: Contenido en N, P, K de plantas enteras de girasol, en distintas fases vegetativas, BUZINOV y col. (1968).

Fases de desarrollo	% en materia seca			% respecto al contenido máximo		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
2-3 pares de hojas	3,83	0,81	5,83	100	100	100
Formación del capítulo	2,57	0,62	3,99	67	77	69
Floración	1,59	0,48	2,93	42	59	50
Maduración-masa vegetativa	0,73	0,16	3,60	19	20	62
Maduración-semillas	2,90	1,45	1,20	-	-	-

Por último, la tabla RB58 expresa la composición, en tanto por ciento, de elementos nutrientes en distintos órganos y fases de desarrollo del girasol.

Tabla RB58: Composición porcentual de elementos nutritivos por órganos y fases de desarrollo, ROBINSON (1970).

Elementos (%)	Tallo-hojas		Capítulo		Raíces	Semillas
	Fases de desarrollo					
	Germinación	Formación del capítulo	Floración	Madurez	Madurez	Madurez
N	4,43	3,18	1,69	0,69	0,35	2,91
P	0,32	0,36	0,26	0,14	0,05	0,69
K	3,22	3,18	2,01	2,37	0,58	0,82
Ca	1,62	1,67	1,22	1,34	0,35	0,18
Mg	0,91	0,97	0,82	0,71	0,17	0,31
Na	0,004	0,04	0,05	0,04	0,24	0,00
Fe	0,04	0,02	0,007	0,008	0,09	0,005
S	-	-	-	0,18	0,05	0,24

2.7.2 CULTIVO DE CEREALES: TRIGO (*Triticum aestivum* L.) Y CEBADA (*Hordeum vulgare* L.)

2.7.2.1 Ciclo vegetativo de los cultivos

DOMÍNGUEZ VIVANCOS (1997) establece las fases más importantes del ciclo de desarrollo del cultivo de trigo de la siguiente forma:

1. Germinación: Se efectúa por encima de 4ºC mediante la absorción de agua y calor en la capa superficial del suelo (2-4 cm), y con buena aireación.

2. Nascencia o emergencia: en un período de 10-20 días se produce la nascencia con la aparición de la primera hoja, a la vez que se producen las tres raíces primarias.

3. Ahijado: Tras la aparición de la tercera hoja, se produce un engrosamiento en el tercer entrenudo, que constituye la base en la que se forman tallos secundarios de yemas axilares de las primeras hojas. Se generan también raíces secundarias que sustituyen a las primarias. En esta fase, que dura entre 30 y 60 días, se determina la densidad de espigas.

4. Encañado: Se produce en unos 30 días, en los que el crecimiento del tallo, con el alargamiento más o menos intenso de los entrenudos, se lleva a cabo de modo simultáneo con algunas de las fases de la reproducción, como la formación y crecimiento de la espiga dentro del tallo, emergiendo al final de la fase.

5. Espigado: Al final del ahijado, una vez formada la cuarta hoja en la yema apical, ésta se segmenta diferenciándose, para dar lugar a la yema floral.

6. Floración – fecundación: Tras la aparición de la espiga, se produce la formación de flores y la autofecundación en un período de 30 días. Se determina en esta fase el número de granos en cada espiga.

7. Formación del grano: Se desarrolla en dos etapas. En la primera se produce el crecimiento del grano en volumen (20 a 25 días) y, en la segunda, la maduración con la acumulación de almidón y la deshidratación del grano hasta alcanzar una humedad final de 15-16%. Se determina en esta fase el peso de cada grano.

El trigo posee un sistema de raíces fasciculado, potente y superficial (el 80% de la raiz se desarrolla en los primeros 40 cm).

INTA (1981) propone únicamente seis estadios del cultivo de trigo considerando los estadios 5 y 6 del autor anterior como uno sólo.

En general, las condiciones y el ciclo del cultivo de cebada son muy similares a las del trigo, salvo que el sistema radicular de la cebada es algo menos potente y el ciclo general es algo más corto, DOMÍNGUEZ VIVANCOS (1997).

2.7.2.2. Exigencias climatológicas

La temperatura influye en los tres períodos fundamentales o elementos del rendimiento del trigo, DOMÍNGUEZ VIVANCOS (1997):

- Número de espigas por m^2. Ahijado: El ahijado se ve favorecido con baja temperatura relativa, días cortos y con buena iluminación y con buena disponibilidad de nutrientes, especialmente nitrógeno. Cuando las temperaturas aumentan y se alargan los días, se produce una concentración de auxina de crecimiento en las yemas apicales de los tallos principales, al tiempo que la producción de etileno inhibe el desarrollo de las yemas laterales que dan lugar al ahijado. Por el contrario, en las condiciones favorables al ahijado, se encuentra presente la fitohormona citoquinina (derivado de las purinas y de los aminoácidos) y, por ello, es tan importante el nitrógeno adicional en esta fase.
- Número de granos por espiga. Floración-fecundación: en muchas variedades se produce un elevado porcentaje de degeneración de espiguillas, acentuado por la

escasez de nitrógeno, la baja iluminación y la baja temperatura. La sensibilidad de la planta a las heladas tardías en esta fase es muy grande.

- Peso medio de los granos. Formación y maduración del grano: en esta fase tiene una gran influencia el suministro adecuado de nitrógeno y potasio. El agua es otro factor crítico en este período, ya que puede producirse el asurado del grano durante el relleno del mismo, al estado de grano lechoso.
- Además determina un período crítico adicional entre la nascencia y la época en que la planta desarrolla su 3ª y 4ª hoja y alcanza suficiente enraizamiento. Las heladas en este período de extrema sensibilidad son muy perjudiciales ya que pueden dañar irreversiblemente el rizoma. El descenso rápido de temperatura puede ser más perjudicial que un descenso lento, aunque en este caso se alcance una menor temperatura.

La cebada es más sensible al frío invernal que el trigo (entre -8 y -15ºC se acusan perjuicios importantes), DOMÍNGUEZ VIVANCOS (1997).

El agua determina el nivel de producción que se puede alcanzar en una determinada zona. Su escasez en los períodos críticos (floración y maduración) pueden reducir drásticamente la producción. Las deficiencias de agua o sequias estacionales de corta duración, constituyen uno de los principales factores de variación de los rendimientos de trigo de un año a otro, especialmente en las etapas de rápido crecimiento y las reproductivas, como diferenciación floral, espigazón, floración y llenado del grano, INTA (1981).

En presencia de condiciones ambientales desfavorables en alguna etapa de crecimiento, la planta trata de compensar esa acción negativa: se adapta a las modificaciones del ambiente. En efecto, si estas condiciones tienen lugar en las primeras etapas de crecimiento, la planta tiende a producir menos macollos y desarrolla menos su superficie foliar. Si tienen lugar después del macollaje, disminuye el número de tallos fértiles. Si las malas condiciones ocurren durante la espigazón, se reduce el tamaño de las espigas y el número de flores fértiles por espiguilla. Si las condiciones adversas tienen lugar con posterioridad a la fecundación, se producen granos de menor volumen y peso. Durante el período de llenado del grano, las malas condiciones del medio determinan un mayor porcentaje de granos vacíos, INTA (1981).

2.7.3. Necesidades de la planta

En el cultivo de trigo, de acuerdo con lo expresado por DOMÍNGUEZ VIVANCOS (1997), el nitrógeno determina el nivel de producción y aumenta el contenido de proteína del grano.

La respuesta del cultivo al fósforo depende del nivel de fertilidad del suelo.

- Tiene efectos muy positivos, sobre todo, en el estado inicial, favoreciendo el desarrollo radicular y el ahijamiento (incrementa su resistencia la frío), así como en el período crítico de la floración.
- Mejora el índice de transpiración y utilización del agua, reduciendo la sensibilidad a la sequía.
- Presenta una interacción muy positiva con el nitrógeno, potenciándose el efecto de ambos elementos cuando se aplican conjuntamente.

Por lo que respecta al potasio, el efecto de su aplicación sobre la producción depende del nivel de fertilidad del suelo.

- Influye en la precocidad y la resistencia a las enfermedades y el encamado, equilibrando los efectos del nitrógeno.
- Influye en el tamaño y peso específico de los granos.
- Interacciona positivamente con el nitrógeno, ya que su aplicación conjunta los potencia.

Las cantidades de nutrientes extraídas por los cultivos varían según los autores. LOUÉ (1988) aporta los siguientes datos:

	N	P	K	Mg	Ca	Cu	Zn	Mn
Cebada	1,72	0,37	0,57	0,12	0,07	4-8	20-50	30-80
Trigo	1,95	0,37	0,51	0,11	0,06	4-8	20-50	30-80

DOMÍNGUEZ VIVANCOS (1997) afirma que las extracciones totales de elementos nutritivos por el trigo se correlacionan con el nivel de producción que se obtenga. Aunque pueden producirse diferencias con la variedad de la planta y con las condiciones en que se desarrolle el cultivo, las extracciones medias en kilogramos por tonelada de grano producido son las siguientes:

	N	P_2O_5	K_2O
Grano (kg ha^{-1})	20	10	5
Paja (kg ha^{-1})	8	3	15
Total (kg ha^{-1})	28	13	20

De acuerdo con LÓPEZ BELLIDO (1990), el trigo extrae 1,25 kg de P_2O_5 y 1,7 kg de K_2O por cada 100 kg de grano producido.

Para obtener una cosecha de 3000 kg ha^{-1} de grano INTA (1981) establece que se necesitan, 100-110 kg de N, 50-70 kg de P, 70-90 kg de K, 20-30 kg de Mg, 30-40 kg de Ca, 100-200 kg de Fe, 100-200 kg de Mn, 200-300 kg de Zn, 50-100 kg de Cu, 20 kg de Mo y 70-100 kg de B.

La extracción de nutrientes (kg) por cada 100 kg de trigo, propuesta por LALOUX y col. (1980), es la siguiente:

	grano	planta entera
N	1,9	2,4
P_2O_5	1,0	1,25
K_2O	0,5	1,70
CaO	0,15	0,75
MgO	0,15	0,40
S	0,25	0,45

Según los estados de crecimiento, el porcentaje de extracción de nutrientes por el trigo es el representado en la tabla RB59.

Tabla RB59 : Porcentaje de extracción de nutrientes en el trigo, HALVORSON y col. (1987).

Fases del crecimiento	N	P	K	S	Materia seca
Ahijamiento	24	15	14	10	6
Final del encañado	68	65	89	60	50
Grano lechoso	100	100	100	100	86
Maduración *	89	94	73	100	100

* figuran las pérdidas de N, P, K por la caída de la hoja.

Las exigencias de nutrientes en la cebada son del mismo orden que en trigo, algo superiores en potasio y algo inferiores en nitrógeno (véase tabla RB60).

Tabla RB60: Extracción de nutrientes por la cebada FAO (1986).

Nutriente	Kg nutriente/100 kg de cebada	
	Grano	Planta entera
N	1,6	2,4
P_2O_5	0,8	1,1
K_2O	0,5	2,1
MgO	-	0,5
S	-	0,4

2.7.4. Absorción de elementos nutritivos

Las plantas anuales pueden haber absorbido el 75% o más de su provisión de nutrientes, cuando sólo han realizado el 50% de su crecimiento. La acumulación de materia seca presenta un retraso bien definido en comparación con la acumulación de nutrientes. El hecho es particularmente notable en las primeras etapas del crecimiento. Los nutrientes deben absorberse antes de que tenga lugar la producción de materia seca. A causa de ese retraso en la acumulación de materia seca, las plantas jóvenes contienen mayores porcentajes de elementos minerales esenciales que las adultas. La mayoría de los porcentajes de nutrientes disminuyen con el tiempo, aunque algunos pueden volver a aumentar al madurar la semilla, THOMPSON y TROEH (1988).

En los cereales, la concentración de nutrientes disminuye a lo largo del ciclo del cultivo, debido a la dilución en relación a la formación de compuestos de carbono y a una absorción adelantada de los cultivos con respecto a sus necesidades, SOON (1988).

En el trigo, la absorción de todos los elementos se anticipa a la formación de materia seca vegetal, siendo importante a partir del ahijado y a lo largo del encañado hasta la aparición de la espiga. En general tanto el nitrógeno como el potasio se absorben más intensa y precozmente que el fósforo, DOMÍNGUEZ VIVANCOS (1997).

GREGORY y col. (1979) encuentran en trigo:

- Aumento de la concentración de nutrientes hasta alcanzar un máximo a mediados de enero (el fósforo algo más tarde).
- Disminución durante el resto del período de crecimiento, debido a la disminución de la relación del nutriente asimilado con respecto al carbono.
- El sodio presenta el mayor descenso: a mediados de junio su concentración es la sexta parte de la que presenta en enero.
- La concentración de nitrógeno disminuye apreciablemente (a 1/5), el fósforo a 1/3 y el resto a la mitad de la que tenían en enero.

- El descenso de la concentración se interrumpe a principios de mayo, cuando se produce un marcado incremento para muchos de los nutrientes, debido al rápido crecimiento del tallo y muerte de retoños con la posible traslocación de nutrientes.
- Después de esto, los nutrientes varían en comportamiento: sodio y magnesio prácticamente mantienen constante la concentración y el resto continúa el descenso, suave para nitrógeno y fósforo, y acusado para potasio, azufre y calcio.
- Tres semanas antes de la cosecha, la concentración de fósforo aumenta. ROMER y SCHILLING (1986) encuentran que cuando la planta ha desarrollado el 20-35% de la materia seca total, absorbe el 50-60 del fósforo total.

En trigo, THORNE y col. (1988) encuentran que la cantidad de nitrógeno en grano más tallo y el % de nitrógeno en grano desciende con el aumento de lluvia y con el retraso de la siembra, y el % de nitrógeno está positivamente correlacionado con la temperatura y la radiación durante el período de crecimiento del grano.

En cebada, SOON (1988) encuentra descensos en nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio a lo largo del ciclo de cultivo. En especies pratenses (comportamiento comparable a los cereales), GARCÍA y col. (1982) encuentran un descenso en nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, manganeso y cinc con el avance del ciclo de cultivo. Calcio y magnesio suelen descender en los primeros estadios, aumentando al final. El sodio es muy variable.

2.7.5. Aplicación de fertilizantes

El nitrógeno debe distribuirse entre las principales fases del cultivo y ajustarse a sus necesidades. Cuanto más seco es el clima y menos fértil el suelo, tanto más se anticipará la distribución del nitrógeno, y viceversa, DOMÍNGUEZ VIVANCOS (1997).

Algunos estudios han demostrado que la aplicación de nitrógeno en la siembra puede ser más efectiva sobre el rendimiento de la cebada que las aplicaciones realizadas en fases posteriores del cultivo. En efecto, la aplicación de nitrógeno en los estadios vegetativos tempranos mejora el crecimiento y el rendimiento, mientras que en el espigado no tiene apenas efecto sobre el rendimiento. En suelos ligeros es mejor fraccionar el aporte de nitrógeno para conseguir mayor eficacia por la planta, LÓPEZ BELLIDO (1990).

Los fertilizantes nitrogenados pueden disminuir el porcentaje de otros elementos minerales en el cultivo. Con el suministro de nitrógeno, las plantas crecen con tal rapidez que los porcentajes de otros elementos se ven reducidos, aunque, en cada uno de ellos, la absorción total sea mayor, THOMPSON y TROEH (1988).

La aplicación de fósforo y potasio es flexible en el tiempo, dependiendo de las características del suelo. A medida que el suelo es menos fértil hay que localizar estos elementos en las raíces, en profundidad y en fecha próxima a la siembra para lograr mayor eficacia, DOMÍNGUEZ VIVANCOS (1997). El fósforo y el potasio se aplican en sementera, en forma tanto más localizada cuanto más pobre sea el suelo. El nitrógeno se distribuirá en sementera y en cobertera.

Los fertilizantes fosforados son mucho más efectivos para aumentar el contenido en fósforo del tejido vegetal, cuando el nitrógeno es abundante. Al aplicar fósforo, el contenido en nitrógeno disminuye si este elemento se encuentra en deficiencia, pero aumenta si es abundante, THOMPSON y TROEH (1988).

2.7.6. Absorción de micronutrientes

Las funciones más destacadas de algunos micronutrientes en la planta son las siguientes, LOUÉ (1988):

- El hierro interviene de manera esencial en la respiración, la síntesis de la clorofila, la fotosíntesis, el metabolismo de las proteínas, la fijación de nitrógeno y la reducción de los nitratos.
- El manganeso es un regulador de los procesos de oxidorreducción, activa las enzimas, interviene en la segunda parte de la fotosíntesis al nivel de la escisión de la molécula de agua y juega un papel esencial en el estado final de la reducción de los nitratos.
- El cinc puede formar parte o ser cofactor de enzimas. Interviene en la síntesis de ácidos nucleicos y de las proteínas, así como en el metabolismo de las auxinas (síntesis de triptófano).
- El cobre interviene en las reacciones de oxidorreducción, en particular en las oxidaciones finales. Forma parte de muchas enzimas. Interviene en la fotosíntesis, en el metabolismo de las paredes celulares, en la fijación de nitrógeno y en la degradación de las proteínas.

Los contenidos de microelementos en la planta reflejan las disponibilidades correspondientes del suelo en dichos elementos resultando principalmente de las condiciones de asimilabilidad. Varían durante el crecimientos de la planta, a menudo se producen reducciones de los contenidos en función de la simple dilución que resulta de un mejor desarrollo, LOUÉ (1988).

La asimilación por las plantas de los micronutrientes está regida por una gran variedad de reacciones que incluye: complejación con ligandos orgánicos e inorgánicos, cambio iónico y absorción, precipitación y disolución de sólidos y equilibrios ácido-base. La materia orgánica juega el papel fundamental, aumentando la asimilabilidad por las plantas y reduciendo los efectos tóxicos de los cationes libres. Los elementos traza, que se convertirían en precipitados insolubles al pH de la mayor parte de los suelos, se mantienen en solución a través de la quelación, CHEN y STEVENSON (1986).

Los factores que influyen en la asimilabilidad de los micronutrientes son, LOUÉ (1988):

- pH: El pH elevado perjudica la asimilabilidad de Fe, Mn, Cu, Zn y B.
- Materia orgánica por quelación, suele interferir en la asimilación de Mn, de Zn y a veces de Fe
- Textura del suelo: Disminuye la cantidad de Co, Cu y Mn solubles en función del contenido creciente de elementos gruesos (no la de Zn). La cantidad de arcilla está correlacionada significativa y positivamente con Cu, Mn y B y negativamente con Fe, SAHU y col. (1990).

- Microorganismos: Influyen a través de la liberación de iones durante la descomposición de la materia orgánica, la inmovilización por incorporación a los tejidos microbianos, la oxidación a una forma menos asimilable o la reducción de la forma oxidada.
- Interacciones entre elementos nutritivos: De los tres elementos principales de la fertilización (N, P, K), es el fósforo el que presenta interacciones más importantes con los microelementos. Una fertilización fosfatada muy elevada puede producir reducciones de la asimilación de Fe, Cu, Mn y sobre todo Zn, WALLACE y col. (1978); MANDAL y HALDAR (1980); MURPHY y col. (1981); LOUÉ (1988); SHAN y col. (1989). Por otra parte, el exceso de nitrógeno provoca una deficiencia de cobre, LOUE (1988); KUMAR y col. (1990).
- Interacciones entre los propios microelementos: El Fe es perjudicado por elevadas concentraciones de Mn, Cu y Zn. El Mn y Zn son perjudicados por altas concentraciones de Fe.

La tabla RB61 muestra la absorción de algunos de los micronutrientes por los cultivos de cereal y girasol.

Tabla RB61: Absorción de oligoelementos por parte de los cultivos (g ha^{-1}), VILAIN (1997).

Cultivo		**Producción t ha^{-1}**	**Materia seca t ha^{-1}**	**Cu g ha^{-1}**	**Zn g ha^{-1}**	**Mn g ha^{-1}**	**Mo g ha^{-1}**	**B g ha^{-1}**
cereal	grano	5,7	5	20-40	100-250	150-400	1-2,5	12-40
	total			35-70	250-500	250-700	2-4,5	17-80
girasol	grano	2,6		40	110	300	4	350

Los cereales son poco sensibles a la deficiencia en los primeros estados de desarrollo. No existe un calibrado preciso de los contenidos en microelementos de las muestras foliares, que permita interpretar los niveles de nutrición, sin embargo, se conoce la baja sensibilidad a la deficiencia de cinc, boro y molibdeno y su particular sensibilidad a las deficiencias de manganeso y cobre. La sensibilidad es mayor en el trigo que en la cebada, LOUÉ (1988).

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

3.1.1. Equipos de toma de muestra

3.1.1.1. **Purines**: Sonda específica contruida según el diseño de LEIROS DE LA PEÑA y col. (1983b), de acuerdo con las recomendaciones de la FAO, VERMES (1980); esta sonda debe estar provista de un depósito de recogida de 1 litro de capacidad.

3.1.1.2. **Suelos**: Barrena de 40 cm de longitud cuya parte roscada mide 5 cm.

3.1.2. Equipos de laboratorio

- Estufa de desecación Selecta, provista de circulación de aire forzado.
- Horno mufla Stuart Scientific.
- Centrífuga Kubota KR-20000T.
- Molino Retsch, microph 2001 Crison, provisto de rotor y tamiz de óxido de titanio y abertura de tamiz de 1 mm.
- PHmetro MicropH 2001 Crison.
- Conductímetro 525 Crison.
- Espectrofotómetro colorímetro Spectronic 601 Milton Roy.
- Espectrofotómetro de AA, Varian AA-1475 series Atomic Absorption Spectrophotometer, equipado con cámara de grafito GRA-95.
- Espectrofotómetro de AA, Perkin Elmer AAAnalyst 100.
- Unidad de digestión, Block-Digest de Selecta, provista de una unidad de regulación RAT. Regulating Unit.
- Equipo de destilación Tecator, Kjeltest System 1026 Destilling Unit.

3.1.3. Equipos informáticos

Ordenador personal PC, Pentium con sistema operativo Windows 98, provisto de los siguientes programas:

- Procesador de textos: Microsoft Word 97.
- Hoja de cálculo: Microsoft Excel 97.
- Base de datos : Microsoft Access 97Access y Dbase III plus.
- Programas estadísticos: Statgraphics 3.0 y Statistica.

3.2. MÉTODOS DE CAMPO Y LABORATORIO

3.2.1. Toma de muestra

3.2.1.1. **Purines**: Las muestras de purines se han recogido en la fosa de la explotación, a distintas profundidades, mediante la utilización de la sonda especificada en 3.1.1.1, previa agitación del purín en la fosa, en aquellos casos en que la explotación disponía del equipo necesario. La muestra se introducía en un recipiente de polietileno cerrado y conservado a baja temperatura (5 ºC) en una nevera portátil, hasta su traslado al laboratorio, en un tiempo máximo de 24 horas.

3.2.1.2. **Cultivos**: Se recorre la parcela en zig-zag, recogiendo hojas sanas y maduras de cinco plantas cuando se trata de girasol, y la planta entera en el caso de cereales.

3.2.1.3. **Suelos**: La muestra se toma introduciendo la barrena hasta la profundidad de muestreo, para seguidamente tirar de ella hacia arriba, pasando el suelo adherido a una bolsa. La parcela se recorre en zig-zag; se recogen cinco submuestras, que, una vez reunidas, contituyen la muestra final.

3.2.2. Preparación de la muestra

3.2.2.1. **Purines**: La muestra se somete en el laboratorio a una cuidadosa homogeneización durante 10 minutos, utilizando para ello un equipo de agitación, tras lo cual, se procede a realizar las determinaciones inmediatas (pH, conductividad eléctrica, temperatura y densidad) y se recogen submuestras para proceder al secado y las determinaciones a realizar en muestra fresca.

3.2.2.2. **Plantas**: Método oficial de análisis de plantas nº 1 (MAPA 1994)

3.2.2.3. **Suelos**: Método oficial de análisis de suelos nº 1 (MAPA 1994)

3.2.3. Conservación de las muestras

3.2.3.1. **Purines**: La muestra sobrante se conserva en congelador.

3.2.3.2. **Plantas**: Método oficial de análisis de plantas nº 1 (MAPA 1994)

3.2.3.3. **Suelos**: En frascos de polietileno en lugar seco.

3.2.4. Análisis de las muestras

3.2.4.1. Purines: Métodos propuestos por la FAO, VERMES (1980) .

3.2.4.1.1. Densidad: Medida, con densímetro de escala adecuada, sobre muestra fresca.

3.2.4.2.2. Conductividad eléctrica: Medida sobre muestra fresca, utilizando un conductímetro, para luego efectuar las necesarias correcciones en función de la temperatura.

3.2.4.2.3. pH: Medida directa con pHmetro sobre el material fresco, o bien en proporción suelo:agua (1:2), VERMES (1980).

3.2.4.2.4. Materia seca: 100 g de material seco se colocan en una cápsula de tamaño necesario para que la altura del purín sea como máximo de 1 cm. Secar en estufa a 105ºC, hasta peso constante, y como mínimo 24 horas, VERMES (1980).

3.2.4.2.5. Contenido en cenizas-materia orgánica volátil: El material seco (2 gramos) se calcina en horno mufla a 450ºC durante 8 horas, VERMES (1980).

3.2.4.2.6. Nitrógeno total: Sobre muestra fresca se utiliza el método propuesto por la FAO, VERMES (1980), adaptando las cantidades de muestra y reactivos a la utilización de una unidad de digestión y de destilación Tecator.

3.2.4.2.7. Nitrógeno amoniacal: Destilación directa de la muestra fresca en presencia de MgO. Recogida del destilado sobre ácido bórico y valoración con HCl 0,1 N.

3.2.4.2.8. Nitrógeno amoniacal y nítrico: La muestra fresca homogénea se trata con Zn, $FeSO_4$ y H_2O_2; se destila en medio básico fuerte, en una unidad de destilación Tecator. El destilado se recoge sobre H_2SO_4 0,5N y, posteriormente, se valora con NaOH 0,1N.

3.2.4.2.9. Fósforo inorgánico: Tratar la muestra fresca con ácido acético 0,5N en proporción 1:40, agitar 1 hora y filtrar. Determinar el contenido de fósforo en el extracto espectrofotométricamente como en el fósforo total.

3.2.4.2.10. Cloruros: se determinan sobre muestra fresca por valoración con nitrato de plata, VERMES (1980).

3.2.4.2.11. Extracción de las cenizas para la determinación de fósforo y metales, mediante HCl 1M calentando durante 30 minutos, enrasar con agua destilada, VERMES (1980).

3.2.4.2.12. Fósforo total: Se desarrolla el complejo coloreado de fosfovanodomolibdato, y se mide, en el espectrofotómetro, la absorción de este complejo a 430 nm, VERMES (1980).

3.2.4.2.13. Potasio, sodio, calcio, magnesio, cobre, cinc, hierro, manganeso, aluminio molibdeno y plomo: Se miden por espectrofotometría de absorción atómica a las correspondientes longitudes de onda, salvo sodio y potasio (emisión).

3.2.4.2. Cultivos: Análisis foliar.

3.2.4.2.1. Nitrógeno: Método oficial de análisis de plantas nº 2 (MAPA 1994), con las modificaciones necesarias para la utilización de un bloque de digestión y una unidad de destilación Tekator.

3.2.4.2.2. Mineralización de la muestra: Método oficial de análisis de plantas nº 1(bis) (MAPA 1994), con algunas modificaciones según propone CHAPMAN y PRATT (1981), consistentes en el tratamiento en caliente de las cenizas tras la calcinación con HCl cdo, y la posterior recogida del residuo con HCl 2N en caliente, filtrado y lavado insistente con agua desionizada.

Sobre una alícuota del extracto mineralizado se analizan los siguientes elementos:

3.2.4.2.3. Fósforo: Método oficial de análisis de plantas nº 3 (MAPA 1994).

3.2.4.2.4 Potasio: Método oficial de análisis de plantas nº 4 (MAPA 1994).

3.2.4.2.5 Calcio: Método oficial de análisis de plantas nº 6 (MAPA 1994).

3.2.4.2.6 Magnesio: Método oficial de análisis de plantas nº 7 (MAPA 1994).

3.2.4.2.7. Cobre: Método oficial de análisis de plantas nº 9 (MAPA 1994).

3.2.4.2.8. Cinc: Método oficial de análisis de plantas nº 11 (MAPA 1994).

3.2.4.2.9. Hierro: Método oficial de análisis de plantas nº 8 (MAPA 1994).

3.2.4.2.10. Manganeso: Método oficial de análisis de plantas nº 10 (MAPA 1994).

3.2.4.2.11. Sodio: Método oficial de análisis de plantas nº 5 (MAPA 1994).

3.2.4.3 Suelos

3.2.4.3.1. Textura: Método oficial nº 2(b) (MAPA 1994)

3.2.4.3.2. pH (1:2,5): Método oficial nº 1 (MAPA 1994)

3.2.4.3.3. Conductividad eléctrica: Se utiliza la misma suspensión suelo:agua de la medida del pH mientras no se supere el límite de salinidad, en cuyo caso se mediría sobre el extracto de saturación del suelo según el Método oficial nº 7 (MAPA 1994)

3.2.4.3.4. Carbonatos: Método oficial nº 3(a) (MAPA 1994)

3.2.4.3.5. Carbono orgánico oxidable y materia orgánica: Método oficial nº 25 (MAPA 1994)

3.2.4.3.6. Capacidad de cambio catiónico: Método del cloruro de bario-trietanolamina, BASCOMB (1964). Extracción de los iones del suelo con una solución de cloruro de bario y trietanolamina 0,2 N; remplazamiento del Ba^{2+} fijado, por Mg^{2+} mediante una solución de sulfato magnésico 0,1 N, y determinación del Mg^{2+}, invertido en remplazar el Ba^{2+}, por valoración con disolución de EDTA 0,05 N, utilizando negro de eriocromo T como indicador.

3.2.4.3.7. Cationes de cambio (Na, K, Ca y Mg): Método oficial nº10 (MAPA 1994)
3.2.4.3.9. Nitrógeno: Método oficial nº 8 (MAPA 1994); las cantidades de muestra y reactivos se han modificado para efectuar la digestión en un bloque digestor y la destilación en una unidad Tekator.

3.2.4.3.10. Fósforo soluble en bicarbonato sódico: Método oficial nº 4(b) (MAPA 1994)

3.2.4.3.11. Metales (Cu, Zn, Fe y Mn): Método propuesto por LINDSAY y NORVELL (1969 y 1978), consistente en la extracción de los metales del suelo con DTPA 0,005 M, $CaCl_2.2\ H_2O$ 0,01 M, TEA 0,1 M, pH=7,3, y determinación en el extracto por espectrofotometría de absorción atómica.

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL PURÍN DE GANADO PORCINO

4.1.1 SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE PURÍN

Se han analizado 151 muestras de purines de ganado porcino pertenecientes a 83 explotaciones situadas en la región de Castilla-León (véase tabla AP1.1, apéndice 1). Las muestras se distribuyen por provincias de la siguiente forma: Palencia (44), Valladolid (39), Burgos (25), Salamanca (29) y Segovia (14), y han sido recogidas en un período que abarca desde junio de 1989 hasta marzo de 1991.

Las muestras se han clasificado en tres tipos, siguiendo las indicaciones de FERRER y col. (1983), según procedan de explotaciones de:

- Maternidad (64 muestras): cerdas gestantes, lactantes y lechones hasta 14-16 kg de peso vivo.
- Ciclo cerrado (35 muestras): maternidad y engorde en una sola unidad de producción con almacenamiento de todos los efluentes en una misma fosa.
- Engorde (52 muestras): cerdos desde 14-16 kg hasta el peso de sacrificio.

La toma de muestra se realiza según el procedimiento descrito en los apartados 3.1.1.1 y 3.2.1.1 del presente trabajo. Para la homogeneización de la muestra en el laboratorio se procede según se indica en 3.2.2.1.

De cada una de las muestras se han analizado 27 parámetros de composición siguiento los procedimientos indicados en 3.2.4.1, procediendo a realizar un estudio estadístico cuyos resultados se muestran, a continuación, para el total de las muestras y según los tres tipos de unidades de producción en los que se han clasificado.

4.1.2 COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL PURÍN

4.1.2.1 Total muestras

En la tabla CP1 aparecen reflejados los parámetros más significativos del estudio estadístico realizado a las variables analizadas sobre la totalidad de las muestras tomadas en el presente trabajo.

De los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

1. La densidad del purín varía entre 1,000 y 1,094, lo cual puede deberse, por una parte, a la cantidad de agua utilizada para lavar el establo, según apuntan LEIRÓS DE LA PEÑA y col. (1983b), y por otra, al tipo de fosa utilizada para la recogida de los purines. En caso de ser abierta la fosa, la densidad del purín se verá influenciada por la pluviometría del lugar durante la estancia del mismo; en el caso de ser cerrada, la dilución producida por el lavado del establo será el factor más influyente sobre la variación de la densidad.

2. El contenido de materia seca del purín presenta una gran variación (C.V.=115,02) entre los valores 2,29 y 199,5 g kg^{-1} y un valor medio de 32,41. Esta variación se debe a factores semejantes a los comentados al hablar de la densidad; factores comentados también en sus trabajos por COPPENET (1974) y LEIRÓS DE LA PEÑA y col. (1983b).

Los altos coeficientes de variación obtenidos para la mayoría de los parámetros analizados muestran la elevada heterogeneidad de los purines. El contenido de materia seca no es el único factor responsable de esta variabilidad ya que, al expresar los resultados en materia seca, solamente en algunos casos se reducen los coeficientes de variación. Otros factores tales como el grado de mezcla del purín, tipo de explotación y dieta del animal serán también importantes, LECOMTE (1979).

3. El contenido de cenizas o materia mineral del purín está comprendido, en el material húmedo, entre 1,10 y 45,73 g kg^{-1}, con un coeficiente de variación bastante elevado (90,30). Sin embargo, el coeficiente de variación es mucho menor al referirlo al material seco (C.V.=31,59), lo cual indica que la cantidad de cenizas en el purín es bastante constante, variando su concentración en función de la dilución, de acuerdo con lo indicado por LEIRÓS DE LA PEÑA y col. (1983b). Los valores medios obtenidos se sitúan en 9,04 g kg^{-1} para el purín fresco, tal cual se recoge en la fosa, y 361,3 g kg^{-1} sobre materia seca.

4. La conductividad oscila entre 0,201 y 7,518 S m^{-1} (valor promedio de 1,559 y coeficiente de variación de 60,58).

5. La mayoría de los purines analizados posee un valor de pH por encima de la neutralidad. LEIRÓS DE LA PEÑA y col. (1983b) atribuye a los purines propiedades correctoras de la acidez del suelo, mientras que otros autores recomiendan la adición de cal al purín para compensar su efecto acidificante, tal y como figura en el folleto editado por el Ministere de l'Environnement francés. LECOMTE (1979) afirma que la incorporación de efluentes animales no influye sobre el pH del suelo, ya que está comprobado que la acidificación de suelos de su país (Bélgica) es causada, fundamentalmente, por la modificación de las prácticas agrarias como son la reducción en la aportación de cal, el incremento del uso de fertilizantes minerales y el arado profundo. De las 151 muestras analizadas en el presente trabajo, solamente 12 presentan un valor de pH inferior a 7, y únicamente dos de ellas dan un valor de pH inferior a 6.

6. Paralelamente a la tendencia observada en el caso de las cenizas, el contenido en materia orgánica en el purín oscila entre 1,12 g kg^{-1} y 160,7 g kg^{-1} sobre material húmedo, presentando un valor medio de 23,31 g kg^{-1} y un alto coeficiente de variación (127,22). Sin embargo, al referirnos a materia seca, la variación es muy pequeña (C.V.=18,01), lo cual nos indica que los contenidos absolutos de materia orgánica son sensiblemente constantes, y solo influirá la dilución del purín cuando se hable de concentración.

7. El contenido en nitrógeno total oscila entre 0,61 y 12,19 g kg^{-1} sobre materia seca, con un coeficiente de variación no demasiado elevado (57,16) y un valor medio de 3,22 g kg^{-1}.

Si consideramos los contenidos sobre materia seca de las distintas formas de nitrógeno, observamos que aproximadamente el 75% del nitrógeno del purín se encuentra en forma inorgánica, fundamentalmente como nitrógeno amoniacal, representando éste el

57% sobre el contenido total de nitrógeno, valor muy similar al 60% encontrado por GERMON y col. (1979) y 60-70% que señala BERTRAND (1993). El resto de nitrógeno, aproximadamente un 25%, corresponde a formas orgánicas.

Los coeficientes de variación del nitrógeno total y de las distintas formas de nitrógeno, no presentan grandes diferencias cuando las variables se refieren a material húmedo o seco, debido posiblemente a la distribución entre ambas fases (líquida y sólida).

8. Los valores medios encontrados para las relaciones C/N son de 3,57 cuando se refiere al nitrógeno total y 24,90 cuando se refiere al nitrógeno orgánico. Teniendo en cuenta que la fracción inorgánica se encuentra en la fase líquida del purín y la orgánica en la fase sólida, algunos autores, como LEIRÓS y col. (1983b), indican la necesidad de mantener en contacto ambas fases del purín en el suelo con objeto de conseguir unas mejores condiciones de mineralización; este contacto entre fases se produce inmediatamente después de aplicar el purín al suelo (al separar la fase sólida se elimina con ella la mayor parte de la materia orgánica y, junto con ésta, el carbono). Sin embargo, con el transcurso de los días se producirá una separación de fases, permaneciendo la sólida en la superficie y percolando la líquida hacia zonas más profundas.

La relación C/N influye en la disponibilidad del nitrógeno. Cuando es elevada, los microorganismos del suelo precisan de nitrógeno adicional para descomponer el carbono y se producirá inmovilización del nitrógeno en forma orgánica. Por contra, un valor bajo de la relación C/N indica contenidos elevados de nitrógeno amoniacal (puesto que es el componente mayoritario) y puede ser considerado como un fertilizante mineral, THIBAUDEAU (1997).

Además, una relación C/N demasiado baja en el purín implica una mineralización rápida de la materia orgánica del suelo; es por ello que el aporte de purines al suelo puede provocar una pérdida de materia orgánica. En consecuencia, la relación C/N del purín no podrá tomarse como índice de mineralización, ya que no se corresponde exactamente con los resultados obtenidos en las experiencias de incubación. Será preciso realizar estudios complementarios acerca de la descomposición del purín en el suelo y su influencia sobre la inmovilización y mineralización del nitrógeno, tal y como proponen FLOWERS y ARNOLD (1983) y SKJEMSTAD y col. (1987).

9. El contenido medio en fósforo total sobre material húmedo es de 0,820 g kg^{-1}, oscilando los valores extremos entre 0,043 y 3,860 g kg^{-1}. La mayor parte del fósforo se encuentra en forma inorgánica (aproximadamente un 80% del total) directamente asimilable por las plantas; el resto (20%) está presente en forma orgánica.

La gran variación en la concentración de fósforo, con coeficientes de variación superiores a 100 en todos los casos, disminuye mucho cuando el fósforo se expresa sobre materia seca (C.V. próximos a 50 en la mayor parte de las muestras), lo cual según DUTHION y col. (1979) se debe al hecho de que el fósforo se encuentra presente fundamentalmente en la fracción sólida del purín.

10. La cantidad de calcio presente en los purines de ganado porcino es de 1,103 g kg^{-1} y la de magnesio de 0,222 g kg^{-1}, lo que da lugar a una relación Ca/Mg de 5, semejante a la requerida por el suelo. Los coeficientes de variación en ambos casos son superiores a

100 cuando las variables se refieren a material húmedo y se reducen a menos de la mitad en material seco. Al igual que el fósforo, ambos elementos se localizan principalmente en la fracción sólida del purín, DUTHION y col. (1979).

11. Los contenidos en potasio (1,008 g kg^{-1}) son similares a los de cloruros (0,912 g kg^{-1}) y bastante superiores a los de sodio (0,235 g kg-1). Estos elementos presentan una tendencia opuesta a todos los demás, ya que sus coeficientes de variación son muy superiores cuando las concentraciones se expresan sobre materia seca, lo cual indica su presencia mayoritaria en la fase líquida del purín debido a su gran solubilidad, DUTHION y col. (1979).

12. Por lo que respecta al resto de metales analizados, se encuentran dentro de los valores encontrados por NICHOLSON y col. (1999) y CALVO y col. (2000). Es de destacar la riqueza del purín en hierro y aluminio (sobre materia seca), con valores medios superiores a 1000 mg kg^{-1}, algo inferiores en el caso del cinc (694 mg Kg^{-1}), seguidos del cobre y manganeso, con valores cercanos a 300 mg kg^{-1}. Plomo y molibdeno aparecen en cantidades muy pequeñas y, en bastantes casos, no detectables al nivel de medida utilizado. Los coeficientes de variación se sitúan en torno al valor 150 sobre materia fresca para todos los metales excepto el aluminio que presenta un valor muy superior. Los coeficientes se reducen prácticamente a la mitad cuando los contenidos se refieren a materia seca, debido nuevamente a su presencia mayoritaria en la fracción sólida, DUTHION y col. (1979).

Tabla CP1: Resumen Estadístico (Total muestras, n=151

Variable	Valor medio	Error estándar	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Valor mínimo	Mediana	Valor máximo
Conductividad ($S\ m^{-1}$)	1,559	0,0768	0,944	60,58	0,201	1,378	7,518
Densidad ($g\ cm^{-3}$)	1,015	0,0011	0,013	1,30	1,000	1,011	1,094
pH (1:2)	7,59	0,0357	0,44	5,77	5,85	7,59	8,65
Cenizas *	9,04	0,664	8,16	90,30	1,10	5,74	45,73
(g kg-1) **	361,3	9,287	114,12	31,59	136,1	361,2	701,4
Materia Seca ($g\ kg^{-1}$)	32,41	3,028	37,28	115,02	2,29	15,4	199,5
Mat. Org. *	23,31	2,414	29,66	127,22	1,12	9,81	160,7
($g\ kg^{-1}$) **	640,9	9,395	115,44	18,01	298,5	638,6	947,8
Cloruros *	0,912	0,0441	0,542	59,38	0,144	0,819	5,476
($g\ kg^{-1}$) **	63,00	5,476	67,29	106,83	2,80	50,83	687,13
NH_4-N *	1,86	0,102	1,258	67,50	0,04	1,64	10,26
($g\ kg^{-1}$) **	101,3	5,462	67,12	66,26	3,19	84,03	352,7
Inorg-N *	2,61	0,132	1,524	58,33	0,41	2,25	10,78
($g\ kg^{-1}$) **	134,3	6,760	78,26	58,28	7,11	127,1	384,3
Org - N *	0,75	0,063	0,735	98,11	0,05	0,58	6,82
($g\ kg^{-1}$) **	44,53	4,234	49,02	110,06	2,08	23,54	279,5
Total- N *	3,22	0,150	1,843	57,16	0,61	2,80	12,19
($g\ kg^{-1}$) **	179,7	9,065	111,39	61,98	19,46	158,7	663,7
Inorg-P *	0,661	0,057	0,702	106,17	0,039	0,368	3,750
($g\ kg^{-1}$) **	23,14	1,035	12,72	54,96	7,47	20,40	95,12
Org - P *	0,138	0,018	0,163	118,63	0,003	0,061	0,905
($g\ kg^{-1}$) **	4,12	0,263	2,41	58,48	0,416	3,89	13,21
Total - P *	0,820	0,072	0,824	100,47	0,043	0,490	3,860
($g\ kg^{-1}$) **	26,54	2,020	23,03	86,76	9,41	23,13	251,6
C/N_{Tot}	3,57	0,295	3,63	101,53	0,41	2,21	25,22
C/N_{Org}	24,90	2,62	30,38	122,01	1,01	15,50	215,76
K *	1,008	0,050	0,619	61,41	0,088	0,854	5,217
($g\ kg^{-1}$) **	65,29	6,44	79,12	121,18	1,64	53,16	897,8
Mg *	0,222	0,021	0,263	118,28	0,004	0,108	1,704
($g\ kg^{-1}$) **	7,16	0,33	4,05	56,52	0,674	6,43	27,60
Ca *	1,103	0,105	1,294	117,34	0,039	0,600	7,576
($g\ kg^{-1}$) **	36,50	1,01	12,41	33,99	7,36	35,96	72,53
Na *	0,235	0,016	0,198	84,56	0,017	0,177	1,482
($g\ kg^{-1}$) **	14,18	1,11	13,62	96,02	0,926	11,07	90,00
Zn *	24,7	2,88	35,39	143,31	0,31	11,59	261
($mg\ kg^{-1}$) **	694	35,53	436,6	62,90	62,9	637	2559
Cu *	13,3	1,63	20,02	150,56	0,07	4,36	125
($mg\ kg^{-1}$) **	352	22,89	281,3	79,87	8,6	270	1306
Pb *	0,29	0,034	0,423	143,31	0	0,136	3,255
($mg\ kg^{-1}$) **	8,96	0,508	6,247	69,71	0	7,99	41,23
Mo *	0,29	0,040	0,493	167,58	0	0,109	3,031
($mg\ kg^{-1}$) **	8,56	0,836	10,27	120,04	0	6,61	59,75
Al *	35,9	6,99	86,88	238,84	0,48	10,2	846
($mg\ kg^{-1}$) **	1003	151,6	1863	185,81	67,7	558	16814
Mn *	12,3	1,42	17,41	141,12	0,24	4,9	95,3
($mg\ kg^{-1}$) **	331	27,50	338	101,99	22,4	289	3945
Fe *	75,0	9,63	118,3	157,66	1,51	31,4	809,4
($mg\ kg^{-1}$) **	1947	109,5	1346	69,13	205	1803	9735

* Variables sobre materia húmeda; ** Variables sobre materia seca.

4.1.2.2 Según tipos de explotación

En las tablas CP2, CP3 y CP4 se muestran los valores medios y algunos parámetros de dispersión del resultado de los análisis realizados sobre los tres tipos de unidades de producción (maternidad, ciclo cerrado y engorde), referidos al peso del material fresco y sobre materia seca. La tabla CP9 compara los valores medios de las variables analizadas.

Como puede observarse en las tablas mencionadas, los valores pertenecientes a las explotaciones de ciclo cerrado son intermedios entre los de engorde y maternidad para la mayor parte de las variables, lo cual era de esperar, ya que las granjas de ciclo cerrado son un tipo mixto de las otras dos, de acuerdo con lo señalado por FERRER y col.(1983).

1. La densidad y el pH presentan valores semejantes en los tres tipos de explotación así como en el total de las muestras, no apareciendo diferencias significativas entre las explotaciones. Sin embargo, la conductividad es mucho mayor en las de engorde (1,857 S m^{-1}) que en las de maternidad (1,441 S m^{-1}) y en las de ciclo cerrado (1,332 S m^{-1}).

2. La menor riqueza en materia seca del purín procedente de explotaciones de maternidad (21,36 g kg^{-1}), frente a las de engorde (42,53 g kg^{-1}) y ciclo cerrado (36,13 g kg^{-1}), se debe, según COPPENET (1974); GERMON y col. (1979) y FERRER y col.(1983), al hecho de que los animales en este estado fisiológico excretan la mayor parte (80-90%) en forma de deyecciones líquidas con un bajo contenido en materia seca.

3. Teniendo en cuenta que la materia seca de los orines es básicamente materia mineral, podremos comprender los valores obtenidos para esta variable en los diferentes tipos: maternidad (6,99 g kg^{-1}), ciclo cerrado (8,98 g kg^{-1}) y engorde (11,60 g kg^{-1}). Por el contrario, el contenido en cenizas en la materia seca es menor en los purines procedentes de explotaciones de ciclo cerrado (323 g kg^{-1}) que en las de engorde (340,3 g kg^{-1}) y maternidad (399,3 g kg^{-1}), lo cual concuerda en parte con lo afirmado por FERRER y col. (1983), que encuentra valores de materia mineral respecto a la materia seca menores en el caso de engorde que en los de ciclo cerrado y maternidad.

4. El contenido en nitrógeno total, sobre materia húmeda, es superior en las muestras de explotaciones de engorde (4,08 g kg^{-1}) que en las de explotaciones de maternidad (2,61 g kg^{-1}) y ciclo cerrado (3,07 g kg^{-1}), de acuerdo con lo indicado por GERMON y col. (1979). Sin embargo, de manera distinta a lo señalado por FERRER y col. (1983) que obtiene diferencias significativas entre los tres grupos, en el presente trabajo éstas sólo se han encontrado entre el primer grupo y los otros dos, pero no entre estos dos últimos. Algo parecido sucede con las formas de nitrógeno analizadas. El nitrógeno total referido a materia seca sigue una secuencia totalmente distinta, presentando mayores valores en maternidad (210,9 g kg^{-1}) que en ciclo cerrado (159,2 g kg^{-1}) y engorde (155,1 g kg^{-1}), apareciendo únicamente diferencias significativas entre maternidad y los otros dos grupos.

Tabla CP2: Resumen Estadístico (Maternidad, n=64)

Variable	Valor medio	Error estándar	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Valor mínimo	Mediana	Valor máximo
Conductividad ($S\ m^{-1}$)	1,237	0,1269	1,015	70,47	0,453	1,237	7,518
Densidad ($g\ cm^{-3}$)	1,012	0,0012	0,009	0,93	1,001	1,009	1,060
PH (1:2)	7,68	0,0541	0,43	5,63	6,23	7,67	8,65
Cenizas * (g kg-1) **	6,99 399,3	0,912 14,57	7,30 116,54	104,44 29,19	1,10 192,5	4,65 374,7	45,73 701,4
Materia Seca ($g\ kg^{-1}$)	21,36	3,284	26,27	122,99	3,29	12,6	132,2
Mat. Org. * ($g\ kg^{-1}$) **	14,40 602,7	2,415 14,919	19,32 119,35	134,16 19,80	1,12 298,6	7,46 619,8	86,47 825,6
Cloruros * ($g\ kg^{-1}$) **	0,866 76,79	0,0580 452	0,464 51,61	53,57 67,21	0,297 3,79	0,761 61,45	3,088 191,23
NH_4-N * ($g\ kg^{-1}$) **	1,50 113,5	0,124 9,363	0,989 74,90	66,06 65,99	0,04 3,19	1,30 99,53	6,28 352,7
Inorg-N * ($g\ kg^{-1}$) **	2,07 158,6	0,158 12,145	1,150 88,41	55,61 55,75	0,53 27,46	1,76 40,9	7,21 384,3
Org - N * ($g\ kg^{-1}$) **	0,67 59,24	0,065 8,353	0,475 60,81	71,27 102,65	0,05 2,38	0,60 36,32	2,13 279,5
Total- N * ($g\ kg^{-1}$) **	2,61 210,9	0,167 16,066	1,337 128,53	51,14 60,94	0,61 33,86	2,40 187,9	8,31 663,7
Inorg-P * ($g\ kg^{-1}$) **	0,514 24,63	0,081 2,011	0,649 16,09	126,15 65,32	0,039 7,65	0,280 20,80	3,750 95,12
Org - P * ($g\ kg^{-1}$) **	0,120 4,35	0,020 0,394	0,175 2,300	144,97 52,86	0,003 0,481	0,055 3,904	0,905 13,21
Total - P * ($g\ kg^{-1}$) **	0,690 30,05	0,118 5,006	0,826 35,04	119,70 116,62	0,043 10,92	0,34 24,72	3,541 251,6
C/N_{Tot}	2,78	0,326	2,61	94,04	0,41	1,77	13,83
C/N_{Org}	20,60	4,05	29,50	143,18	1,01	10,86	178,31
K * ($g\ kg^{-1}$) **	0,861 71,93	0,054 5,55	0,434 44,44	50,37 61,78	0,155 4,78	0,773 61,39	2,653 179,1
Mg * ($g\ kg^{-1}$) **	0,174 7,26	0,035 0,14	0,281 1,11	161,37 66,72	0,004 0,674	0,077 6,29	1,704 27,60
Ca * ($g\ kg^{-1}$) **	0,797 37,88	0,139 1,61	1,113 12,88	139,63 34,02	0,039 7,36	0,458 38,53	7,576 72,53
Na * ($g\ kg^{-1}$) **	0,214 17,94	0,019 1,98	0,156 15,85	72,65 88,36	0,017 1,563	0,164 14,13	0,834 90,00
Zn * ($mg\ kg^{-1}$) **	19,7 732,3	4,56 66,19	36,46 529,5	184,91 72,30	0,31 62,9	8,17 640	261 2559
Cu * ($mg\ kg^{-1}$) **	8,9 290	2,33 35,00	18,68 279,9	208,51 96,41	0,07 13,77	2,49 194	125 1306
Pb * ($mg\ kg^{-1}$) **	0,19 8,69	0,031 0,664	0,249 5,311	128,77 61,07	0 0	0,104 8,10	1,006 23,09
Mo * ($mg\ kg^{-1}$) **	0,18 7,76	0,050 1,298	0,401 10,39	217,88 133,86	0 0	0,071 6,23	2,744 48,64
Al * ($mg\ kg^{-1}$) **	18,9 680	4,06 73,9	32,50 591	172,14 86,95	0,48 89,3	7,1 571	158 3775
Mn * ($mg\ kg^{-1}$) **	8,3 283	1,79 19,86	14,35 159	172,60 56,17	0,24 45,1	3,1 254	91,1 689
Fe * ($mg\ kg^{-1}$) **	59,8 1948	15,35 200,3	122,8 1602	205,32 82,23	1,51 309	17,0 1650	809,4 9735

* Variables sobre materia húmeda; ** Variables sobre materia seca.

Tabla CP3: Resumen Estadístico (Ciclo Cerrado, n=35)

Variable	Valor medio	Error estándar	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Valor mínimo	Mediana	Valor máximo
Conductividad ($S\ m^{-1}$)	1,332	0,1035	0,612	45,97	0,201	1,267	7,518
Densidad ($g\ cm^{-3}$)	1,016	0,0023	0,013	1,32	1,000	1,012	1,094
PH (1:2)	7,49	0,0774	0,46	6,11	5,85	7,44	8,65
Cenizas *	8,98	1,358	8,03	89,44	1,35	6,03	45,73
(g kg-1) **	323,0	16,77	99,24	30,73	136,1	343,8	701,4
Materia Seca ($g\ kg^{-1}$)	36,13	6,450	38,16	105,62	4,30	17,6	199,5
Mat. Org. *	26,99	5,325	31,50	116,71	2,57	10,12	160,7
($g\ kg^{-1}$) **	668,1	16,864	99,77	14,93	498,0	656,2	947,8
Cloruros *	0,758	0,0491	0,291	38,36	0,144	0,750	5,476
($g\ kg^{-1}$) **	44,97	5,183	30,66	68,18	2,80	36,14	687,13
NH_4-N *	1,69	0,162	0,960	56,65	0,12	1,44	10,26
($g\ kg^{-1}$) **	87,02	10,233	60,54	69,56	6,41	69,13	352,7
Inorg-N *	2,47	0,237	1,361	55,22	0,41	2,28	10,78
($g\ kg^{-1}$) **	114,6	11,995	68,91	60,13	7,11	111,1	384,3
Org - N *	0,70	0,081	0,468	67,13	0,17	0,61	6,82
($g\ kg^{-1}$) **	42,44	7,786	44,73	105,37	2,08	22,74	279,5
Total- N *	3,07	0,261	1,544	50,34	1,21	2,86	12,19
($g\ kg^{-1}$) **	159,2	16,361	96,80	60,80	19,46	150,6	663,7
Inorg-P *	0,673	0,106	0,627	93,19	0,110	0,448	3,750
($g\ kg^{-1}$) **	24,10	2,065	12,22	50,70	7,47	23,28	95,12
Org - P *	0,112	0,027	0,123	109,78	0,014	0,060	0,905
($g\ kg^{-1}$) **	4,21	0,788	3,525	83,72	0,416	2,808	13,21
Total - P *	0,773	0,126	0,734	95,01	0,080	0,553	3,860
($g\ kg^{-1}$) **	26,54	2,382	13,89	52,33	9,41	23,76	251,6
C/N_{Tot}	4,56	0,911	5,39	118,20	0,82	2,33	25,22
C/N_{Org}	28,55	6,88	39,55	138,51	2,23	17,11	215,76
K *	0,746	0,067	0,397	52,21	0,088	0,736	5,217
($g\ kg^{-1}$) **	42,71	5,24	31,00	72,60	1,64	43,22	897,8
Mg *	0,231	0,040	0,237	102,70	0,031	0,121	1,704
($g\ kg^{-1}$) **	7,46	0,53	3,13	41,96	1,511	7,18	27,60
Ca *	1,211	0,231	1,368	112,98	0,115	0,682	7,576
($g\ kg^{-1}$) **	37,70	2,19	12,95	34,36	13,70	41,41	72,53
Na *	0,232	0,049	0,293	126,33	0,033	0,151	1,482
($g\ kg^{-1}$) **	11,38	1,94	11,46	100,67	1,089	7,81	90,00
Zn *	24,9	5,32	31,46	126,06	1,14	11,61	261
($mg\ kg^{-1}$) **	742,1	60,75	359,4	48,43	173,9	730	2559
Cu *	13,3	3,29	19,45	146,42	0,486	6,02	125
($mg\ kg^{-1}$) **	414	50,13	296,6	71,63	27,38	327	1306
Pb *	0,32	0,078	0,461	144,80	0	0,134	3,255
($mg\ kg^{-1}$) **	9,05	1,252	7,409	81,84	0	7,69	41,23
Mo *	0,35	0,097	0,574	165,18	0	0,173	3,031
($mg\ kg^{-1}$) **	9,81	1,608	9,51	97,02	0	7,61	59,75
Al *	36,9	12,42	73,50	199,27	1,45	13,2	846
($mg\ kg^{-1}$) **	947	200,1	1184	124,96	181,7	677	16814
Mn *	12,7	2,80	16,59	130,22	0,88	6,3	95,3
($mg\ kg^{-1}$) **	344	24,69	146	42,43	96,6	331	3945
Fe *	81,5	21,26	125,8	154,25	3,42	44,0	809,4
($mg\ kg^{-1}$) **	2159	195,6	1157	53,60	521	2016	9735

* Variables sobre materia húmeda; ** Variables sobre materia seca.

Tabla CP4: Resumen Estadístico (Engorde, n=52)

Variable	Valor medio	Error estándar	Desviación estándar	Coeficiente De variación	Valor mínimo	Mediana	Valor máximo
Conductividad ($S\ m^{-1}$)	1,857	0,1356	0,978	52,67	0,550	1,651	5,166
Densidad ($g\ cm^{-3}$)	1,019	0,0022	0,016	1,58	1,004	1,012	1,094
PH (1:2)	7,53	0,0578	0,42	5,53	6,55	7,56	8,35
Cenizas *	11,60	1,202	8,67	74,71	1,56	8,36	38,89
(g kg-1) **	340,3	14,99	108,12	31,77	141,1	338,5	601,9
Materia Seca ($g\ kg^{-1}$)	42,53	6,166	44,47	102,16	4,17	24,1	199,5
Mat. Org. *	31,81	4,966	35,81	112,57	2,61	16,35	160,66
($g\ kg^{-1}$) **	669,7	15,054	108,56	16,21	466,0	663,8	947,8
Cloruros *	1,072	0,0976	0,704	55,76	0,261	0,959	5,476
($g\ kg^{-1}$) **	58,13	13,094	94,42	162,42	5,87	40,05	687,13
NH_4-N *	2,43	0,211	1,523	62,76	0,65	2,20	10,26
($g\ kg^{-1}$) **	95,85	8,227	59,32	61,89	12,73	92,64	281,5
Inorg-N *	3,31	0,250	1,730	52,24	0,89	2,96	10,78
($g\ kg^{-1}$) **	120,9	9,497	65,80	54,40	22,00	117,6	261,8
Org - N *	0,88	0,152	1,051	119,86	0,13	0,57	6,82
($g\ kg^{-1}$) **	29,73	4,270	29,58	99,48	4,08	19,28	145,3
Total- N *	4,08	0,309	2,227	54,55	1,07	3,36	12,19
($g\ kg^{-1}$) **	155,1	12,178	87,81	56,62	35,90	135,5	343,4
Inorg-P *	0,833	0,108	0,780	93,62	0,096	0,522	3,313
($g\ kg^{-1}$) **	20,66	0,948	6,84	33,11	9,64	19,52	39,44
Org - P *	0,175	0,031	0,173	98,58	0,018	0,109	0,570
($g\ kg^{-1}$) **	3,81	0,278	1,523	39,98	0,604	4,048	6,42
Total - P *	0,991	0,127	0,870	87,82	0,118	0,665	3,322
($g\ kg^{-1}$) **	22,90	0,935	6,41	27,99	13,27	21,73	40,2
C/N_{Tot}	3,89	0,424	3,06	78,60	0,79	2,55	12,80
C/N_{Org}	27,13	3,38	23,42	86,33	2,86	19,40	108,65
K *	1,366	0,106	0,765	56,06	0,337	1,212	5,217
($g\ kg^{-1}$) **	72,32	16,91	121,96	168,64	7,11	52,03	897,8
Mg *	0,277	0,035	0,251	90,69	0,016	0,164	0,961
($g\ kg^{-1}$) **	6,84	0,49	3,53	51,66	0,789	6,35	16,33
Ca *	1,407	0,193	1,389	98,73	0,041	0,866	5,911
($g\ kg^{-1}$) **	34,00	1,56	11,23	33,03	9,76	33,70	62,60
Na *	0,262	0,023	0,166	63,39	0,031	0,227	0,903
($g\ kg^{-1}$) **	11,43	1,50	10,79	94,39	0,826	8,85	66,70
Zn *	30,6	5,03	36,27	118,33	0,78	19,06	158
($mg\ kg^{-1}$) **	614,6	47,68	343,9	55,94	67,1	564	1499
Cu *	18,6	2,92	31,05	112,86	0,091	11,31	71
($mg\ kg^{-1}$) **	386	36,32	261,9	67,75	8,56	356	983
Pb *	0,40	0,074	0,532	131,39	0,010	0,208	3,255
($mg\ kg^{-1}$) **	9,23	0,911	6,572	71,23	1,204	8,03	29,52
Mo *	0,39	0,072	0,518	131,72	0	0,209	2,604
($mg\ kg^{-1}$) **	8,70	1,486	10,71	123,20	0	6,60	59,75
Al *	56,3	17,54	126,48	224,44	0,66	23,7	846
($mg\ kg^{-1}$) **	1437	404,8	2919	203,10	67,7	473	16814
Mn *	17,0	2,81	20,28	119,09	0,41	8,4	95,3
($mg\ kg^{-1}$) **	382	74,01	534	139,56	22,4	287	3945
Fe *	89,4	14,85	107,1	119,74	2,39	49,6	389,3
($mg\ kg^{-1}$) **	1802	152,6	1100	61,06	205	1580	4620

* Variables sobre materia húmeda; ** Variables sobre materia seca.

Los porcentajes de nitrógeno amoniacal, inorgánico (amoniacal + nítrico) y orgánico, sobre material húmedo, respecto al nitrógeno total, según los tres tipos de explotación, son los que figuran en la tabla CP5.

Tabla CP5: Porcentajes de los contenidos de nitrógeno respecto al nitrógeno total.

Nitrógeno	Maternidad (n=64)		Ciclo cerrado (n=35)		Engorde (n=52)	
	MF	M.S.	M.F.	M.S.	M.F.	M.S.
Amoniacal	57,47	53,82	55,05	54,66	59,56	61,80
Inorgánico	79,31	75,20	80,45	71,98	81,13	77,95
Orgánico	25,67	28,09	22,80	26,66	21,57	19,17

Como puede observarse, en nuestro caso, aproximadamente el 80% del nitrógeno de los purines se encuentra en forma inorgánica, fundamentalmente como nitrógeno amoniacal (superior al 50% en los tres tipos de explotación estudiados), el cual procederá fundamentalmente de la descomposición de la urea, de acuerdo con lo expresado por DUTHION y col. (1979).

Las diferencias encontradas en los porcentajes de nitrógeno amoniacal con respecto al nitrógeno total entre los tres sistemas de explotación, presentan una estrecha relación con el estado fisiológico del animal y la alimentación. El ganado porcino adulto presenta un mayor catabolismo que los animales en crecimiento, por lo que la proporción de nitrógeno ureico es mayor.

De acuerdo con LEIRÓS y col. (1983b), se observa que la fracción de nitrógeno orgánico se encuentra fundamentalmente en la fase sólida del purín, y por ello resulta ser mayor en aquellos purines con mayor contenido en materia seca, como son los de engorde, que en los de ciclo cerrado y, en éstos, que en los de maternidad.

El nitrógeno excretado en forma ureica (orines) se degrada rápidamente dentro de la fosa a nitrógeno amoniacal; sin embargo, el nitrógeno orgánico (fecal) sufre una degradación lenta. Por tanto, el contenido de nitrógeno amoniacal en la fosa, considerando que se produzcan pequeñas pérdidas por volatilización, irá aumentando con el tiempo de permanencia dentro de unos límites, mientras que el de nitrógeno orgánico irá disminuyendo lentamente, FERRER y col. (1983). Esto influirá sobre la composición del purín, en relación con el tiempo de permanencia en la fosa, cuando se utilice como fertilizante nitrogenado.

Se observan diferencias significativas en el nitrógeno inorgánico, referido a material húmedo, entre las explotaciones de engorde y las de maternidad y ciclo cerrado, pero no aparecen entre estas dos últimas. En cambio, cuando los resultados se refieren a materia seca y al ser ésta menor en los purines de maternidad, las diferencias significativas aparecen entre estos purines y los otros dos grupos (tabla CP9).

5. La concentración máxima de fósforo sobre materia fresca, aparece en las explotaciones de engorde (0,991 g kg^{-1}), y la mínima en maternidad (0,690 g kg^{-1}), presentando el ciclo cerrado un valor intermedio (0,773 g kg^{-1}), aunque desde el punto de vista estadístico, no se aprecian diferencias significativas entre los tres grupos y tampoco cuando los resultados se refieren a materia seca.

Según GUERRITSE (1976), el 90% del fósforo es excretado en las heces bajo diferentes formas: aproximadamente un 75-80% en forma inorgánica y un 12-18% en forma orgánica, ambos en la fracción sólida. El resto del fósforo se encuentra disuelto en forma inorgánica principalmente. Estas proporciones concuerdan apreciablemente con los porcentajes de fósforo inorgánico y orgánico obtenidos en el presente trabajo (tabla CP6).

Tabla CP6: Porcentajes de las fracciones de fósforo del purín respecto al fósforo total.

Fósforo	**Maternidad (n=64)**		**Ciclo Cerrado (n=35)**		**Engorde (n=52)**		**Total muestras (n=151)**	
	M. F.	M.S.	M.F.	M.S.	M.F.	M.S.	M.F.	M.S.
Inorgánico	74,49	81,96	87,06	90,81	84,06	90,22	80,61	87,19
Orgánico	17,39	14,48	14,49	15,86	17,66	16,64	16,83	15,52

Según FERRER y col.(1983) la riqueza media en fósforo, sobre materia fresca, es aproximadamente un 32% de la de nitrógeno total, siendo menor este porcentaje en el caso de maternidad (24%) y mayor en engorde (38%); estos resultados no concuerdan con los encontrados en el presente estudio, donde pueden apreciarse porcentajes similares en el total de muestras y en los tres tipos de explotación, aunque algo superiores en las explotaciones de maternidad (26,43%), según refleja la siguiente tabla en la que, junto a los contenidos en nitrógeno y fósforo totales, expresados en g kg^{-1} respecto a materia fresca y seca respectivamente, aparece el porcentaje de uno respecto al otro, para el total de las muestras y los tres tipos de explotación.

Tabla CP7: Proporciones de N total y P total en el purín.

Tipo de explotación	**N total**	**P total**	**% (P/N)**	**N total**	**P total**	**% (P/N)**
	Materia fresca			Materia seca		
Total muestras	3,22	0,820	25,47	179,7	26,54	14,77
Maternidad	2,61	0,690	26,43	210,9	30,05	14,25
Ciclo Cerrado	3,07	0,773	25,18	159,2	26,54	16,67
Engorde	4,08	0,991	24,29	155,1	22,90	14,76

6. La riqueza en calcio y magnesio es menor a medida que disminuye el contenido en materia seca del purín, FERRER y col. (1983), y por tanto será menor en maternidad y mayor en engorde. Su proporción respecto a los contenidos en nitrógeno total (tanto por ciento) y fósforo total (tanto por uno) queda reflejado en la tabla siguiente:

Tabla CP8: Proporciones de Ca y Mg respecto a los contenidos de N total y P total en el purín.

Tipo de explotación	**Ca/N_{Total} *100**		**Mg/N_{Total} *100**		**Ca/P_{Total}**		**Mg/P_{Total}**	
	M.F.	M.S.	M.F.	M.S.	M.F.	M.S.	M.F.	M.S.
Total muestras	34,25	20,31	6,89	3,98	1,345	1,375	0,271	0,270
Maternidad	30,54	17,96	6,67	3,44	1,115	1,260	0,252	0,242
Ciclo Cerrado	39,45	23,68	7,52	4,68	1,567	1,420	0,299	0,281
Engorde	34,48	21,92	6,79	4,41	1,420	1,485	0,279	0,299

El nivel de calcio se sitúa en un 35% del nitrógeno total, mientras que el magnesio únicamente alcanza el 7%. El contenido en calcio en maternidad difiere significativamente del de engorde, pero no aparecen diferencias entre éstos y los procedentes de ciclo cerrado.

El magnesio presenta menor contenido en maternidad, intermedio en ciclo cerrado y mayor en engorde; sin embargo las diferencias no llegan a ser significativas entre ninguno de los tres tipos de explotación (tabla CP9).

Por otra parte, la relación Ca/P de los purines estudiados se encuentra dentro del intervalo recomendado en las raciones de alimentación del ganado porcino que, según PÉREZ (1979), ha de estar comprendido entre 1,3 y 1,9.

7. Los cationes sodio y potasio se comportan de forma similar a la materia seca, presentando un valor máximo en engorde y mínimo en maternidad, cuando se comparan resultados referidos a material húmedo; sin embargo esa tendencia no es tan acusada al considerar los resultados referidos a materia seca, debido a que el 80% del potasio y el 70% del sodio se encuentran en la fase líquida, por lo que un aumento en el porcentaje de materia seca implica una menor riqueza en estos elementos.

El potasio, referido a material húmedo, presenta diferencias significativas entre maternidad y engorde y entre ciclo cerrado y engorde, pero no se aprecian diferencias significativas al referirse a material seco (tabla CP9), algo semejante a lo reflejado por FERRER y col. (1983).

En cuanto al sodio, sobre material húmedo no aparecen diferencias significativas entre los tres tipos de explotación, pero sí respecto al material seco, entre maternidad y los otros dos (tabla CP9), algo análogo a lo encontrado para los contenidos en materia seca.

8. La concentración de cloruros es mayor en los purines de engorde (1,072 g kg^{-1}) que en los de maternidad (0,866 g kg^{-1}) y en los de ciclo cerrado (0,758 g kg^{-1}), cuando esta concentración se refiere al purín húmedo; sin embargo, respecto a la materia seca, el mayor valor corresponde a maternidad (76,79 g kg^{-1}), seguido de engorde (58,13 g kg^{-1}) y ciclo cerrado (44,97 g kg^{-1}).

En el purín húmedo, aparecen diferencias significativas entre el contenido de cloruros de ciclo cerrado y engorde, y en el purín seco, entre maternidad y ciclo cerrado.

9. En cuanto al resto de metales, el cobre presenta un comportamiento algo diferente del resto, ya que su proporción en el purín de engorde es muy superior a la obtenida en maternidad. El cobre actúa como factor de crecimiento, se suplementa sistemáticamente en las dietas de engorde y es eliminado casi totalmente en las heces.

El cobre presenta diferencias significativas, tanto sobre materia seca como sobre materia fresca, mientras que el resto de los metales solo presenta diferencias respecto a la materia fresca y siempre entre maternidad y engorde (tabla CP9).

En cuanto al Zn, aparecen diferencias entre los distintos tipos de explotación pero no tan pronunciadas, seguramente debido a su menor utilización en la dieta, a pesar de que son conocidos sus efectos sobre la fertilidad. Estas diferencias no son significativas cuando los contenidos se expresan tanto sobre materia fresca como seca.

El purín es moderadamente rico en hierro si se compara con el resto de microelementos; por el contrario, el manganeso aparece en pequeñas cantidades.

Los contenidos de plomo y molibdeno encontrados son mínimos; en cambio aparecen cantidades apreciables de aluminio.

Tabla CP9: Comparación de valores medios

Tipo de explotación	Conduct. ($S.m^{-1}$)	Densidad ($g.cm^{-3}$)	pH	Materia seca ($g.Kg^{-1}$)	Cenizas ($g.Kg^{-1}$)		Materia orgánica ($g.Kg^{-1}$)	
					MF	MS	MF	MS
Maternidad	1,237 a	1,012 a	7,68 a	21,36 a	6,99 a	399,3 a	14,40 a	602,7 a
C.Cerrado	1,332 a	1,016 ab	7,49 b	36,13 b	8,98 ab	323,0 b	26,99 b	668,1 b
Engorde	1,857 b	1,019 b	7,53 ab	42,53 b	11,60 b	340,3 b	31,81 b	669,7 b
	NH_4 - N ($g.Kg^{-1}$)		**Inorg - N ($g.Kg^{-1}$)**		**Org - N ($g.Kg^{-1}$)**		**Total - N ($g.Kg^{-1}$)**	
	MF	MS	MF	MS	MF	MS	MF	MS
Maternidad	1,50 a	113,50 a	2,07 a	158,6 a	0,67 a	59,24 a	2,61 a	210,9 a
C.Cerrado	1,69 a	87,02 b	2,47 a	114,6 b	0,70 a	42,44 ab	3,07 a	159,2 b
Engorde	1,43 b	95,85 b	3,31 b	120,9 b	0,88 a	29,73 b	4,08 b	155,1 b
	Inorg - P ($g.Kg^{-1}$)		**Org - P ($g.Kg^{-1}$)**		**Total - P ($g.Kg^{-1}$)**		C/N_{total}	**C/N_{Org}**
	MF	MS	MF	MS	MF	MS		
Maternidad	0,514 a	24,63 a	0,120 a	4,35 a	0,690 a	30,05 a	2,78 a	20,60 a
C.Cerrado	0,673 ab	24,10 a	0,112 a	4,21 a	0,773 a	26,54 a	4,56 b	28,55 a
Engorde	0,833 b	20,66 a	0,175 a	3,81 a	0,991 a	22,90 a	3,89 ab	27,13 a
	K ($g.Kg^{-1}$)		**Mg ($g.Kg^{-1}$)**		**Ca ($g.Kg^{-1}$)**		**Na ($g.Kg^{-1}$)**	
	MF	MS	MF	MS	MF	MS	MF	MS
Maternidad	0,861 a	71,93 a	0,174 a	7,26 a	0,797 a	37,88 a	0,214 a	17,94 a
C.Cerrado	0,746 a	42,71 a	0,231 a	7,46 a	1,211 ab	37,70 a	0,232 a	11,38 b
Engorde	1,366 b	72,32 a	0,277 a	6,84 a	1,407 b	34,00 a	0,262 a	11,43 b
	Zn ($mg.Kg^{-1}$)		**Cu ($mg.Kg^{-1}$)**		**Pb ($mg.Kg^{-1}$)**		**Mo ($mg.Kg^{-1}$)**	
	MF	MS	MF	MS	MF	MS	MF	MS
Maternidad	19,7 a	732,3 a	8,9 a	290 a	0,19 a	8,69 a	0,18 a	7,76 a
C.Cerrado	24,9 a	742,1 a	13,3 ab	414 b	0,32 ab	9,05 a	0,35 ab	9,81 a
Engorde	30,6 a	614,6 a	18,6 b	386 ab	0,40 b	9,23 a	0,39 b	8,70 a
	Al ($mg.Kg^{-1}$)		**Mn ($mg.Kg^{-1}$)**		**Fe ($mg.Kg^{-1}$)**		**Cl^- ($g.Kg^{-1}$)**	
	MF	MS	MF	MS	MF	MS	MF	MS
Maternidad	18,9 a	680 a	8,3 a	283 a	59,8 a	1948 a	0,866 ab	76,79 a
C.Cerrado	36,9 ab	947 a	12,7 ab	344 a	81,5 a	2159 a	0,758 a	44,97 b
Engorde	56,3 b	1437 b	17,0 b	382 a	89,4 a	1802 a	1,072 b	58,13 ab

4.1.3 VALOR FERTILIZANTE DEL PURÍN

La aplicación de purines a suelos de cultivo supone la aportación de importantes cantidades de elementos fertilizantes que han de considerarse a la hora de establecer un plan de fertilización.

Con este objetivo parece conveniente estudiar la proporción existente entre los contenidos en nutrientes principales, referidos sobre el material fresco, para una posible aplicación tal cual, o sobre materia seca, si lo que se pretende es una desecación parcial o total del purín antes de su utilización.

En la tabla CP10 aparecen reflejados dichos contenidos para el total de muestras y para los tres tipos de explotación estudiados:

Tabla CP10: Contenidos de nutrientes principales en el purín de ganado porcino.

Contenidos (g kg^{-1})	Unidades	Total muestras	Maternidad	Ciclo Cerrado	Engorde
Materia seca		32,41	21,36	36,13	42,53
N	* **	3,22 179,7	2,61 210,9	3,07 159,2	4,08 155,1
P_2O_5	* **	1,88 60,78	1,58 68,81	1,77 60,78	2,27 52,44
K_2O	* **	1,21 78,35	1,03 86,32	0,89 51,25	1,64 86,78
MgO	* **	0,37 11,89	0,29 12,05	0,38 12,38	0,46 11,35
CaO	* **	1,54 51,1	1,12 53,03	1,69 52,78	1,97 47,6
Equilibrio $N/P_2O_5/K_2O$	* **	1/0,6/0,4 1/0,4/0,4	1/0,6/0,4 1/0,3/0,4	1/0,6/0,3 1/0,4/0,3	1/0,6/0,4 1/0,3/0,6

* Unidades sobre materia húmeda.
** Unidades sobre materia seca.

La relación entre los elementos nutrientes principales $N/P_2O_5/K_2O$ se mantiene contante en el total de muestras y en los tres tipos de explotación estudiados, cuando los valores se refieren al purín húmedo; sin embargo se presentan variaciones cuando se refiere al purín seco.

La concentración de elementos fertilizantes principales se encuentra entre los límites observados en la literatura, teniendo en cuenta que cuanto más elevada sea la dilución del purín, menor será la riqueza en elementos fertilizantes. En los purines analizados, los contenidos en materia seca son prácticamente la mitad que los aportados por GERMON y col. (1979), LECOMTE (1979) y POMAR y col. (1984) y por tanto, la concentración de elementos fertilizantes será mucho más reducida.

Tabla CP11: Valor fertilizante del purín según autores.

Contenidos sobre materia fresca (kg m^{-3})	GERMON y col. (1979)	LECOMTE (1979)	POMAR y col. (1984)
	n = 48 (Total)	n= 234 (Total)	n = 20 (Engorde)
Materia Seca	62,5	74,3	84,9
N	5,1	5,5	5,9
P_2O_5	4,8	4,0	5,3
K_2O	2,6	4,0	3,6
MgO	1,3	1,1	1,2
CaO	5,6	3,3	4,9
Equilibrio ($N/P_2O_5/K_2O$)	1/0,9/0,5	1/0,7/0,7	1/0,9/0,6

Cuando los contenidos en materia seca aportados por otros autores como SCOTFORD y col. (1999), sobre purines de porcino representativos de diversos países europeos, son similares a los obtenidos en el presente trabajo, las concentraciones en elementos nutrientes y el quilibrio entre los tres principales son totalmente comparables.

Tabla CP12: Valor fertilizante de diveros purines, SCOTFORD y col. (1999)

Contenidos sobre materia fresca (kg m^{-3})	Inglaterra (n = 18)	Irlanda (n = 17)	Alemania (n=17)	Italia (n=20)
Sólidos totales	33,2	25,2	45,3	31,5
N	4,24	2,70	4,87	3,41
NH_4-N	2,69	2,14	3,62	1,40
P_2O_5	1,59	1,43	2,66	1,47
K_2O	1,19	2,22	3,59	2,06
Equilibrio ($N/P_2O_5/K_2O$)	1/0,4/0,3	1/0,5/0,8	1/0,5/0,7	1/0,4/0,6

El valor fertilizante o coeficiente de equivalencia del purín, expresa la eficacia comparada de un elemento fertilizante aplicado bajo esta forma con relación a un abono mineral de referencia (generalmente nitrato amónico, superfosfato 45% y cloruro potásico).

THIBAUDEAU (1997) estima un coeficiente de equivalencia medio para el fósforo de 0,80. En cambio, otros autores como IRAÑETA y col. (1999) han demostrado en experiencias agronónicas a largo plazo, que todo el fósforo puede ser comparable al de un fertilizante mineral, puesto que la parte orgánica, muy lentamente, también se mineraliza y pasa a ser utilizable por los cultivos. Por tanto, si la fertilización fosfórica se plantea a largo plazo, el coeficiente de equivalencia del fósforo del purín puede considerarse igual a 1.

La disponibilidad del potasio para los cultivos es muy elevada, debido a que se encuentra fundamentalmente en la orina del animal en forma de sal mineral soluble en agua más del 80%. Su valor fertilizante o coeficiente de equivalencia es igual a 1, THIBAUDEAU (1997); IRAÑETA y col. (1999).

El nitrógeno es el elemento fertilizante que tendrá un impacto más directo sobre el cultivo y que marca el rendimiento en suelos de fertilidad normal. Tanto su carencia como su exceso pueden ocasionar pérdidas de rendimiento o calidad e incluso daños al cultivo. Las aportaciones excesivas pueden dar lugar a contaminaciones ambientales; por ello, en la gestión de los purines es fundamental el ajuste de las dosis de este elemento para cada cultivo.

La dinámica del nitrógeno en el suelo es compleja y está sujeta a pérdidas que pueden ser importantes. Por una parte la volatilización durante el reparto, que puede llegar al 20% dependiendo del viento, la humedad del aire, el tamaño de las gotas, etc. Por otra parte se pueden producir pérdidas en el suelo, que serán mayores si los purines aplicados permanecen varios días sobre la superficie del suelo; la volatilización del nitrógeno amoniacal puede oscilar entre el 10 y el 75%, en función de la temperatura, velocidad del viento y pluviometría. Por el contrario, si el purín es enterrado durante las 24 horas siguientes a la aplicación, las pérdidas se reducen considerablemente. La inyección directa del purín en el suelo suprime ambos tipos de pérdidas e incluso los malos olores, pero tiene elevados costes de tracción y el inconveniente de la localización excesiva del purín en un pequeño volumen de suelo, IRAÑETA y col. (1999).

Uno de los factores que más influyen en la cantidad de nitrógeno perdido por volatilización de amoníaco es la velocidad de infiltración en el suelo, ya que marca el tiempo de permanencia del purín en superficie. El drenaje del suelo y el porcentaje de materia seca del purín influirán sobre dicha velocidad y, por tanto, los purines diluidos se

infiltrarán más rápidamente que los densos; esta infiltración será más acusada en suelos de textura gruesa.

Una vez incorporado al suelo, el nitrógeno amoniacal del purín se transforma rápidamente en nitrógeno nítrico, susceptible de ser lixiviado si no es asimilado por la planta. La parte de nitrógeno nítrico no lixiviada es enteramente aprovechable por los cultivos. Si la aplicación se realiza en una época próxima a la absorción del cultivo, las pérdidas serán prácticamente despreciables; sin embargo, el reparto en otoño sobre suelo desnudo y con alta pluviometría puede dar lugar a grandes pérdidas de nitrógeno.

Una parte del nitrógeno orgánico contenido en el purín será transformado en nitrógeno mineral durante el primer año, o al año siguiente cuando la aplicación se realice en otoño. Este proceso es más intenso durante la primavera y el otoño, al estar fuertemente influenciado por la temperatura y la humedad del suelo. Su aprovechamiento por el cultivo será prácticamente total durante el año en que se realiza el reparto.

El resto del nitrógeno orgánico del purín se almacena por el humus del suelo. Su mineralización durante los años siguientes liberará una parte del nitrógeno que contiene.

El conocimiento de la dinámica del nitrógeno permite una estimación de su eficacia. Sin embargo, la influencia de las características del purín y las condiciones de utilización (cultivo, época y forma de aporte, etc.) hace necesario un estudio en condiciones de campo para valorar los coeficientes de eficacia reales, que se abordará en un apartado posterior de este trabajo.

4.1.4 RELACIONES ENTRE COMPONENTES DEL PURÍN

Como consecuencia de la existencia de coeficientes de variación superiores al 100% en muchas de las variables analizadas (materia seca, materia orgánica, fósforo, relaciones C/N, magnesio, calcio, cinc, cobre, plomo, molibdeno, aluminio, hierro y manganeso), cuando sus valores se refieren al material húmedo, ha parecido conveniente realizar un análisis de correlación entre todas ellas, con el fin de explicar esa gran dispersión y, si fuera posible, reducir al máximo el número de parámetros que nos permitan una caracterización del purín con un nivel de fiabilidad suficientemente aceptable.

En la tabla CP13 aparecen reflejados los coeficientes de correlación obtenidos para las 27 variables analizadas, así como los correspondientes niveles de significación.

Tabla CP13 : Matriz de correlaciones entre variables expresadas sobre materia húmeda (Total muestras).

	K	Mg	Ca	Na	Zn	Cu	Al	Pb	Mo	Mn	Fe
Cond.	,5893 ,0000	,1381 ,0907	,0604 ,4612	,3599 ,0000	-,0031 ,9702	,0631 ,4413	,0390 ,6346	,1399 ,0868	-,0008 ,9918	,0387 ,6367	-,0223 ,7860
Dens.	,4208 ,0000	,6844 ,0000	,8168 ,0000	,2971 ,0002	,7576 ,0000	,7372 ,0000	,2779 ,0006	,5220 ,0000	,5774 ,0000	,6898 ,0000	,7152 ,0000
PH	,0330 ,6878	-,1243 ,1282	-,2611 ,0012	-,0572 ,4854	-,1966 ,0155	-,1394 ,0877	,0121 ,8823	-,0971 ,2358	-,1406 ,0850	-,1398 ,0869	-,1749 ,0318
Cen.	,4742 ,0000	,8992 ,0000	,9589 ,0000	,4112 ,0000	,8942 ,0000	,8898 ,0000	,4334 ,0000	,6728 ,0000	,7469 ,0000	,8682 ,0000	,8868 ,0000
Mat. Seca	,3540 ,0000	,7914 ,0000	,9054 ,0000	,2902 ,0003	,8280 ,0000	,7880 ,0000	,3955 ,0000	,6550 ,0000	,6667 ,0000	,7956 ,0000	,7872 ,0000
Mat. Org.	,3118 ,0001	,7442 ,0000	,8692 ,0000	,2496 ,0020	,7889 ,0000	,7391 ,0000	,3776 ,0000	,6365 ,0000	,6316 ,0000	,7568 ,0000	,7415 ,0000
Cl^-	,8356 ,0000	,1746 ,0321	,1588 ,0515	,5434 ,0000	,1024 ,2111	,1665 ,0410	,1064 ,1933	,2407 ,0029	,0137 ,8670	,1376 ,0919	,0994 ,2245
$N\text{-}NH_4$	,7963 ,0000	,4369 ,0000	,3778 ,0000	,4209 ,0000	,3129 ,0001	,3712 ,0000	,1944 ,0168	,4067 ,0000	,2681 ,0009	,3619 ,0000	,2509 ,0019
N-Inor	,7742 ,0000	,5916 ,0000	,5774 ,0000	,4399 ,0000	,4988 ,0000	,5523 ,0000	,2595 ,0025	,5133 ,0000	,4351 ,0000	,5282 ,0000	,4556 ,0000
N-Org	,3370 ,0001	,3515 ,0000	,5833 ,0000	,2744 ,0013	,4881 ,0000	,4660 ,0000	,0389 ,6558	,2060 ,0170	,3437 ,0000	,4099 ,0000	,4754 ,0000
N-Tot	,7453 ,0000	,6180 ,0000	,6979 ,0000	,4522 ,0000	,5953 ,0000	,6220 ,0000	,2432 ,0026	,5106 ,0000	,5004 ,0000	,5958 ,0000	,5528 ,0000
P-Inor	,3671 ,0000	,8707 ,0000	,9383 ,0000	,2968 ,0002	,8917 ,0000	,8638 ,0000	,3792 ,0000	,6387 ,0000	,7138 ,0000	,8403 ,0000	,8589 ,0000
P-Org	,3201 ,0030	,7903 ,0000	,8029 ,0000	,3070 ,0045	,7555 ,0000	,7191 ,0000	,3202 ,0030	,4959 ,0000	,5936 ,0000	,6439 ,0000	,6724 ,0000
P-Tot	,3877 ,0000	,8613 ,0000	,9057 ,0000	,3155 ,0003	,8633 ,0000	,8367 ,0000	,3960 ,0000	,6225 ,0000	,6994 ,0000	,8206 ,0000	,8237 ,0000
C/N_{Tot}	,0362 ,7626	,5802 ,0000	,7373 ,0000	,0608 ,6121	,7453 ,0000	,5144 ,0000	,3621 ,0002	,5325 ,0000	,4753 ,0000	,5747 ,0000	,7291 ,0000
C/N_{Org}	,0939 ,4326	,6724 ,0000	,5561 ,0000	,0348 ,7718	,5286 ,0000	,3797 ,0000	,3661 ,0016	,3981 ,0000	,4293 ,0002	,5172 ,0000	,5728 ,0000

Tabla CP13, continuación: Matriz de correlaciones entre variables expresadas sobre materia húmeda.

	Dens	pH	Cen	M S	M O	Cl^-	N-NH_4	N-Inor	N-Org	N-Tot	P-Inor	P-Org	P-Tot	C/N_T	C/N_{Or}
Cond	,2440 ,0025	,0958 ,2420	,2288 ,0047	,1526 ,0613	,1281 ,1169	,6216 ,0000	,6903 ,0000	,6114 ,0000	,0895 ,3035	,5322 ,0000	,1524 ,0618	,3434 ,0014	,1972 ,0245	-,0622 ,4477	-,0061 ,9595
Dens		-,2753 ,0006	,8527 ,0000	,8907 ,0000	,8793 ,0000	,3553 ,0000	,4827 ,0000	,6337 ,0000	,6256 ,0000	,7573 ,0000	,8152 ,0000	,6041 ,0000	,7878 ,0000	,6464 ,0000	,4029 ,0005
PH			-,1955 ,0161	-,3230 ,0001	-,3480 ,0000	,1531 ,0606	,0983 ,3394	-,0012 ,9892	-,3702 ,0000	-,1890 ,0201	-,2456 ,0024	-,0763 ,4900	-,1714 ,0513	-,3031 ,0002	-,1426 ,2320
Cen				,9291 ,0000	,8786 ,0000	,3827 ,0000	,5482 ,0000	,7228 ,0000	,5481 ,0000	,7952 ,0000	,9433 ,0000	,7926 ,0000	,9312 ,0000	,6341 ,0000	,5551 ,0000
Mat. Seca					,9945 ,0000	,2605 ,0012	,4355 ,0000	,6037 ,0000	,5858 ,0000	,7248 ,0000	,8931 ,0000	,7786 ,0000	,8718 ,0000	,8036 ,0000	,5790 ,0000
Mat. Org.						,2201 ,0066	,3959 ,0000	,5590 ,0000	,5805 ,0000	,6888 ,0000	,8574 ,0000	,7535 ,0000	,8340 ,0000	,8304 ,0000	,5708 ,0000
Cl^-							,7897 ,0000	,7185 ,0000	,1920 ,0263	,6287 ,0000	,2571 ,0014	,1766 ,1080	,3167 ,0002	,0206 ,8021	,0301 ,7961
N-NH_4								,9253 ,0000	,2003 ,0203	,8231 ,0000	,4641 ,0000	,4086 ,0001	,5101 ,0000	,1202 ,1414	,1915 ,1070
N-Inor									,3079 ,0003	,9280 ,0000	,6585 ,0000	,4833 ,0000	,6723 ,0000	,2355 ,0062	,3273 ,0050
N-Org										,6399 ,0000	,5591 ,0000	,4347 ,0001	,4866 ,0000	,2438 ,0045	-,1877 ,0299
N-Tot											,6510 ,0000	,5587 ,0000	,7396 ,0000	,3006 ,0002	,2369 ,0451
P-Inor												,7416 ,0000	,9484 ,0000	,6071 ,0000	,5944 ,0000
P-Org													,7823 ,0000	,5808 ,0000	,3141 ,0072
P-Tot														,5794 ,0000	,0011 ,5370
C/N_T															,5750 ,0000

Tabla CP13, continuación: Matriz de correlaciones entre variables expresadas sobre materia húmeda.

	Mg	Ca	Na	Zn	Cu	Al	Pb	Mo	Mn	Fe
K	,2993 ,0002	,2927 ,0003	,5474 ,0000	,1992 ,0142	,2734 ,0007	,1561 ,0556	,3073 ,0001	,1232 ,1318	,2372 ,0034	,1772 ,0305
Mg		,8819 ,0000	,2965 ,0002	,8738 ,0000	,8804 ,0000	,4604 ,0000	,6420 ,0000	,7622 ,0000	,8515 ,0000	,8596 ,0000
Ca			,3172 ,0001	,9319 ,0000	,8992 ,0000	,3889 ,0000	,6180 ,0000	,7947 ,0000	,8875 ,0000	,9204 ,0000
Na				,2397 ,0030	,2238 ,0057	,0904 ,2697	,2088 ,0101	,1875 ,0211	,2420 ,0028	,2438 ,0026
Zn					,9170 ,0000	,4201 ,0000	,5866 ,0000	,8121 ,0000	,8695 ,0000	,9373 ,0000
Cu						,4785 ,0000	,6088 ,0000	,8133 ,0000	,8610 ,0000	,9212 ,0000
Al							,8163 ,0000	,6258 ,0000	,5239 ,0000	,4797 ,0000
Pb								,7180 ,0000	,6550 ,0000	,6171 ,0000
Mo									,7743 ,0000	,8225 ,0000
Mn										,8636 ,0000

De los resultados obtenidos cabe destacar lo siguiente:

La elevada correlación existente entre la densidad y los contenidos en cenizas, materia seca y materia orgánica, con coeficientes de correlación de 0.8527, 0.8907 y 0.8793 respectivamente, así como con distintos elementos, a saber: nitrógeno total (0.7573) y sus diversas formas, fósforo total (0.7878), calcio (0.8168), magnesio (0.6844) y la mayor parte de los metales, entre los que caben destacar el cinc con coeficiente de correlación 0.7576 y el cobre con 0.7372. De igual forma, DUTHION y GERMON (1979) obtienen elevadas correlaciones, que en el caso de la materia seca (0,904), materia orgánica (0,847), potasio (0,868), calcio (0,793) y cinc (0,720), son comparables a las obtenidas en el presente estudio y mejoran ligeramente con nitrógeno (0,873), fósforo (0,868), magnesio (0,790) y cobre (0,855).

La mejora sensible de los valores anteriores cuando se establece la correlación de la materia seca con la materia orgánica (0.9945), el fósforo (0.8718), el calcio (0.9054), el magnesio (0.7914) y el resto de metales. Sin embargo empeora la correlación con el nitrógeno (0.7248) y todas sus formas. Los valores de los coeficientes de correlación obtenidos por LECOMTE (1979) son sensiblemente inferiores para materia orgánica (0,966), fósforo (0,734), calcio (0,739) y magnesio (0,634), y semejante en la materia mineral (0,934); la correlación entre densidad y materia seca encontrada por este autor es bastante elevada (0,807). Correlaciones similares obtienen DUTHION y GERMON (1979).

El contenido en cenizas se correlaciona bien con el resto de variables, mejorando claramente los valores obtenidos, tanto para la densidad como para la materia seca, en su correlación con el resto de variables. Constituye una excepción la materia orgánica, que presenta mejor correlación con la materia seca y con la densidad que con el contenido en cenizas. Estas afirmaciones no coinciden con las realizadas por LECOMTE (1979).

El nivel de materia orgánica total en el purín, presenta una alta correlación con la mayor parte de las variables, pero inferior en la mayoría de los casos a la obtenida para los contenidos en cenizas y materia seca y en algunas ocasiones (fósforo, relación C/N y todos los metales), superior a la ofrecida por la densidad. Las correlaciones obtenidas por LECOMTE (1979) entre materia orgánica y fósforo (0,742), calcio (0,743) y magnesio (0,736) mejoran respecto a las obtenidas con la materia seca, al contrario de lo que obtiene DUTHION y GERMON (1979).

4. Es de destacar la notable correlación entre el contenido en nitrógeno y los de metales, aunque es mayor aún la encontrada entre estos y el fósforo, presentando unos elevados niveles de significación en la mayor parte de los casos. Valores similares obtienen DUTHION y GERMON (1979) Y LECOMTE (1979).

Algunos metales como sodio y potasio se correlacionan aceptablemente bien con algunas variables como la conductividad, cenizas, cloruros y todas las formas de nitrógeno, excepto el orgánico. Las mejores correlaciones para el potasio, encontradas por LECOMTE (1979), se producen con la materia mineral (0,520) y el nitrógeno total (0,461). Este elemento es el único para el que DUTHION y GERMON (1979) encuentra una correlación aceptable con el potasio (0,731).

En el caso del potasio aparece una correlación no muy elevada, pero con un nivel de significación máximo con el fósforo inorgánico y el fósforo total, no apareciendo esta correlación en el sodio.

Si exceptuamos los dos anteriores, el resto de metales presentan una correlación muy elevada entre sí, con máximos niveles de significación en todos los casos.

Los coeficientes de correlación obtenidos por POMAR GOMÁ (1984) son sensiblemente mejores, lo cual es lógico al estar calculados para los distintos tipos de explotación y reducir, por tanto, la variabilidad de las muestras.

En cuanto a aquellas variables que presentan escasas correlaciones cabe destacar:

a) La relación casi exclusiva entre la conductividad y los cloruros, el nitrógeno total e inorgánico, así como con los metales sodio y potasio.

b) El pH, que presenta correlaciones escasas, y en todos los casos de signo negativo, con la materia seca, materia orgánica, nitrógeno orgánico y relación C/N, aunque no se correlaciona con ninguno de los metales analizados.

c) Por último encontramos a los cloruros que, pese a tener un nivel de correlación alto con los contenidos de nitrógeno amoniacal, inorgánico y total, así como con el sodio y el potasio, es inexistente en el resto de los casos.

De todo lo expuesto anteriormente, cabe concluir lo siguiente:

- Cuanto mayor es la densidad del purín, mayor es el contenido en materia orgánica, cenizas y materia seca y, como consecuencia, de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y la mayor parte de iones metálicos.
- La alta correlación existente entre nitrógeno y fósforo con los metales apunta hacia la existencia en el purín de nitratos y fosfatos de esos metales.
- Todos los metales, excepto sodio y potasio, presentan elevada correlación con la materia orgánica debido a la formación de compuestos entre dichos metales y la materia orgánica. Esto condicionará su disponibilidad para la planta ya que, aplicado el purín al suelo, la liberación de los metales dependerá de la estabilidad de estas uniones y del ritmo de mineralización de la materia orgánica en el suelo.
- Los compuestos de sodio y potasio estarían formados fundamentalmente por cloruros y algunas formas amoniacales, cuya solubilidad y la correlación existente entre dichos metales y la conductividad, induce a pensar en su localización en la fracción líquida del purín.
- El aumento del contenido de materia seca y materia orgánica hace que el valor del pH del purín sea menor.

Cuando las variables se expresan sobre materia seca, la matriz de correlaciones varía considerablemente (tabla CP14).

Tabla CP14: Matriz de correlaciones entre variables expresadas sobre materia seca (Total muestras).

	K	Mg	Ca	Na	Zn	Cu	Al	Pb	Mo	Mn	Fe
Cond.	,0390 ,6341	-,1237 ,1303	-,2171 ,0074	-,0715 ,3827	-,1997 ,0140	,0024 ,9762	,0043 ,9585	-,0131 ,8727	-,0511 ,5332	-,0266 ,7456	-,1554 ,0568
Dens.	-,2809 ,0005	-,0930 ,2560	-,2117 ,0091	-,3904 ,0000	,1146 ,1610	,1915 ,0185	,0245 ,7656	-,0020 ,9806	,0101 ,9016	,0991 ,2262	,2054 ,0114
pH	,2006 ,0135	,0455 ,5793	-,0716 ,3824	,1297 ,1126	-,0223 ,7855	,1022 ,2116	,1342 ,1005	,1496 ,0667	-,0102 ,9013	,0596 ,4675	,0369 ,6527
Cen.	,4930 ,0000	,0427 ,6027	,2306 ,0044	,6914 ,0000	-,2316 ,0042	-,1821 ,0252	-,0040 ,9608	-,0306 ,7089	-,0793 ,3332	-,1633 ,0451	-,1934 ,0173
Mat. Seca	-,3578 ,0000	-,0635 ,4385	-,1748 ,0318	-,4460 ,0000	,1358 ,0963	,1808 ,0263	,0500 ,5423	,0217 ,7915	,0436 ,5949	,1278 ,1178	,2396 ,0030
Mat. Org.	-,4478 ,0000	-,0040 ,9613	-,1229 ,1328	-,6317 ,0000	,2239 ,0057	,1838 ,0238	,0011 ,9893	,0163 ,8422	,1018 ,2136	,1652 ,0427	,1926 ,0178
Cl^-	,4935 ,0000	-,2402 ,0030	-,0578 ,4809	,7416 ,0000	-,3987 ,0000	-,3693 ,0000	-,1364 ,0949	-,1361 ,0955	-,1679 ,0394	-,3152 ,0001	-,4200 ,0000
NH_4-N	-,1218 ,1363	-,0381 ,6427	-,2262 ,0052	-,2405 ,0029	-,0182 ,8247	,1750 ,0316	,0579 ,4805	,1339 ,1011	,0192 ,8148	,1148 ,1604	-,0049 ,9525
Inor-N	,4014 ,0000	-,1550 ,0737	,1629 ,0600	,5393 ,0000	-,3307 ,0001	-,3174 ,0002	-,1586 ,0673	-,1183 ,1735	,0727 ,4037	-,2333 ,0067	-,3918 ,0000
Org-N	,3143 ,0002	-,0809 ,3528	,2808 ,0010	,4919 ,0000	-,2657 ,0019	-,2977 ,0005	-,1880 ,0296	-,1451 ,0943	,1352 ,1193	-,2218 ,0100	-,2415 ,0049
Tot-N	,4255 ,0000	-,1582 ,0524	,1658 ,0419	,5804 ,0000	-,3707 ,0000	-,3534 ,0000	-,2011 ,0133	-,1655 ,0422	,0723 ,3778	-,2786 ,0005	-,3754 ,0000
Inor-P	-,0236 ,7733	,2772 ,0006	,3897 ,0000	-,0936 ,2532	,4274 ,0000	,1976 ,0150	,0488 ,5516	,2072 ,0109	,1686 ,0385	,1355 ,0972	,3158 ,0001
Org-P	-,0645 ,5598	,1812 ,0990	,1897 ,0839	-,0394 ,7221	,1514 ,1693	,1528 ,1653	-,0301 ,7860	-,0195 ,8604	,1097 ,3203	,0600 ,5879	,1205 ,2749
Tot-P	,0066 ,9403	,1090 ,2169	,1057 ,2314	,0353 ,6901	,2443 ,0051	,0014 ,9876	,0133 ,8807	,0278 ,7533	-,0311 ,7252	,0227 ,7981	,1012 ,2520
C/N_{Tot}	-,3733 ,0000	-,0824 ,3144	-,2263 ,0052	-,4518 ,0000	,1176 ,1504	,1003 ,2202	,0571 ,4863	,0205 ,8030	,0086 ,9164	,0990 ,2266	,2044 ,0118
C/N_{Org}	-,2687 ,0017	,0765 ,3797	-,2034 ,0184	-,3058 ,0003	,0981 ,2597	,1685 ,0517	,1447 ,0954	,0372 ,6694	-,0052 ,9527	,1507 ,0821	,1440 ,0970
K		-,2271 ,0050	-,0594 ,4688	,2982 ,0002	-,3057 ,0001	-,2635 ,0011	-,0804 ,3265	-,0960 ,2408	-,1229 ,1328	-,2107 ,0094	-,3048 ,0001
Mg			,4772 ,0000	-,0847 ,3011	,3573 ,0000	,3966 ,0000	,1939 ,0170	,2606 ,0012	,1693 ,0377	,3151 ,0001	,3834 ,0000
Ca				,1889 ,0202	,3105 ,0001	,2015 ,0131	,0570 ,4873	,0515 ,5301	,2321 ,0041	,2500 ,0020	,3356 ,0000
Na					-,2980 ,0002	-,3309 ,0000	-,0826 ,3136	-,1276 ,1185	-,0493 ,5478	-,2120 ,0090	-,3048 ,0001
Zn						,6261 ,0000	,2572 ,0014	,3020 ,0002	,2118 ,0090	,4004 ,0000	,7329 ,0000
Cu							,3781 ,0000	,3158 ,0001	,2589 ,0013	,4473 ,0000	,7189 ,0000
Al								,5890 ,0000	,2064 ,0110	,4972 ,0000	,3766 ,0000
Pb									,2599 ,0013	,3803 ,0000	,3363 ,0000
Mo										,3044 ,0001	,2868 ,0004
Mn											,4171 ,0000

Tabla CP14, continuación: Matriz de correlaciones entre variables expresadas sobre materia seca.

	Dens	pH	Cen.	M. S.	Mat. Org.	Cl^-	N-NH_4	N-Inor	N-Org	N-Tot	P-Inor	P-Org	P-Tot	C/N_T	C/N_{Or}
Cond.	,2440 ,0025	,0958 ,2420	-,0618 ,4512	,1526 ,0613	,0603 ,4621	-,0124 ,8797	,1502 ,0656	,0040 ,9637	-,1917 ,0265	-,0571 ,4863	-,1007 ,2185	,1772 ,1069	,0122 ,8901	-,0622 ,4477	,0462 ,5958
Dens.		-,2753 ,0006	-,5068 ,0000	,8907 ,0000	,4717 ,0000	-,4999 ,0000	-,4271 ,0000	-,5573 ,0000	-,4061 ,0000	-,5329 ,0000	-,1696 ,0373	-,0895 ,4182	-,1078 ,2223	,6464 ,0000	,3746 ,0000
PH			,3954 ,0000	-,3230 ,0001	-,4038 ,0000	,3514 ,0000	,3624 ,0000	,3161 ,0002	-,0205 ,8140	,1933 ,0174	-,0398 ,6274	,0383 ,7296	,0294 ,7397	-,3031 ,0002	-,0355 ,6839
Cen.				-,6322 ,0000	-,8810 ,0000	,8483 ,0000	,6284 ,0000	,7571 ,0000	,4794 ,0000	,6991 ,0000	,0962 ,2401	,0599 ,5886	,1494 ,0898	-,3410 ,0000	-,2362 ,0060
Mat. Seca					,5933 ,0000	-,6176 ,0000	-,5713 ,0000	-,6714 ,0000	-,4178 ,0000	-,6304 ,0000	-,1892 ,0200	-,0525 ,6356	-,1428 ,1050	,8036 ,0000	,4912 ,0000
Mat. Org.						-,7979 ,0000	-,5742 ,0000	-,6623 ,0000	-,4332 ,0000	-,6236 ,0000	-,0180 ,8264	-,0104 ,9254	-,1135 ,1984	,2329 ,0040	,1158 ,1828
Cl^-							,7210 ,0000	,8228 ,0000	,5579 ,0000	,7861 ,0000	-,0807 ,3244	-,0418 ,7060	,1217 ,1678	-,4354 ,0000	-,3073 ,0003
N-NH_4								,8279 ,0000	,2444 ,0044	,6872 ,0000	,0108 ,8952	,0088 ,9366	,1988 ,0234	-,4920 ,0000	-,2946 ,0005
N-Inor									,5674 ,0000	,9335 ,0000	,1216 ,1615	,0790 ,5097	,1611 ,0814	-,5451 ,0000	-,3713 ,0000
N-Org										,8244 ,0000	,1214 ,1624	,1047 ,3815	-,0384 ,6772	-,3264 ,0001	-,3680 ,0000
N-Tot											,0931 ,2558	,0351 ,7513	,0745 ,3993	-,4877 ,0000	-,3903 ,0000
P-Inor												,4152 ,0001	,4708 ,0000	-,2140 ,0083	-,1789 ,0386
P-Org													,2288 ,0363	-,1141 ,3012	-,2500 ,0342
Tot-P														-,1716 ,0509	-,0927 ,3182
C/N_{tot}															,5457 ,0000

4.1.5 MÉTODOS RÁPIDOS DE CARACTERIZACIÓN

Como ha podido comprobarse, la gran variabilidad en la composición de los purines hace difícil una estimación precisa de su valor fertilizante antes de proceder al vertido. Por ello es preciso que los agricultores conozcan lo más rápidamente posible dicha composición, con el fin de conseguir un almacenaje y una utilización racional de los purines y de que no se produzcan problemas, tanto medioambientales como de desequilibrio de la nutrición de los cultivos.

Se plantea entonces el problema del análisis del purín utilizando los métodos tradicionales de laboratorio, de elevada precisión y exactitud, pero muy lentos en su realización. Es evidente que, para poder ajustar al máximo las dosis a aplicar, se ha de disponer en las explotaciones de métodos rápidos, sencillos, directos, seguros y más económicos que, una vez contrastados en el laboratorio, permitan su utilización en las explotaciones.

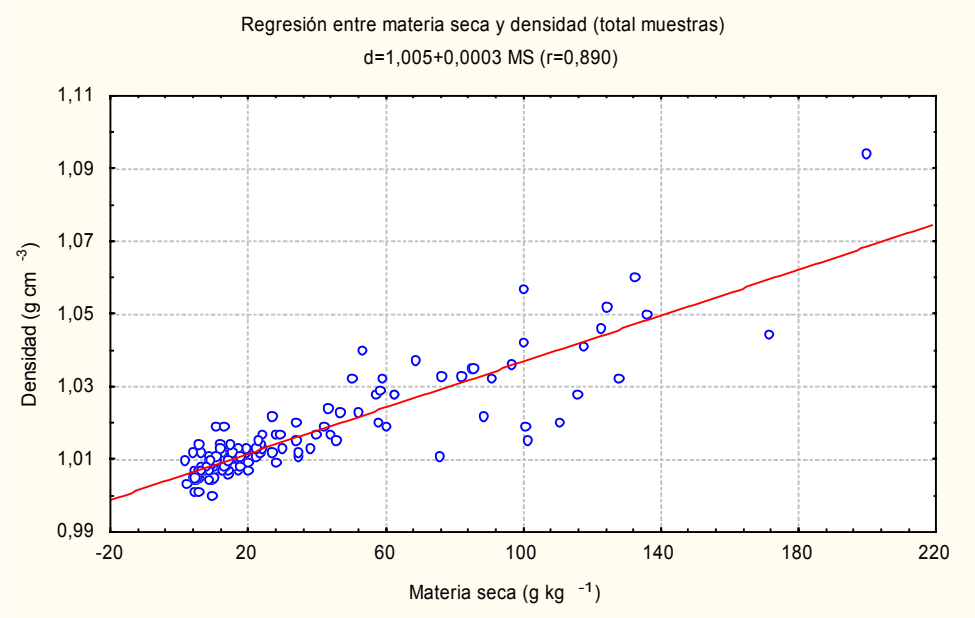
Algunos autores indican que el contenido de materia seca permitiría realizar esta caracterización rápida por su elevada correlación entre el carbono orgánico y los elementos nutrientes principales, SAPEK(1986). Sin embargo la mayoría están de acuerdo en que su

determinación es un proceso largo, además de requerir un equipo especial, y la evaporación de algunos componentes puede inducir a errores. Por el contrario la medida de la densidad, mediante un picnómetro o un densímetro, es más sencilla, permitiendo su utilización al estar fuertemente correlacionada con la materia seca y el carbono orgánico, TUNNEY y MOLLOY (1975b); DUTHION y GERMON (1979); SAPEK (1986).

Las correlaciones obtenidas entre materia seca (g kg^{-1}) y densidad (g cm^{-3}) son estas:

Total muestras	d =1,005 + 0,0003 MS	MS = - 2514 + 2507 d	r = 0,890
Maternidad	d =1,005 + 0,0003 MS	MS = - 2429 + 2421 d	r = 0,873
Ciclo cerrado	d =1,004 + 0,0003 MS	MS = - 2711 + 2703 d	r = 0,950
Engorde	d =1,005 + 0,0003 MS	MS = - 2380 + 2378 d	r = 0,857

Gráfico CP1: Regresión entre materia seca y densidad (total muestras)



A partir de los valores obtenidos para los coeficientes de correlación, puede admitirse la elección de una u otra variable para predecir el resto de componentes del purín; no obstante, se comprobarán las relaciones de todas las variables con la materia seca y la densidad, antes de decantarse por la elección de una sola de ellas.

Las correlaciones son muy similares a las encontradas por otros autores, pero con coeficientes inferiores salvo en el caso de explotaciones de ciclo cerrado :

TUNNEY y MOLLOY (1975b)	MS (%) = -255,8 + 255,46 d	r = 0,981
DUTHION Y GERMON (1979)	d ($g.l^{-1}$)= 1010,9 + 21,9.10^{-2} MS ($g.l^{-1}$)	r = 0,904
TUNNEY (1979)	d = 1 + 0,0039 MS (%)	r = 0,980
CHESCHIER y WESTERMAN (1984)	ST (%) = -233,1 + 233,0 d	r = 0,922
BERTRAND (1985)	d = 1 + 0,0050 MS (%)	
PICCININI y BORTONE (1991).	ST (%) = -221,6 + 221,0 d	r = 0,940

Otros autores, LECOMTE (1979), al no encontrar suficientes correlaciones entre los componentes estudiados, proponen la realización de un análisis completo del purín antes de

proceder a la aplicación, en especial el contenido de nitrógeno total, a partir del cual deduce los de fósforo y potasio.

En todo caso hay que tener presente que las ecuaciones de regresión solo son válidas entre los límites observados para las variables y, por tanto, no pueden ser utilizadas fuera del área para la que se establecen sin las oportunas modificaciones, debido a la gran influencia que presentan sobre la composición del purín el tipo de explotación y la alimentación, TUNNEY y MOLLOY (1975a); HEDUIT y col. (1977); DUTHION y GERMON (1979).

Con el objetivo de aplicar las experiencias anteriores a la región estudiada (Castilla y León), está claro que el primer paso será comprobar si la materia seca y la densidad pueden ser capaces de predecir la composición del purín, en el caso de que su correlación con el resto de variables analizadas sea aceptable.

El estudio de correlación se extiende no solo a los elementos fertilizantes principales, sino también a todos los que de alguna forma pueden tener alguna incidencia medioambiental tras la aplicación al suelo. Las tablas CP15 a CP22 muestran estas correlaciones para el total de las muestras y los tres tipos de exoplotación estudiados, aunque la discusión se limitará al primer caso.

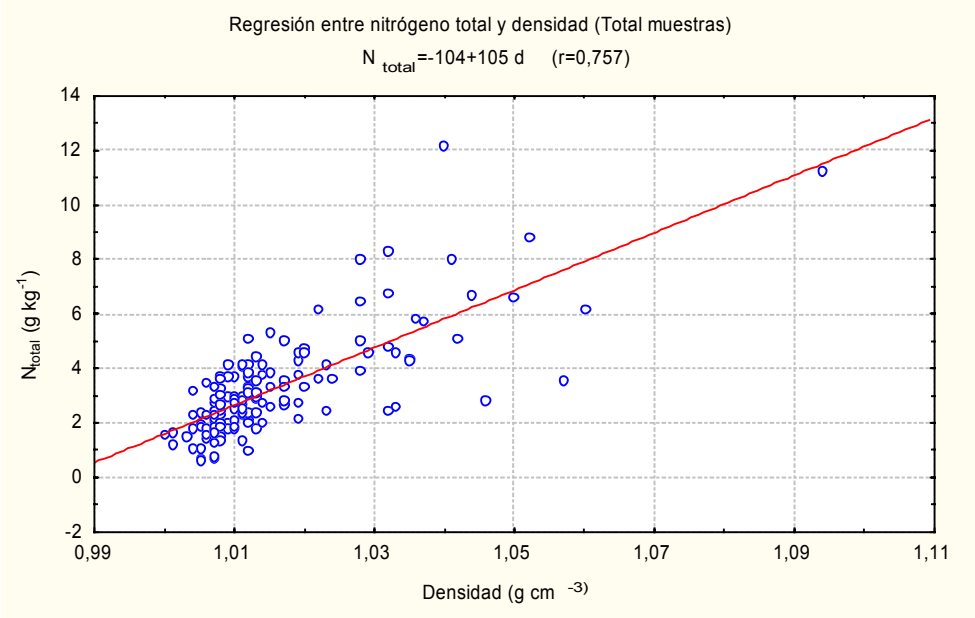
4.1.5.1 Correlaciones entre variables expresadas en materia húmeda

La correlación positiva entre el contenido de materia seca (g kg^{-1}) y las concentraciones de las distintas formas de **nitrógeno** (g kg^{-1}), mejor ajuste con el nitrógeno total, se explica teniendo en cuenta que el menor contenido en materia seca (mayor dilución) da lugar a un menor contenido en nitrógeno, FERRER y col. (1983); POMAR GOMÁ (1984). Esto concuerda con los datos obtenidos al correlacionar el nitrógeno con la densidad, donde el aumento de ésta implica un aumento de la concentración de nitrógeno en el purín.

NH_4-N = -44 + 46 d	r = 0,483
NH_4-N = 1,39 + 0,015 MS	r = 0,435
N_{Inor} = -68 + 70 d	r = 0,634
N_{Ino} = 1,79 + 0,024 MS	r = 0,604
N_{Org} = -33 + 33 d	r = 0,626
N_{Org} = 0,37 + 0,011 MS	r = 0,584
N_{Total} = -104 + 105 d	r = 0,757
N_{Total} = 2,07 + 0,036 MS	r = 0,724

Según FERRER y col. (1983), esta tendencia es mucho más acusada en el nitrógeno total, debido fundamentalmente a las variaciones de concentración de las distintas formas de nitrógeno en su evolución a lo largo del tiempo de permanencia del purín dentro de la fosa. POMAR GOMÁ (1984) incide en la idea de que la degradación del nitrógeno orgánico hacia formas amoniacales, hace que aparezca una aleatoriedad según el momento en que se efectúe la toma de muestra en la fosa.

Gráfico CP2: Regresión entre nitrógeno total y densidad (total muestras)



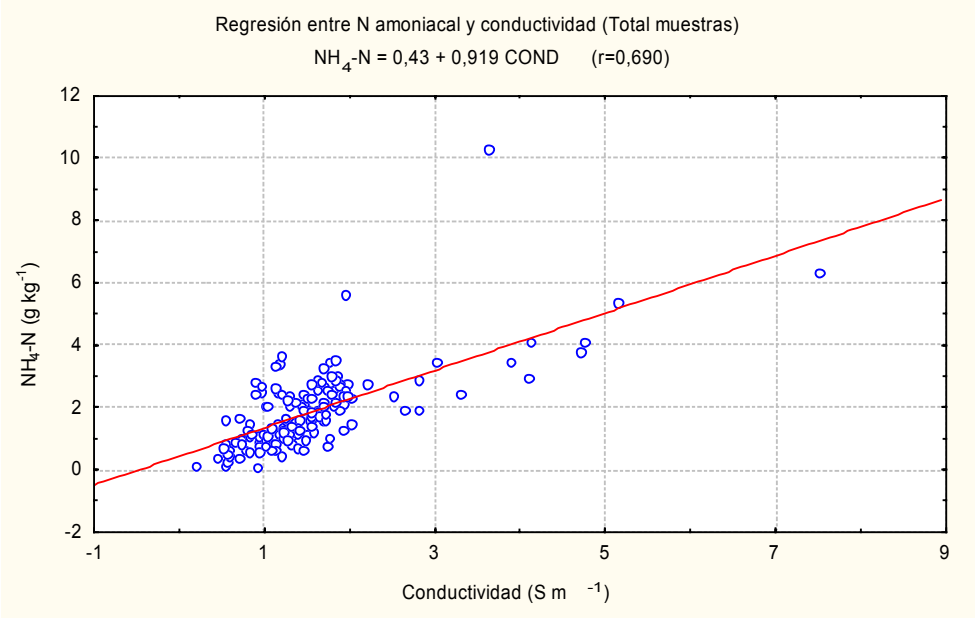
Las ecuaciones de regresión obtenidas por los distintos autores muestran claramente las diferencias entre zonas geográficas de procedencia para las que han sido obtenidas:

DUTHION Y GERMON (1979)	N_{Total} (g.l^{-1}) = -134,84 + 133,18.10^{-3} d (g.l^{-1})	r = 0,873
	N_{Total} (g.l^{-1}) = 2,88 + 3,74.10^{-2} MS (g.l^{-1})	r = 0,764
HEDUIT y col. (1979)	N_{Total} (g.l^{-1}) = 3,16 + 5,3.10^{-2} MS (g.l^{-1})	r = 0,800
POMAR GOMÁ (1984)	N_{Total} (kg m^{-3}) = 2,26 + 0,041 MS (kg m^{-3})	r = 0,723
	N-NH_3 (kg m^{-3}) = 1,52 + 0,21 MS (kg m^{-3})	r = 0,570
CHESCHEIR y WESTERMAN (1984)	N_{Total} (ppm) = 1056 + 246 ST (%)	r = 0,755
	N_{Total} (ppm) = 2435 + 396 ST (%)	r = 0,877
	N_{Total} (ppm) = -103,308 + 105,591 d	r = 0,927
PICCININI y BORTONE (1991)	N_{Total} (g.Kg^{-1}) = -67,40 + 69,19 d	r = 0,750
	N_{Total} (g.Kg^{-1}) = 1,095 + 0,060 ST (g.Kg^{-1})	r = 0,900

El nitrógeno amoniacal (g kg^{-1}) presenta la menor correlación tanto con la materia seca como con la densidad, ya que la mayor parte de él se excreta en la orina bajo formas fácilmente biodegradables, y una menor proporción en las heces, de acuerdo con lo afirmado por FERRER y col. (1983). Es por ello que la correlación mejora sensiblemente cuando ésta se establece con la conductividad (S m^{-1}) o lo que es lo mismo, el mayor contenido en sales solubles en el purín.

$$NH_4 = 0,43 + 0,919\ COND \quad r = 0,690$$

Gráfico CP3: Regresión entre nitrógeno amoniacal y conductividad (total muestras)



SCOTFORD y col. (1999), en el estudio de purines de distintos países, encuentra también la mejor correlación para el nitrógeno amoniacal con la conductividad eléctrica, con un porcentaje de varianza explicada representada a la derecha de la ecuación:

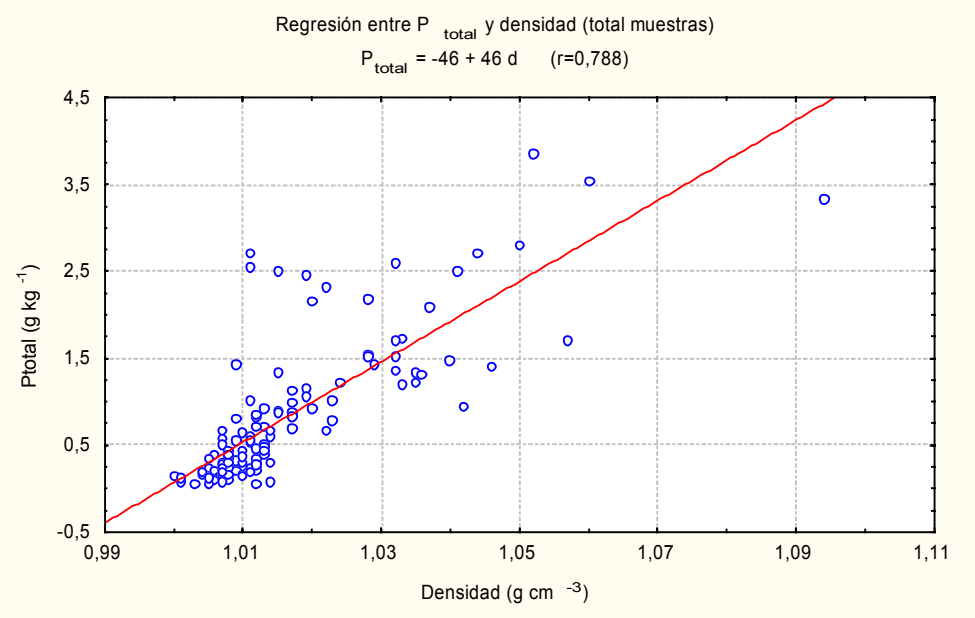
Inglaterra	NH_4^+ (mg L^{-1}) = 0,149 CE (µS cm^{-1}) + 131	84,1 %
Alemania	NH_4^+ (mg L^{-1}) = 0,139 CE (µS cm^{-1}) + 217	91,9 %
Irlanda	NH_4^+ (mg L^{-1}) = 0,136 CE (µS cm^{-1}) – 174	80,6 %

El hecho de que la mayor parte del **fósforo** se excrete en las heces (90%), y que aproximadamente el 80% del fósforo total se localice en la fracción sólida en forma inorgánica, permite predecir con bastante exactitud el contenido de este elemento en el purín (g kg^{-1}), en función del contenido en materia seca (g kg^{-1}), mediante las siguientes ecuaciones de regresión:

P_{Inor} = 0,12 + 0,017 M.S.	r = 0,893
P_{Org} = 0,01 + 0,004 M.S.	r = 0,779
P_{Total}= 0,17 + 0,018 M.S.	r = 0,872

P_{Inor} = - 43 + 43 d	r = 0,815
P_{Org} = - 9 + 9 d	r = 0,604
P_{Total}= - 46 + 46 d	r = 0,788

Gráfico CP4: Regresión entre fósforo total y densidad



Igualmente se aprecia una correlación positiva, aunque con un ajuste peor, entre las distintas formas de fósforo y la densidad (g cm^{-3}), lo que indica que cuanto mayor es la densidad del purín poseerá un mayor contenido en fósforo.

DUTHION Y GERMON (1979)	P_{Total} = 0.03 + 3,12.10^{-2} MS	r = 0,906
	P_{Total} = - 93,77 + 96,06 d	r = 0,868
HEDUIT y col. (1979)	P_{Total} = 0.54 + 0,03 MS	r = 0,840
FERRER y col. (1983)	P_{Total} (kg m^{-3}) = -0,41 + 0,031 MS (kg m^{-3})	r = 0,937
CHESCHEIR y WESTERMAN (1984)	P_{Total} (ppm) = 117 + 92 ST (%)	r = 0,843
	P_{Total} (ppm) = -112 + 334 ST (%)	r = 0,775
	P_{Total} (ppm) = -79,96 + 79,79 d	r = 0,843
PICCININI y BORTONE (1991)	P_{Total} (g kg^{-1})= -46,61 + 46,88 d	r = 0,750
	P_{Total} (g kg^{-1})= 0,032 + 0,0312 ST (g kg^{-1})	r = 0,880
SCOTFORD y col. (1999)	P_{Total} (mg L^{-1}) = 31,16 d (kg m^{-3}) – 1337	Inglaterra
	P_{Total} (mg L^{-1}) = 23,06 d (kg m^{-3}) – 22618	Alemania
	P_{Total} (mg L^{-1}) = 58,86 d (kg m^{-3}) – 57426	Irlanda
	P_{Total} (mg L^{-1}) = 20,25 d (kg m^{-3}) – 20317	Italia

La correlación de **sodio**, **potasio y cloruros** (g kg^{-1}) con la materia seca (g kg^{-1}) es mucho menor que la obtenida para el resto de los componentes y, aunque se aprecia una mejoría con la densidad (g cm^{-3}), ésta es muy débil, mejora algo más cuando la correlación se establece con la conductividad (S m^{-1}).

K = 0,8 + 0,006 M.S.	r = 0,352
Na = 0,2 + 0,001 M.S.	r = 0,290
Cl = 0,8 + 0,004 M.S.	r = 0,259

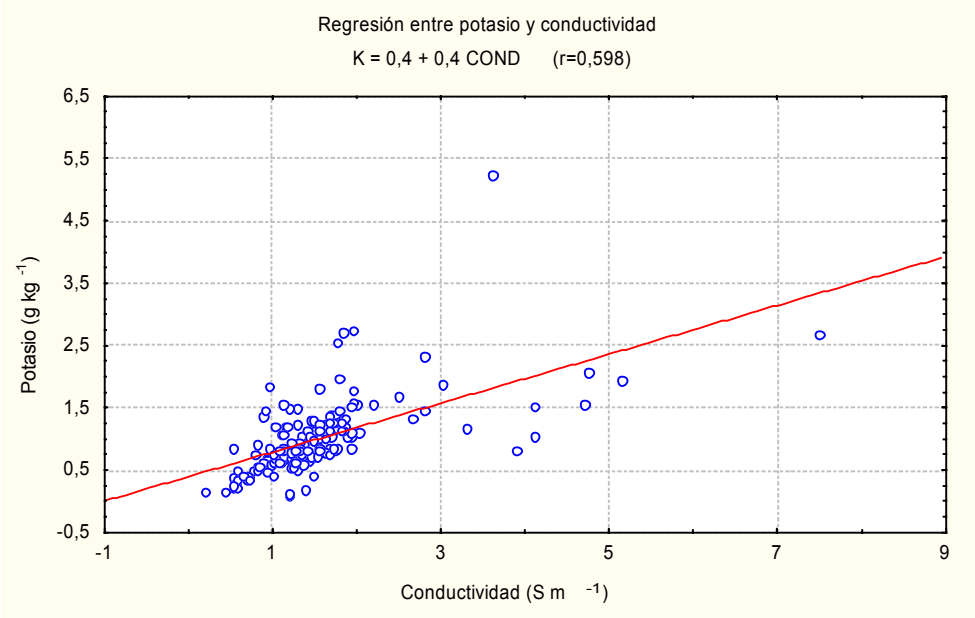
K = - 19 + 20 D	r = 0,421
Na = - 4,3 + 4,4 D	r = 0,297
Cl = - 14 + 14 D	r = 0,355

Potasio y sodio se excretan en la orina, por lo que su correlación con la materia seca disminuye al no estar asociados con ella. POMAR GOMÁ (1984) afirma que la baja correlación del potasio con la materia seca se debe a su menor control en el contenido de la dieta que en el caso del sodio que, al ser suplementado como clururo, matiene una presencia más regular. Sin embargo, en el presente estudio el sodio presenta una correlación menor tanto con la materia seca como con la densidad. No obstante, ambos elementos se encuentran correlacionados entre sí (r = 0,547), al igual que el fósforo y el calcio (r = 0,906), a causa del metabolismo del animal, si bien esta correlación no es tan estrecha como la obtenida por FERRER y col. (1983), con r = 0,835 y 0,962 respectivamente.

La mejoría es sustancial cuando la correlación se establece con la conductividad:

K = 0,4 + 0,4 COND	r = 0,598
Na = 0,12 + 0,08 COND	r = 0,360
Cl = 0,4 + 0,4 COND	r = 0,621

Gráfico CP5: Regresión entre potasio y conductividad



Las correlaciones de los distintos autores vuelven a mostrar las diferencias:

FERRER y col. (1983)	K (kg m^{-3}) = 1,84 + 0,013 MS (kg m^{-3})	r = 0,506
	Na (kg m^{-3}) = 0,501 + 0,008 MS (kg m^{-3})	r = 0,749
CHESCHEIR y WESTERMAN (1984)	K (ppm) = 527 + 170 ST (%)	r = 0,714
	K (ppm) = 1364 + 49 ST (%)	r = 0,346
	K (ppm) = 16,17 + 17,34 d	r = 0,520
SCOTFORD y col. (1999)	K (mg L^{-1}) = 42,97 d (kg m^{-3})- 43000	

Los contenidos en **materia orgánica** (g kg^{-1}) y **materia mineral** (g kg^{-1}) presentan una altísima correlación con la materia seca (g kg^{-1}) y algo menor con la densidad (g cm^{-3}), aunque siguen siendo valores altos:

MORG = -2,2 + 0,79 MS	r = 0,994
CEN = -2,5 + 0,20 MS	r = 0,922

MORG = - 1974 + 1967 d	r = 0,879
CEN = - 524 + 521 d	r = 0,853

Similares a las obtenidas por DUTHION y GERMON (1979):

COD ($g\ L^{-1}$) = 9,06 + 0,848 MS ($g\ L^{-1}$) r = 0,926
COD ($g\ L^{-1}$) = -2420 + 2,412 d ($g\ L^{-1}$) r = 0,847

El nivel de correlación de la mayor parte de los **metales** (en $mg\ kg^{-1}$, salvo Ca y Mg en $g\ kg^{-1}$) con la materia seca ($g\ kg^{-1}$) es muy alto, debido a que apenas son absorbidos por el tracto digestivo y se excretan con las heces, POMAR GOMÁ (1984). La correlación de los metales con la densidad ($g\ cm^{-3}$) empeora respecto a la obtenida con la materia seca, pero sigue manteniendo valores bastante elevados.

Ca = 0,088 + 0,031 M.S.	r = 0,905
Mg = 0,042 + 0,006 M.S.	r = 0,792
Zn = - 0,704 + 0,785 M.S.	r = 0,828
Cu = - 0,376 + 0,423 M.S.	r = 0,788
Pb = 0,06 + 0,007 M.S.	r = 0,655
Mo = 0,009 + 0,009 M.S.	r = 0,667
Al = 6,5 + 0,91 M.S.	r = 0,396
Mn = 0,33 + 0,37 M.S.	r = 0,796
Fe = - 5,7 + 2,5 M.S.	r = 0,787

es de

Ca = - 79,9 + 79,7 D	r = 0,817
Mg = - 13,6 + 13,6 D	r = 0,684
Zn = - 2029 + 2023 D	r = 0,757
Cu = - 1117 + 1114 D	r = 0,737
Pb = - 16,6 + 16,7 D	r = 0,522
Mo = - 21,5 + 21,5 D	r = 0,577
Al = - 1792 + 1800 D	r = 0,278
Mn = - 907 + 906 D	r = 0,690
Fe = - 6408 + 6384 D	r = 0,715

DUTHION Y GERMON (1979)

Ca ($g\ L^{-1}$)= 0,31 + $0,56.10^{-2}$ MS ($g\ L^{-1}$) r = 0,912
Ca ($g\ L^{-1}$) = -153,04 + $152,45.10^{-3}$ d ($g\ L^{-1}$) r = 0,793
Mg ($g\ L^{-1}$) = 0,26 + $0,87.10^{-2}$ MS ($g\ L^{-1}$) r = 0,740
Mg ($g\ L^{-1}$) = -29,13 + $29,09.10^{-3}$ d ($g\ L^{-1}$) r = 0,790
Cu ($g\ L^{-1}$) = 6,35 + 0,81 MS ($g\ L^{-1}$) r = 0,886
Cu ($g\ L^{-1}$) = -2537 + 2520.10^{-3} d ($g\ L^{-1}$) r = 0,855
Zn ($g\ L^{-1}$) = -5,80 + 1,09 MS ($g\ L^{-1}$) r = 0,768
Zn ($g\ L^{-1}$) = -3217 + 3187.10^{-3} d ($g\ L^{-1}$) r = 0,720

POMAR GOMÁ (1984)

Ca ($kg\ m^{-3}$) = -0,41 + 0,031 MS ($kg\ m^{-3}$) r = 0,937
Mg ($kg\ m^{-3}$) = 0,021 + 0,008 MS ($kg\ m^{-3}$) r = 0,815
Cu (ppm) = 0,92 + 0,72 MS ($kg\ m^{-3}$) r = 0,787
Zn (ppm) = 10,26 + 0,44 MS ($kg\ m^{-3}$) r = 0,716
Fe (ppm) = -31,7 + 1,41 MS ($kg\ m^{-3}$) r = 0,687

NICHOLSON y col. (1999)

Cu ($g\ m^{-3}$) = 0,71 + 4,61 MS
Zn ($g\ m^{-3}$) = 0,99 + 5,46 MS

4.1.5.2 Correlaciones entre variables expresadas en materia seca.

Cuando los contenidos de los elementos analizados en el purín, expresados sobre materia seca, se correlacionan con los contenidos en materia seca, aparece una mejoría sensible, respecto a los contenidos expresados sobre materia fresca, para sodio y cloruros (g kg^{-1}) y una leve mejora para potasio y nitrógeno amoniacal (g kg^{-1}):

Na = 20431 - 175 M.S. r = - 0,425
Cl = 885 - 8 M.S. r = - 0,453
K = 91076 - 797 M.S. r = - 0,376
NH4 = 14 - 0,11 M.S. r = - 0,467

Para el resto de las variables, expresadas sobre materia seca, la correlación es mucho peor y con niveles de significación más bajos que cuando se expresan sobre materia fresca.

El hecho de que algunas variables expresadas sobre materia seca presenten correlaciones negativas con la materia seca, cuando expresadas sobre materia fresca eran positivas, se debe a que la mayor parte sea excretada por la orina y por ello, al eliminar la influencia de la dilución, un aumento del contenido en materia seca implica una disminución de la riqueza en esos componentes, POMAR GOMÁ(1984). Además, cuanto menor es la correlación, menor es el porcentaje de excreción en la orina de ese componente.

Se estima que el 70% del nitrógeno amoniacal es excretado en la orina y un 30% en las heces. Lo mismo ocurre con el 80% del potasio y el 70% del sodio, POMAR GOMÁ (1984). Sin embargo, la mayor parte del fósforo, calcio y magnesio, se excretan con las heces, así como el cobre, cinc y resto de metales (mg kg^{-1}), que mantienen su correlación positiva, aún expresados sobre materia seca (g kg^{-1}) en lugar de materia fresca.

Cu = 309 + 1,4 M.S. r = 0,180
Zn = 646 + 1,6 M.S. r = 0,134

En cuanto a la materia orgánica y su excreción en las heces, parece lógico que mantenga su correlación positiva con la materia seca, aún cuando se exprese sobre el purín seco, y aunque es así, su coeficiente de correlación es mucho menor:

M_{ORG} = 62 + 0,14 M.S. r = 0,197

Por el contrario, el contenido en cenizas expresado sobre materia seca, invierte el signo de la correlación respecto a la expresión sobre materia fresca, debido a una mayor excreción de materia mineral en la orina que en las heces:

CEN = 46 - 0,23 M.S. r = - 0,332

Las correlaciones lineales con la materia seca y la densidad por parte de todas las variables analizadas (expresadas en materia húmeda), para el total de las muestras y según los tres tipos de explotación , se muestran en las tablas CP15 a CP22.

Pretendiendo conseguir mejores ajustes, se han intentado correlaciones distintas de la lineal tales como $1/y = a + bx$, $y = \exp(a + bx)$ y multiplicativa ($y = a\,x^b$), aunque sin conseguir resultados satisfactorios y, por tanto, no se exponen en el presente trabajo.

Tabla CP15: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la materia seca (Total muestras, n=151)

Variable dependiente	Coefic. correl	Error estándar	Significa tividad	y = a + b x					
				a	S	P	b	S.	P.
Conduct. (S m^{-1})	0.152	0.936	**	1.435	0.101	*	0.004	0.002	* *
Densidad (g cm^{-3})	0.890	0.0006	*	1.005	0.0006	*	0.0003	0.00001	*
PH (1:2)	- 0.324	0.416	*	7.711	0.045	*	- 0.004	0.0009	*
Cenizas (g kg-1)	0.922	3.177	*	- 2.52	0.343	*	0.20	0.007	*
M. Org. (g kg^{-1})	0.994	3.173	*	- 2.24	0.342	*	0.79	0.007	*
Cloruros (g kg^{-1})	0.259	0.525	*	0.79	0.057	*	0.004	0.001	*
NH_4-N (g kg^{-1})	0.435	1.136	*	1.389	0.122	*	0.015	0.002	*
Inorg-N (g kg^{-1})	0.604	1.219	*	1.794	0.141	*	0.024	0.003	*
Org - N (g kg^{-1})	0.584	0.599	*	0.378	0.069	*	0.011	0.001	*
Total- N (g kg^{-1})	0.724	1.275	*	2.068	0.137	*	0.036	0.003	*
Inorg-P (g kg^{-1})	0.893	0.317	*	0.118	0.034	*	0.017	0.0007	*
Org – P (g kg^{-1})	0.779	0.103	*	0.006	0.016	* *	0.004	0.0003	*
Total - P (g kg^{-1})	0.872	0.405	*	0.167	0.048	*	0.018	0.0009	*
C/N_{Tot}	0.804	2.166	*	1.047	0.233	*	0.078	0.005	*
C/N_{Org}	0.491	26.57	*	11.64	3.07	* *	0.385	0.059	* *
K (g kg^{-1})	0.352	0.582	*	0.820	0.063	*	0.006	0.001	*
Mg (g kg^{-1})	0.792	0.161	*	0.042	0.017	*	0.006	0.0003	*
Ca (g kg^{-1})	0.905	0.551	*	0.088	0.059	* *	0.031	0.001	*
Na (g kg^{-1})	0.290	0.190	*	0.185	0.020	*	0.001	0.0004	*
Zn (mg kg^{-1})	0.828	19.902	*	- 0.704	2.146	* *	0.785	0.043	*
Cu (mg kg^{-1})	0.788	12.366	*	- 0.376	1.333	* *	0.423	0.027	*
Pb (mg kg^{-1})	0.655	0.321	*	0.06	0.035	* *	0.007	0.0007	*
Mo (mg kg^{-1})	0.667	0.368	*	0.009	0.040	* *	0.009	0.0008	*
Al (mg kg^{-1})	0.396	79.14	*	6.51	8.53	* *	0.910	0.173	*
Mn (mg kg^{-1})	0.796	10.58	*	0.330	1.141	* *	0.370	0.023	*
Fe (mg kg^{-1})	0.787	79.19	*	- 5.68	7.89	* *	2.50	0.16	*

Tabla CP16: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la materia seca (Maternidad, n=64)

Variable dependiente	Cefic. correl	Error estándar	Significa tividad	y = a + b x					
				a	S	P	b	S.	P.
Conduct. (S m^{-1})	0,346	0,960	*	1,156	0,155	*	0,013	0,005	*
Densidad (g cm^{-3})	0,873	0,005	*	1,005	0,0007	*	0,0003	0,00002	*
PH (1:2)	- 0,010	0,436	* *	7,687	0,070	*	-	0,002	* *
Cenizas (g kg-1)	0,965	1,914	*	1,258	0,309	*	0,268	0,009	*
M. Org. (g kg^{-1})	0,995	1,944	*	- 1,229	0,314	*	0,731	0,009	*
Cloruros (g kg^{-1})	0,329	0,442	*	0,742	0,071	*	0,006	0,002	*
NH_4-N (g kg^{-1})	0,551	0,832	*	1,054	0,134	*	0,021	0,004	*
Inorg-N (g kg^{-1})	0,742	0,778	*	1,380	0,138	*	0,030	0,004	*
Org - N (g kg^{-1})	0,259	0,463	*	0,567	0,082	*	0,004	0,002	*
Total- N (g kg^{-1})	0,708	0,951	*	1,844	0,154	*	0,036	0,005	*
Inorg-P (g kg^{-1})	0,916	0,263	*	0,031	0,042	* *	0,023	0,001	*
Org – P (g kg^{-1})	0,779	0,111	*	- 0,004	0,026	* *	0,005	0,0007	*
Total - P (g kg^{-1})	0,863	0,422	*	0,087	0,079	* *	0,024	0,002	*
C/N_{Tot}	0,830	1,466	*	1,013	0,237	*	0,082	0,007	*
C/N_{Org}	0,573	24,41	*	6,99	4,32	*	0,597	0,119	* *
K (g kg^{-1})	0,370	0,406	*	0,731	0,066	*	0,006	0,002	*
Mg (g kg^{-1})	0,911	0,116	*	- 0,034	0,019	* *	0,010	0,0006	*
Ca (g kg^{-1})	0,923	0,430	*	- 0,038	0,069	* *	0,039	0,002	*
Na (g kg^{-1})	0,462	0,139	*	0,156	0,022	*	0,003	0,0007	*
Zn (mg kg^{-1})	0,844	19,72	*	- 5,295	3,187	* *	1,171	0,094	*
Cu (mg kg^{-1})	0,790	11,53	*	- 3,047	1,864	* *	0,562	0,055	*
Pb (mg kg^{-1})	0,912	0,103	*	0,009	0,017	* *	0,009	0,0005	*
Mo (mg kg^{-1})	0,667	0,301	*	- 0,033	0,048	* *	0,010	0,001	*
Al (mg kg^{-1})	0,776	20,66	*	- 1,625	3,340	* *	0,960	0,099	*
Mn (mg kg^{-1})	0,939	4,95	*	- 2,648	0,800	*	0,513	0,024	*
Fe (mg kg^{-1})	0,801	74,16	*	- 20,148	11,985	* *	3,743	0,355	*

** $p < .01$ (altamente significativo)
* $p < .05$ (significativo)
(ns) $p > .05$ (no significativo)

Tabla CP17: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la materia seca (Ciclo Cerrado, n=35)

Variable dependiente	Cefic. correl	Error estándar	Significa tividad	y = a + b x					
				a	S	P	b	S.	P.
Conduct. (S m^{-1})	- 0,028	0,621	* *	1,348	0,146	*	- 0,0004	0,003	* *
Densidad (g cm^{-3})	0,950	0,004	*	1,004	0,001	*	0,0003	0,00002	*
PH (1:2)	- 0,435	0,419	*	7,684	0,098	*	- 0,005	0,002	*
Cenizas (g kg-1)	0,870	4,013	*	2,360	0,940	* *	0,183	0,018	*
M. Org. (g kg^{-1})	0,992	4,015	*	- 2,598	0,941	*	0,819	0,018	*
Cloruros (g kg^{-1})	0,173	0,291	* *	0,710	0,068	*	0,001	0,001	* *
NH_4-N (g kg^{-1})	0,339	0,917	*	1,386	0,215	*	0,008	0,004	*
Inorg-N (g kg^{-1})	0,539	1,165	*	1,747	0,286	*	0,019	0,005	*
Org - N (g kg^{-1})	0,520	0,406	*	0,458	0,099	*	0,006	0,002	*
Total- N (g kg^{-1})	0,651	1,189	*	2,115	0,279	*	0,026	0,005	*
Inorg-P (g kg^{-1})	0,802	0,380	*	0,197	0,089	* *	0,013	0,002	*
Org – P (g kg^{-1})	0,596	0,101	*	0,038	0,032	* *	0,002	0,0006	*
Total - P (g kg^{-1})	0,799	0,448	*	0,210	0,107	* *	0,152	0,020	*
C/N_{Tot}	0,852	2,868	*	0,213	0,672	* *	0,120	0,013	*
C/N_{Org}	0,546	33,65	*	7,38	8,26	*	0,559	0,154	* *
K (g kg^{-1})	0,164	0,398	* *	0,685	0,093	*	0,002	0,002	* *
Mg (g kg^{-1})	0,724	0,166	*	0,068	0,039	* *	0,004	0,0007	*
Ca (g kg^{-1})	0,831	0,773	*	0,135	0,181	* *	0,030	0,003	*
Na (g kg^{-1})	0,086	0,296	* *	0,208	0,069	*	0,0006	0,001	* *
Zn (mg kg^{-1})	0,761	20,72	*	2,294	4,857	* *	0,627	0,093	*
Cu (mg kg^{-1})	0,618	15,52	*	1,908	3,639	* *	0,315	0,069	*
Pb (mg kg^{-1})	0,614	0,370	*	0,050	0,087	* *	0,007	0,002	*
Mo (mg kg^{-1})	0,630	0,453	*	0,005	0,106	* *	0,009	0,002	*
Al (mg kg^{-1})	0,447	66,73	*	5,761	15,64	* *	0,861	0,300	*
Mn (mg kg^{-1})	0,783	10,47	*	0,433	2,453	* *	0,341	0,047	*
Fe (mg kg^{-1})	0,757	83,43	*	- 8,599	19,55	* *	2,495	0,375	*

Tabla CP18: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la materia seca (Engorde, n=52)

Variable dependiente	Cefic. correl	Error estándar	Significa tividad	y = a + b x					
				a	S	P	b	S.	P.
Conduct. (S m^{-1})	0,009	0,988	* *	1,848	0,192	*	0,0002	0,003	* *
Densidad (g cm^{-3})	0,857	0,008	*	1,005	0,002	*	0,0003	0,00003	*
PH (1:2)	- 0,442	0,377	*	7,714	0,073	*	- 0,004	0,001	*
Cenizas (g kg-1)	0,937	3,054	*	3,715	0,593	*	0,182	0,010	*
M. Org. (g kg^{-1})	0,996	3,199	*	- 2,823	0,621	*	0,799	0,010	*
Cloruros (g kg^{-1})	0,228	0,692	* *	0,916	0,134	*	0,004	0,002	* *
NH_4-N (g kg^{-1})	0,342	1,445	*	1,921	0,281	*	0,012	0,004	*
Inorg-N (g kg^{-1})	0,516	1,498	*	2,433	0,305	*	0,020	0,005	*
Org - N (g kg^{-1})	0,721	0,736	*	0,130	0,150	* *	0,017	0,002	*
Total- N (g kg^{-1})	0,731	1,535	*	2,502	0,298	*	0,036	0,005	*
Inorg-P (g kg^{-1})	0,941	0,266	*	0,120	0,052	* *	0,016	0,0008	*
Org – P (g kg^{-1})	0,925	0,067	*	- 0,020	0,019	* *	0,004	0,0003	*
Total - P (g kg^{-1})	0,944	0,290	*	0,166	0,060	*	0,018	0,0009	*
C/N_{Tot}	0,849	1,629	*	1,368	0,316	*	0,582	0,051	*
C/N_{Org}	0,420	21,49	*	17,44	4,38	* *	0,216	0,069	* *
K (g kg^{-1})	0,343	0,726	*	1,110	0,141	*	0,006	0,002	*
Mg (g kg^{-1})	0,796	0,453	*	0,083	0,030	*	0,004	0,0005	*
Ca (g kg^{-1})	0,944	0,464	*	0,134	0,090	* *	0,029	0,001	*
Na (g kg^{-1})	0,375	0,155	*	0,201	0,030	*	0,001	0,0005	*
Zn (mg kg^{-1})	0,911	15,06	*	- 1,448	2,926	* *	0,741	0,047	*
Cu (mg kg^{-1})	0,382	10,03	*	0,632	1,949	* *	0,416	0,031	*
Pb (mg kg^{-1})	0,555	0,447	*	0,118	0,087	* *	0,006	0,001	*
Mo (mg kg^{-1})	0,668	0,389	*	0,057	0,076	* *	0,007	0,001	*
Al (mg kg^{-1})	0,285	122,4	*	21,31	23,77	* *	0,809	0,384	*
Mn (mg kg^{-1})	0,712	14,38	*	3,005	2,793	* *	0,324	0,045	*
Fe (mg kg^{-1})	0,885	50,40	*	- 2,565	9,789	* *	2,123	0,158	*

** $p < .01$ (altamente significativo)
* $p < .05$ (significativo)
(ns) $p > .05$ (no significativo)

Tabla CP19: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la densidad (Total muestras, n=151)

Variable dependiente	Cefic. correl	Error estándar	Significa tividad	y = a + b x					
				a	S	P	b	S.	P.
Conduct. (S m^{-1})	0,244	0,919	*	-16,1	5,7	*	17,4	5,7	*
Mat. Seca (g kg-1)	0,890	17,0	*	-2513,8	106,7	*	2507,5	105,0	*
PH (1:2)	-0,275	0,423	*	16,8	2,6	*	-9,1	2,6	*
Cenizas (g kg-1)	0,853	4,278	*	-524,1	26,7	*	525,1	26,3	*
M. Org. (g kg^{-1})	0,879	14,2	*	-1975	89	*	1967	87	*
Cloruros (g kg^{-1})	0,355	0,508	*	-13,8	3,2	*	14,5	3,1	*
NH_4-N (g kg^{-1})	0,483	1,105	*	-44,6	6,9	*	45,8	6,8	*
Inorg-N (g kg^{-1})	0,634	1,183	*	-68,2	7,5	*	69,7	7,4	*
Org - N (g kg^{-1})	0,626	0,576	*	-33,0	3,7	*	33,2	3,6	*
Total- N (g kg^{-1})	0,757	1,208	*	-103,7	7,5	*	105,3	7,4	*
Inorg-P (g kg^{-1})	0,815	0,408	*	-43,2	2,5	*	43,2	2,5	*
Org – P (g kg^{-1})	0,604	0,131	*	-9,2	1,4	*	9,2	1,4	*
Total - P (g kg^{-1})	0,788	0,510	*	-46,3	3,2	*	46,3	3,2	*
C/N_{Tot}	0,646	2,778	*	-176,1	17,4	*	176,9	17,1	*
C/N_{Org}	0,374	28,28	*	-809,2	179,8	**	820,9	176,9	**
K (g kg^{-1})	0,421	0,564	*	-18,9	3,5	*	19,7	3,5	*
Mg (g kg^{-1})	0,684	0,193	*	-13,6	1,2	*	13,6	1,2	*
Ca (g kg^{-1})	0,817	0,749	*	-79,9	4,7	*	79,7	4,6	*
Na (g kg^{-1})	0,297	0,190	*	-4,3	1,2	*	4,4	1,2	*
Zn (mg kg^{-1})	0,758	23,178	*	-2029	145	*	2023	143	*
Cu (mg kg^{-1})	0,737	13,575	*	-1117	85	*	1113	84	*
Pb (mg kg^{-1})	0,522	0,362	*	-16,6	2,3	*	16,6	2,2	*
Mo (mg kg^{-1})	0,577	0,404	*	-21,5	2,5	*	21,5	2,5	*
Al (mg kg^{-1})	0,278	82,779	*	-1792	518	*	1800	509	*
Mn (mg kg^{-1})	0,690	12,653	*	-908	79	*	906	78	*
Fe (mg kg^{-1})	0,715	82,976	*	-6408	519	*	6384	511	*

Tabla CP20: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la densidad (Maternidad, n=64)

Variable dependiente	Cefic. correl	Error estándar	Signific atividad	y = a + b x					
				A	S	P	b	S.	P.
Conduct. (S m^{-1})	0,402	9,372	*	-422	126	**	431	125	**
Mat. Seca (g kg-1)	0,873	1,293	*	-243	17	*	242	17	*
PH (1:2)	0,024	0,436	**	6,5	5,9	ns	1,1	5,8	ns
Cenizas (g kg-1)	0,910	3,046	*	-703	41	*	701	40	*
M. Org. (g kg^{-1})	0,843	10,485	*	-1725	141	*	1718	139	*
Cloruros (g kg^{-1})	0,321	0,043	* *	-1,5	0,6	ns	1,5	0,6	**
NH_4-N (g kg^{-1})	0,564	0,824	*	-58,1	11,1	*	58,9	10,9	*
Inorg-N (g kg^{-1})	0,707	0,821	*	-78,8	11,3	*	79,9	11,2	*
Org - N (g kg^{-1})	0,271	0,461	**	-12,1	6,4	**	12,6	6,3	**
Total- N (g kg^{-1})	0,679	0,989	*	-94,3	13,3	*	95,8	13,1	*
Inorg-P (g kg^{-1})	0,808	0,385	*	-55,5	5,2	*	55,4	5,1	*
Org – P (g kg^{-1})	0,802	0,106	*	-17,1	2,3	*	17,0	2,2	*
Total - P (g kg^{-1})	0,788	0,514	*	-62,3	7,2	*	62,2	7,1	*
C/N_{Tot}	0,655	1,988	*	-180,0	26,8	*	180,6	26,4	*
C/N_{Org}	0,377	27,59	*	-1086	381	**	1093	376	**
K (g kg^{-1})	0,404	400,2	*	-17888	5387	**	18526	5323	*
Mg (g kg^{-1})	0,871	138,8	*	-25,961	1869	*	25824	1847	*
Ca (g kg^{-1})	0,867	558,7	*	-102303	7521	*	101871	7431	*
Na (g kg^{-1})	0,480	137,7	*	-7784	1854	*	7903	1832	*
Zn (mg kg^{-1})	0,825	20,74	*	-3195	279	*	3177	275	*
Cu (mg kg^{-1})	0,834	10,38	*	-1656	139	*	1645	138	*
Pb (mg kg^{-1})	0,819	0,145	*	-21,6	1,9	*	21,5	1,9	*
Mo (mg kg^{-1})	0,736	0,274	*	-31,3	3,6	*	31,1	3,6	*
Al (mg kg^{-1})	0,729	22,42	*	-2512	301	*	2501	298	*
Mn (mg kg^{-1})	0,864	7,284	*	-1316	98	*	1308	96	*
Fe (mg kg^{-1})	0,812	72,24	*	-10598	972	*	10530	960	*

** $p < .01$ (altamente significativo) (ns) $p > .05$ (no significativo)

* $p < .05$ (significativo)

Tabla CP21: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la densidad (Ciclo Cerrado n=35)

Variable dependiente	Cefic. correl	Error estándar	Significa tividad	y = a + b x					
				a	S	P	b	S.	P.
Conduct. (S m^{-1})	0,094	6,188	* *	- 30,3	80,4	* *	42,9	79,1	* *
Mat. Seca (g kg-1)	0,950	1,205	*	- 271	15	*	270	15	*
pH (1:2)	-0,378	0,430	* *	20,6	5,5	*	-12,9	5,5	* *
Cenizas (g kg-1)	0,875	3,951	*	- 523	51	*	523	50	*
M. Org. (g kg^{-1})	0,930	11,78	*	- 2191	153	*	2183	150	*
Cloruros (g kg^{-1})	0,253	0,028	* *	- 0,46	0,36	* *	0,53	0,35	* *
NH_4-N (g kg^{-1})	0,443	0,874	* *	- 30,5	11,3	* *	31,7	11,1	* *
Inorg-N (g kg^{-1})	0,669	1,028	*	- 65,5	13,5	*	66,9	13,3	*
Org - N (g kg^{-1})	0,489	0,415	* *	- 16,3	5,4	* *	16,8	5,3	* *
Total- N (g kg^{-1})	0,750	1,037	*	- 84,6	13,4	*	86,2	13,2	*
Inorg-P (g kg^{-1})	0,830	0,355	*	- 38,7	4,6	*	38,7	4,5	*
Org – P (g kg^{-1})	0,547	0,106	* *	- 5,0	1,8	* *	5,0	1,8	* *
Total - P (g kg^{-1})	0,835	0,410	*	- 45,2	5,3	*	45,3	5,2	*
C/N_{Tot}	0,711	3,849	*	- 286	50	* *	286	49	* *
C/N_{Org}	0,541	33,79	*	-1569	446	* *	1571	439	* *
K (g kg^{-1})	0,275	387,7	* *	- 7517	5037	* *	8131	4956	* *
Mg (g kg^{-1})	0,708	170,1	*	- 12521	2211	*	12548	2175	*
Ca (g kg^{-1})	0,821	793,5	*	- 83849	10310	*	83697	10144	*
Na (g kg^{-1})	0,070	296,2	* *	- 1313	3849	* *	1520	3787	* *
Zn (mg kg^{-1})	0,808	18,83	*	- 1899	244	*	1893	240	*
Cu (mg kg^{-1})	0,670	14,65	*	- 973	190	*	971	187	*
Pb (mg kg^{-1})	0,642	0,359	*	- 22,1	4,6	*	22,0	4,5	*
Mo (mg kg^{-1})	0,642	0,447	*	- 27,5	5,8	*	27,4	5,7	*
Al (mg kg^{-1})	0,525	63,49	* *	- 2887	824	* *	2877	811	* *
Mn (mg kg^{-1})	0,809	9,90	*	- 1003	128	*	1000	126	*
Fe (mg kg^{-1})	0,763	82,48	*	- 7191	1071	*	7156	1054	

Tabla CP22: Correlaciones entre variables analizadas en el purín y la densidad (Engorde, n=52)

Variable dependiente	Cefic. correl	Error estándar	Significa tividad	y = a + b x					
				a	S	P	b	S.	P.
Conduct. (S m^{-1})	0,144	9,774	**	-71	87	**	88	85	**
Mat. Seca (g kg-1)	0,857	2,320	*	-238	21	*	238	20	*
pH (1:2)	-0,393	0,387	*	18	3	*	-10	3	* *
Cenizas (g kg-1)	0,810	5,131	*	-433	45	*	437	45	*
M. Org. (g kg^{-1})	0,858	18,572	*	-1914	165	*	1910	162	*
Cloruros (g kg^{-1})	0,355	0,063	**	-1,4	0,6	**	1,5	0,5	**
NH_4-N (g kg^{-1})	0,404	1,407	*	-37	12	*	38	12	*
Inorg-N (g kg^{-1})	0,543	1,468	*	-55	13	*	57	13	*
Org - N (g kg^{-1})	0,787	0,656	*	-50	6	*	50	6	*
Total- N (g kg^{-1})	0,779	1,411	*	-106	12	*	108	12	*
Inorg-P (g kg^{-1})	0,818	0,453	*	-40	4	*	40	4	*
Org – P (g kg^{-1})	0,539	0,148	*	-9	3	*	9	3	*
Total - P (g kg^{-1})	0,782	0,549	*	-40	5	*	41	5	*
C/N_{Tot}	0,652	2,342	*	-122	21	*	124	20	*
C/N_{Org}	0,244	22,96	*	-325	206	**	345	202	**
K (g kg^{-1})	0,438	695,1	*	-1987	6165	*	20845	6049	*
Mg (g kg^{-1})	0,559	210,2	*	-8605	1864	*	8717	1829	*
Ca (g kg^{-1})	0,780	877,1	*	-67264	7779	*	67395	7634	*
Na (g kg^{-1})	0,397	153,8	*	-3912	1364	*	4097	1338	*
Zn (mg kg^{-1})	0,726	25,187	*	-1637	223	*	1637	219	*
Cu (mg kg^{-1})	0,706	15,046	*	-923	133	*	924	131	*
Pb (mg kg^{-1})	0,321	0,509	*	-10	4	*	11	4	*
Mo (mg kg^{-1})	0,419	0,475	*	-13	4	*	13	4	*
Al (mg kg^{-1})	0,080	127,33	**	-584	1129	**	629	1108	**
Mn (mg kg^{-1})	0,519	17,510	*	-649	155	*	654	152	*
Fe (mg kg^{-1})	0,670	80,277	*	-4455	712	*	4460	699	*

** $p < .01$ (altamente significativo) (ns) $p > .05$ (no significativo)

* $p < .05$ (significativo)

Son varios los autores que consideran necesario disponer de métodos rápidos para deducir el valor fertilizante del purín; las relaciones entre los contenidos en materia seca y los distintos elementos nutrientes nos permitirán controlar de forma rápida las cantidades aplicadas, GIL SOTRES y col. (1985). Sin embargo, la mayor parte de las tablas de correspondencia entre densidad, materia seca y contenido de nutrientes, tienen un origen relativamente reciente y la evolución de las técnicas de cría han podido modificar la relación entre la tasa de materia seca y la composición en N, P y K. DUMORTIER y col. (1996) ha podido constatar que los valores obtenidos por densímetro son ligeramente inferiores para la materia seca y el nitrógeno total y superiores en un 30% para el P_2O_5.

PICCININI y BORTONE (1991) opinan que la metodología seguida al medir la densidad específica del purín con hidrómetro, calcular el porcentaje en sólidos totales utilizando la ecuación correspondiente y obtener las concentraciones de nitrógeno y fósforo de las ecuaciones de regresión entre sólidos totales y nutrientes, está sujeta a errores elevados a causa de la combinación de niveles pobres de precisión y la repetibilidad obtenida. Es más aconsejable utilizar la regresión lineal encontrada entre la densidad específica y los elementos fertilizantes, lo que evita una serie de cálculos y reduce el margen de error, aún cuando los coeficientes de correlación relativos y las precisiones relativas no sean mejores que los encontrados en las correlaciones directas entre el contenido en sólidos totales y la densidad específica, por una parte, y el nitrógeno total y fósforo total, por otra.

Para contenidos de componentes muy solubles como el nitrógeno amoniacal o el potasio, en los que las correlaciones encontradas no son tan buenas, se puede recurrir a medidas rápidas utilizando aparatos como Nitrogenometer, Agros, o Quantofix, TUNNEY (1985), KJELLERUP (1985) BERTRAND y col. (1988), o electrodos selectivos de amonio, TUNNEY (1986), y potasio. Las correlaciones entre estos métodos y el método tradicional de laboratorio (destilación directa) para la determinación del nitrógeno amoniacal, mejoran sensiblemente a las obtenidas utilizando el densímetro. De todos ellos, el método Agros ofrece mejores resultados que Quantofix, PICCININI y BORTONE (1991). Aún así, los valores obtenidos por BERTRAND (1985) para los contenidos de nitrógeno amoniacal y potasio, utilizando respectivamente el método Agros y un electrodo selectivo, son superiores a los reales.

Apoyándose en la correlación obtenida para un gran número de muestras, PICCININI y BORTONE (1991) proponen determinar el nitrógeno amoniacal por el método Agros y deducir posteriormente el contenido de nitrógeno total a partir de la correlación.

CHESCHEIR y WESTERMAN (1984) realizan una comparación entre el contenido en nitrógeno amoniacal obtenido mediante un electrodo selectivo de amonio y el obtenido por un método colorimétrico. Ambos métodos se correlacionan bien (R^2 = 0,95) siempre que se controlen las condiciones experimentales. BERTRAND y ARROYO (1984) obtienen similares resultados. Sin embargo, otros autores como FERRER y col. (2000) desaconsejan la utilización del electrodo al encontrar problemas de manejo, exactitud e interferencias.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, en el presente estudio se plantea la necesidad de buscar posibles variables de fácil medida que, junto con la densidad, permitan una rápida estimación de la composición del purín con mayor precisión. Para ello se utilizará una

herramienta estadística muy útil como es el análisis de factores, que permitirá asociar cada grupo de variables correlacionadas a un factor para, posteriormente, seleccionar la variable representativa de cada grupo y proceder a su medida. Mediante el análisis de regresión múltiple del resto de variables, respecto a las seleccionadas, se podrán deducir si las correlaciones entre cada variable y las seleccionadas para la determinación rápida, mejoran respecto a las obtenidas al considerar una sola variable (materia seca o densidad).

Por último, el análisis Cluster permitirá agrupar las muestras (151 en total) en grupos o clases en función de las variables seleccionadas y comprobar si existen diferencias significativas entre las clases. Este agrupamiento, comparado con el realizado previamente en función del estado fisiológico del animal (maternidad, ciclo cerrado y engorde), permitirá determinar su validez o, en caso contrario, la necesidad de otro tipo de agrupamientos.

4.1.6 ANÁLISIS DE FACTORES

Dado el elevado número de variables estudiadas, el análisis de correlaciones genera un gran volumen de coeficientes difícil de manejar e interpretar, bien sea en términos de relaciones químicas entre variables, bien de factores fisiológicos, climatológicos o de manejo de las explotaciones ganaderas. Por ello se acude a las técnicas del Análisis Multivariante, que permitan obtener relaciones entre las distintas variables y su agrupamiento o clasificación, y entre ellas, al Análisis Factorial y Cluster, que ha sido utilizada por varios autores, CABANEIRO y col. (1985); KOSAKI y JUO (1989a); KOSAKI y JUO (1989b);

Se trata de una técnica estadística empleada para resumir datos e investigar relaciones entre variables. Dado un grupo de datos de n variables, de los que pueden correlacionarse algunas, el análisis de factores las transforma en un nuevo grupo de variables no correlacionadas llamados “factores”.

Cada “factor” es una combinación lineal de las variables originales cuyos coeficientes son iguales a los coeficientes de correlación existentes entre el factor y cada una de las variables originales. Los factores se obtienen por descomposición espectral de la matriz de datos y se ordenan en orden decreciente respecto a los autovalores correspondientes.

Este método es generalmente empleado para seleccionar los primeros factores que responden de la mayor parte de la variación de los datos originales. Ayuda a conocer la muestra de datos, particularmente si algunas de las variables están altamente correlacionadas.

Se han incluido en el estudio la totalidad de las variables analizadas. El eliminar del tratamiento algunas de ellas (en concreto, los contenidos en oligoelementos), para disminuir la varianza total del conjunto de datos, no afecta a la definición de los principales factores.

En la tabla CP23 se reseña el porcentaje de la varianza total explicada por los principales factores (el total de la varianza sería explicada por un número de factores igual al de variables). Se observa que el primero de los factores explica más del 50% del total,

mientras que a partir del cuarto factor, el siguiente a considerar explica menos del 4%. Desde el punto de vista estadístico, es aceptable explicar un 75% de la varianza y, por tanto, se consideran únicamente los tres primeros factores, a los que denominaremos principales, y con los cuales se procedrá a relacionar las variables a estudio.

Tabla CP23: Varianza explicada por los principales factores

FACTOR	% Varianza explicada	% Varianza acumulada
1	53,95	53,95
2	13,90	67,85
3	7,19	75,04
4	3,95	78,99
5	3,69	82,68
6	2,99	85,67
7	2,72	88,39
8	2,26	90,65

Cada variable se relaciona con cada factor mediante un coeficiente (carga) y habitualmente puede ser asociada al factor para el que el coeficiente es mayor. En la tabla CP24 se recoge esta asociación de variables con factores.

Tabla CP24: Relación entre variables y factores principales.

Variable	Factor						Comunalidad
	1		2		3		
	A	B	A	B	A	B	
Densidad (g cm^{-3})	0,871	0,749	-0,033	0,374	-0,240	0,340	0,800
Cenizas (g kg^{-1})	0,985	0,891	-0,003	0,395	-0,036	0,152	0,973
Materia Seca (g kg^{-1})	0,937	0,881	0,115	0,267	-0,139	0,253	0,913
Materia Orgánica (g kg^{-1})	0,902	0,857	0,143	0,226	-0,161	0,272	0,863
Inorg-P (g kg^{-1})	0,946	0,885	0,092	0,292	-0,094	0,209	0,913
Total-P (g kg^{-1})	0,912	0,843	0,041	0,326	-0,016	0,125	0,874
C/N_{Total}	0,656	0,742	0,365	- 0,073	0,006	0,085	0,553
C/N_{Org}	0,461	0,529	0,129	0,072	0,475	-0,411	0,455
Mg (g kg^{-1})	0,894	0,891	0,152	0,219	0,144	-0,031	0,843
Ca (g kg^{-1})	0,948	0,927	0,202	0,192	- 0,123	0,242	0,956
Zn (mg kg^{-1})	0,897	0,921	0,280	0,101	- 0,042	-0,159	0,890
Cu (mg kg^{-1})	0,892	0,898	0,205	0,169	0,039	0,074	0,850
Pb (mg kg^{-1})	0,730	0,747	0,081	0,222	0,416	-0,324	0,697
Mo (mg kg^{-1})	0,784	0,858	0,303	0,038	0,199	-0,093	0,805
Mn (mg kg^{-1})	0,878	0,901	0,227	0,143	0,103	0,010	0,845
Fe (mg kg^{-1})	0,876	0,921	0,310	0,065	0,007	0,108	0,868
Conductividad (S m^{-1})	0,246	-0,067	-0,757	0,794	0,079	-0,078	0,641
$N\text{-}NH_4$ (g kg^{-1})	0,575	0,253	-0,727	0,897	0,152	-0,110	0,882
N Inorgánico (g kg^{-1})	0,721	0,435	-0,586	0,826	0,104	-0,041	0,894
Total-N (g kg^{-1})	0,816	0,532	-0,473	0,757	- 0,183	0,260	0,914
Cloruros (g kg^{--1})	0,373	0,021	-0,824	0,905	0,075	-0,062	0,824
K (g kg^{-1})	0,475	0,121	-0,777	0,902	-0,014	0,040	0,828
Na (g kg^{-1})	0,386	0,154	-0,466	0,580	- 0,094	0,121	0,375
PH (1:2)	-0,221	-0,225	-0,229	0,128	0,538	-0,569	0,408
Org-N (g kg^{-1})	0,534	0,381	-0,051	0,251	- 0,676	0,732	0,744
Al (mg kKg^{-1})	0,498	0,597	0,176	0,045	0,595	-0,525	0,633

A: Valores de los coeficientes de carga previa a la rotación de ejes.
B: Valores de los coeficientes de carga posterior a la rotación de ejes.

Como puede observarse en la tabla, el orden habitual de las variables se ha alterado con el único objetivo de agrupar aquellas que, según se deduce de los coeficientes de carga y de las representaciones gráficas correspondientes, se asocian mejor a cada uno de los tres factores principales.

Los factores obtenidos pueden interpretarse a partir de las variables que llevan asociadas:

Factor 1: Se relaciona con el contenido en materia seca, tanto orgánica como mineral (cenizas, nitrógeno total, fósforo, cationes no monovalentes, metales...). Puede entenderse como un factor de dilución, o proporción entre heces y orina presentes en el purín.

Factor 2: Está asociado al contenido en cationes y aniones monovalentes, es decir, materia inorgánica altamente soluble que a su vez se relaciona con la proporción de orina del purín. El grupo de variables asociadas a este factor incluye el potasio y las formas inorgánicas de nitrógeno, que representa aproximadamente el 80% del nitrógeno total del purín, por lo que este factor va a ser de interés para la estimación del valor fertilizante del purín.

Factor 3: Resulta menos claro de interpretar, viene definido por el contenido en nitrógeno orgánico por su parte negativa , y por el pH y aluminio en su parte positiva, variables que no presentan gran correlación entre sí.

La tabla CP24 recoge también la comunalidad de cada variable (tanto por uno de su dispersión explicada por los factores empleados). Se comprueba que los tres factores explican bastante bien la varianza de la mayor parte de las variables analizadas (superior a 0.79 en todos los casos) y, particularmente, aquellas variables que presentan mayor interés en el vertido controlado del purín, como son las que miden su valor fertilizante en macronutrientes, así como los contenidos en Cu y Zn, de interés porque pueden dar problemas de toxicidad en algunos casos.

Al sustituir cada factor por una variable asociada a él, de forma que la medida de sólo tres variables aporte una información similar, lo lógico sería elegir aquella variable que tuviera máxima carga en el factor pero, aún a costa de sacrificar parte de la información, se ha primado en la elección la rapidez y facilidad de medida “in situ”. Por ello se ha tomado:

Factor 1: Densidad (carga = 0,775)
Factor 2: Conductividad (carga = 0,798)
Factor 3: pH (carga = 0,557)

El gráfico CP6 nos muestra esta asociación existente entre las variables estudiadas y los factores seleccionados. Los ejes de abcisas y ordenadas representan, respectivamente, a los factores 1 y 2, y los puntos de corte con las variables corresponden al grado de asociaciación de éstas con cada uno de los dos factores representados. Puede observarse la presencia de dos grupos de variables bien diferenciados, cada uno de ellos muy próximo a uno de los factores, y con un elevado coeficiente de carga respecto a ese factor.

En el mismo gráfico se ha efectuado una rotación de ejes para optimizar la separación de variables, principalmente nitrógeno amoniacal, inorgánico y total, respecto a los factores. Si en el primer caso los coeficientes de carga de estas variables no indicaban claramente su asociación a un factor concreto, la rotación de ejes permite su asociación al factor 2.

Gráfico CP6: Representación de las variables en función de los factores 1 y 2.

Se ha abordado un estudio de regresión para las variables analizadas en el purín en función de las tres variables asociadas a los factores principales. Se restringe el estudio al modelo de regresión lineal, según la ecuación:

Variable = Cte + A Conductividad + B Densidad + C pH

La tabla CP18 resume los resultados de este análisis,presentando los coeficientes A, B y C de la ecuación para las distintas variables y el valor de R^2. La columna de la derecha refleja, entre paréntesis, los valores de R^2 obtenidos cuando en la regresión únicamente se tiene en cuenta la densidad.

Como queda reflejado en la tabla, la inclusión en la ecuación de regresión de términos correspondientes a la conductividad y el pH, mejora en la mayoría de los casos los valores de R^2, aunque esta mejoría es mucho más acusada para aquellas variables que se asocian más a los factores 2 y 3 , como es el caso del nitrógeno en sus distintas formas, los cloruros, iones sodio y potasio.

Cuando los valores obtenidos para los coeficientes no son significativos, se omiten en la tabla.

Tabla CP25: Resultados del análisis de regresión múltiple

Variable	cte	A (cond)	B (dens)	C (pH)	R^2	(R^2)
Cenizas (g kg^{-1})	- 534	-	530	-	0,723	0,727
Materia seca (g kg^{-1})	- 2442	-	2488	- 6,4	0,798	0,792
Materia orgánica (g kg^{-1})	- 1896	-	1945	- 6,9	0,786	0,773
NH_4-N (g kg^{-1})	- 38	0,8	35	0,4	0,587	0,233
Inorg-N (g kg^{-1})	- 61	0,7	59	-	0,624	0,402
Org – N (g kg^{-1})	- 27	-	30	- 0,4	0,427	0,392
Total- N (g kg^{-1})	- 89	0,7	91	-	0,698	0,573
Inorg-P (g kg^{-1})	- 43	-	43		0,660	0,664
Org – P (g kg^{-1})	- 9	-	9	-	0,351	0,365
Total – P (g kg^{-1})	-47	-	47	-	0,614	0,621
C/N_{Total}	- 176	- 0,8	184	-	0,467	0,417
C/N_{Org}	- 919	-	893	-	0,127	0,140
Cloruros (g kg^{-1})	- 12	0,3	11	0,2	0,447	0,126
K (g kg^{-1})	-15	0,3	15	-	0,431	0,177
Na (g kg^{-1})	- 3	0,07	,2	-	0,160	0,088
Mg (g kg^{-1})	- 15	-	14	-	0,464	0,468
Ca (g kg^{-1})	-82	- 0,2	82	-	0,681	0,667
Zn (mg kg^{-1})	- 2222	- 8	2195	-	0,606	0,574
Cu (mg kg^{-1})	- 1237	- 3	1204	-	0,557	0,543
Pb (mg kg^{-1})	- 17	-	17	-	0,260	0,272
Mo (mg kg^{-1})	- 24	- 0,08	23	-	0,344	0,333
Al (mg kg^{-1})	- 2208	-	2064	-	0,069	0,077
Mn (mg kg^{-1})	- 1007	- 2,8	984	-	0,489	0,476
Fe (mg kg^{-1})	- 7136	- 28	7018	-	0,547	0,511

La utilización de la conductividad eléctrica y el pH para la caracterización del purín han sido puestas de manifiesto también en las experiencias de SCORFORD y col. (1999).

4.1.7 ANÁLISIS CLUSTER

El análisis "Cluster" calcula las distancias entre todos los pares posibles de muestras y concentra una muestra dentro de otra, paso a paso, hasta reunir todas las muestras en un solo grupo.

El análisis "Cluster" jerárquico es útil para obtener la infraestructura de individuos y/o grupos, además de determinar cuántos grupos o clases de muestras son necesarios para proceder a la clasificación de la totalidad de las muestras.

El análisis "Cluster" no jerárquico clasifica las muestras dentro de un número dado de grupos para minimizar la varianza dentro de grupo y maximizarla entre grupos. Por tanto, este método ahorra muchísimo tiempo, al no ser necesario calcular las distancias entre todos los pares de muestras; sin embargo, el número de grupos debe ser asignado previamente antes de procesar los datos, KOSAKI y JUO (1989b). Este tipo de análisis será apropiado para el estudio de las variables analizadas partiendo de la información obtenida del análisis factorial. El método permitirá, además, clasificar cada muestra individual dentro

de un grupo, mostrando finalmente los tipos de muestras existentes en la población estudiada.

Se ha procedido, por tanto, a realizar un análisis de agrupaciones "Cluster" utilizando el método Ward con objeto de intentar agrupar las muestras analizadas en función de las variables densidad, conductividad y pH. El método calcula, para cada grupo, la media de las tres variables y el cuadrado de las distancias euclídeas del valor de la variable en cada muestra a la media calculada anteriormente. Estas distancias se suman en todos los casos. En cada paso los dos grupos que se unen son aquellos que resultan en el menor incremento en la suma total de los cuadrados de las distancias dentro del grupo.

De todas las agrupaciones posibles ha parecido conveniente seleccionar la que lo hace en 6 clases, cuyos resultados se exponen a continuación, así como el valor medio para el total de muestras que, por tanto, resultaría de considerar una sola clase:

Tabla CP26: Valores medios, dentro de cada clase, para las tres variables seleccionadas.

Clase	Nº individuos	Densidad ($g\ cm^{-3}$)	Conductividad ($S\ m^{-1}$)	pH
1	8	1,0284 a	4,641 a	7,90 a
2	10	1,0518 b	1,236 b	6,89 b
3	7	1,0119 c	2,880 c	7,30 c
4	59	1,0086 c	1,264 b	7,36 c
5	40	1,0092 c	1,298 b	8,04 a
6	27	1,0230 d	1,453 b	7,67 d
Total muestras	151	1,0150	1,559	7,59

Se ha realizado un test de Duncan de comparación de medias, significativas a $p < ,05$ para las seis clases obtenidas y las tres variables en estudio, con el siguiente resultado:

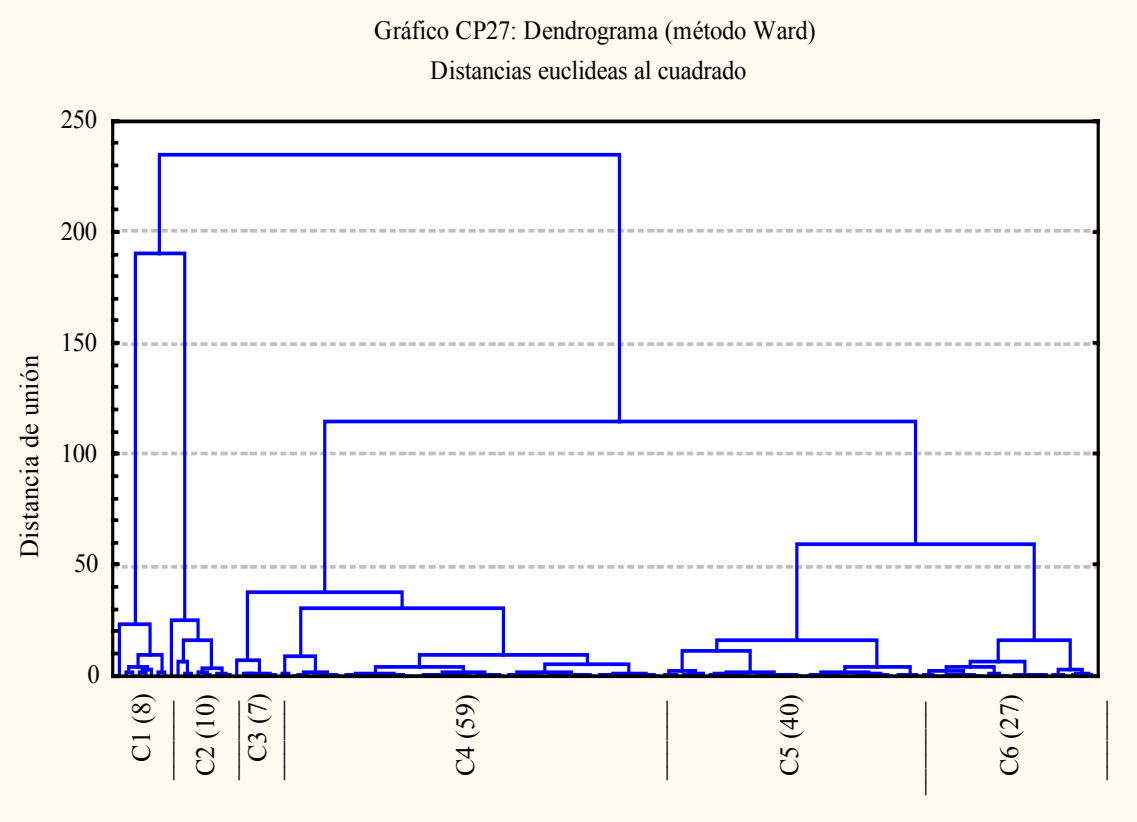
- Densidad: las clases 1, 2 y 6 se diferencian significativamente entre ellas y respecto al conjunto de clases 3, 4 y 5. Estas tres últimas clases no presentan diferencias y corresponden a valores menores de densidad que los de las clases 1, 2 y 6, es decir, se trata de purines más diluídos.

- Conductividad: las clases 2, 4, 5 y 6 se diferencian significativamente de la 1 y 3 pero no entre ellas. Los valores medios obtenidos para la conductividad en las clases 1 y 3, comparados con el resto de clases y el valor medio del total de muestras, son mucho más elevados.

- pH: las clases 1 y 5 se diferencian significativamente de la 3 y 4, pero no entre ellas. Las primeras presentan el valor de pH más elevado (7,90 y 8,04 respectivamente) y las segundas más próximo a la neutralidad (7,30 y 7,36). Entre medias encontramos la clase 6 con un pH de 7,67 y el menor valor de pH corresponde a la clase 2 (6,89); estas dos últimas clases se diferencian significativamente de todas las demás.

El agrupamiento en 6 clases realizada por el método queda también reflejada en la gráfica. En el eje de abcisas se representan el número de muestras totales analizadas (151) y en el de ordenadas, el cuadrado de las distancias euclídeas. Se parte de 151 clases para concluir en dos clases finales.

Gráfico CP7: Dendrograma (Análisis Cluster)



Un estudio más detallado por clases muestra lo siguiente:

Clase 1: agrupa ocho muestras cuya característica más sobresaliente es la elevada conductividad, con valores extremos de 3,310 y 7,518 y valor medio de 4,64. Estos valores se encuentran fuera del rango normal para esta variable, lo que ha pesado en su separación de otras clases más numerosas, fundamentalmente la clase 5, cuyo pH es semejante aunque con densidad menor. Por tanto podría concluirse que esta clase está formada por muestras de conductividad, pH y densidad elevadas.

Clase 2: los valores que más han pesado en la separación de esta clase son la alta densidad 1,508 (rango 1,032-1,094) y el bajo pH 6,89 (rango 5,85-7,48). La conductividad posee un valor semejante al de las clases más numerosas.

A la recepción de las diez muestras que componen esta clase, su aspecto había sido calificado de pastoso, incluso en algunas muestras era evidente que se había incorporado serrín. Puede concluirse que la presencia de este tipo de muestras no va a ser frecuente, y, mucho menos, dentro de su clasificación como purines y por tanto debieran de tener un tratamiento aparte.

Clase 3: agrupa un número de siete muestras con elevada conductividad 2,880 (rango 2,210-4,113), aunque algo menor que la clase 1. El pH es muy cercano a la neutralidad 7,29 (rango 6,80-7,62) y la densidad es intermedia, si se compara con el resto de densidades obtenidas, 1,0119 (rango 1,0080-1,0170). Es evidente que su separación de la clase 4 ha sido motivada por los altos valores de conductividad.

Las clases restantes 4, 5 y 6 son las que agrupan el mayor número de muestras (59, 40 y 27 respectivamente). Un estudio comparativo de estas tres clases nos muestra como características más destacadas:

Clase 4: menor densidad, mayor conductividad y menor pH que las otras dos clases; es un agrupamiento muy similar al realizado con las explotaciones de maternidad.

Clase 5: valores intermedios de densidad y conductividad a los de las clases 4 y 6. Este agrupamiento coincide, en gran medida, con las explotaciones de ciclo cerrado.

Clase 6: posee los valores más elevados para la densidad y la conductividad y un valor intermedio para el pH; por tanto puede establecerse una similitud con las explotaciones de cebo o engorde establecidas al inicio de este estudio.

En resumen, la división establecida permite, por una parte, separar aquellas muestras que por sus características son claramente anómalas (clase 2); otras poseen características similares a la clase numerosa, como es el caso de las clases 1 y 5 y las 3 y 4, aunque con mayor conductividad, debido seguramente a la mayor presencia de sales en la dieta y, en el caso de la clase 1, mayor densidad que la 5, consecuencia de la menor dilución del purín con agua. Por último, las clases numerosas avalan la división en los tres tipos de explotación realizada inicialmente en este estudio. Bien es cierto que la falta de coincidencia total es debida fundamentalmente a la existencia, en algunas de las explotaciones, de varias fosas de recogida de purines, de forma que era muy difícil establecer la procedencia exacta del purín en base a la información aportada por el ganadero.

Los diagramas siguientes muestran, asimismo, los valores medio, mínimo y máximo, para las tres variables utilizadas en la división en 6 clases (densidad, conductividad y pH).

Gráfico CP8: Valores medio, mínimo y máximo de la densidad en las seis clases.

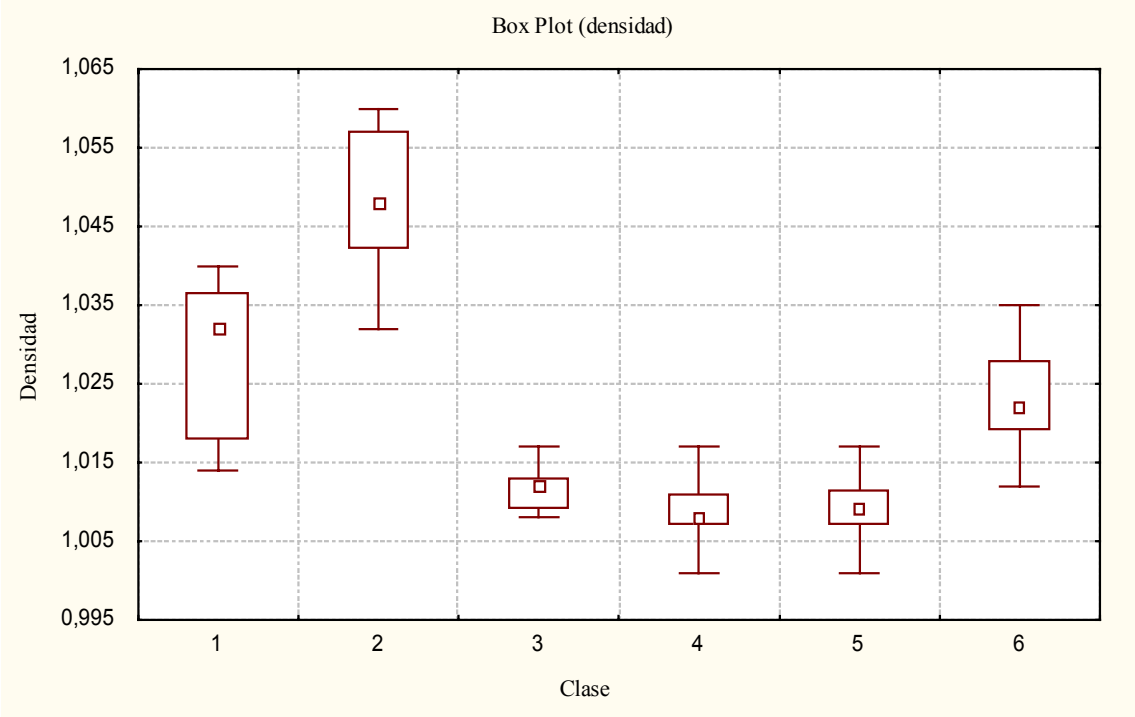


Gráfico CP9: Valores medio, mínimo y máximo de la conductividad en las seis clases.

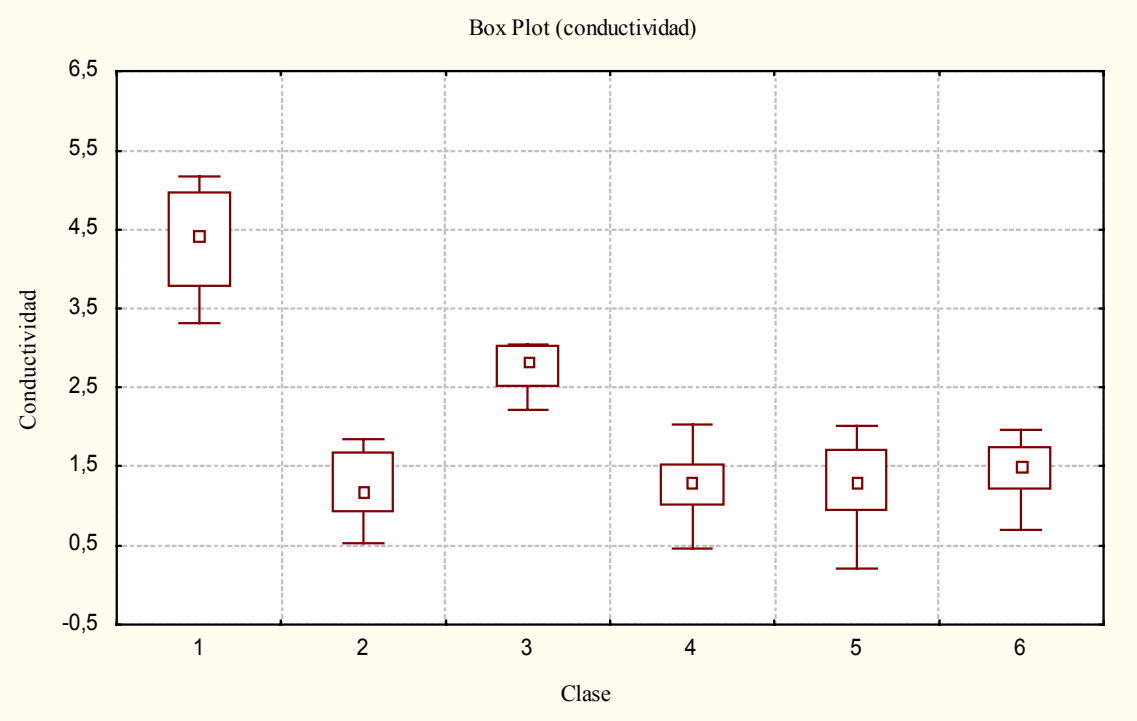
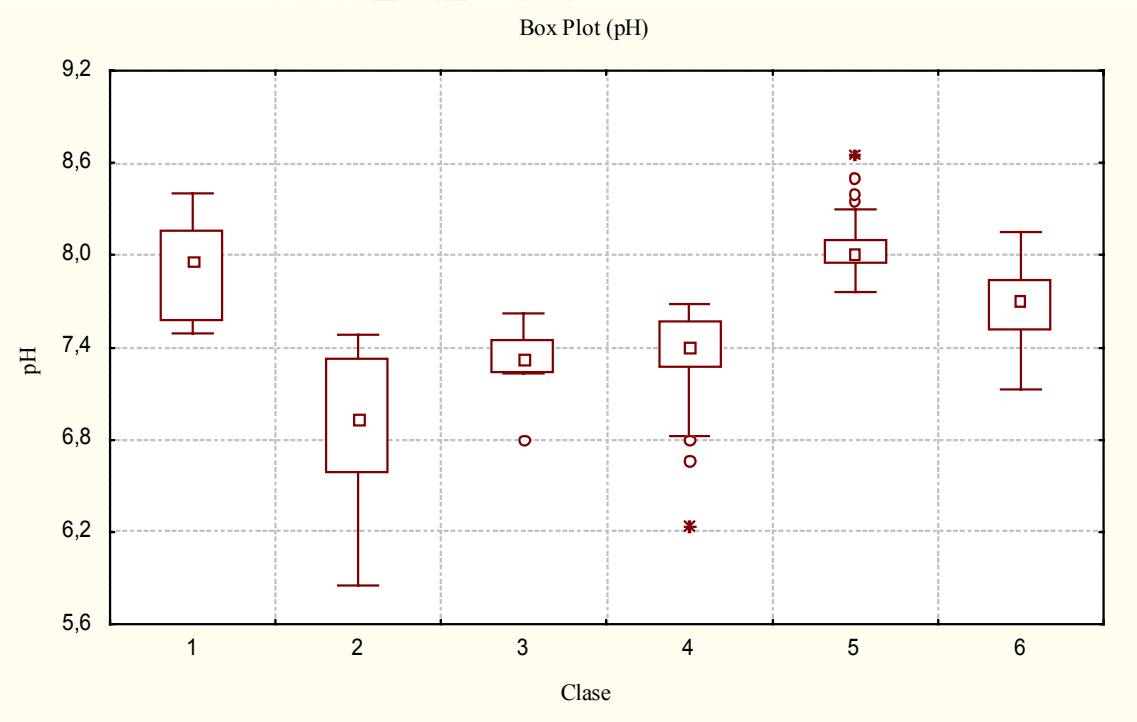


Gráfico CP10: Valores medio, mínimo y máximo del pH en las seis clases.



La tabla CP27 muestra los valores medios y extremos, del resto de variables analizadas, dentro de cada agrupamiento en clases obtenido mediante al análisis "Cluster".

Tabla CP27: Valores medios y extremos de las variables dentro de cada agrupamiento.

Variable		CLASE 1 (n=8)				CLASE 2 (n=10)				CLASE 3 (n=7)			
		Valor medio	Error Estándar	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio	Error Estándar	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio	Error Estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Cenizas (g kg-1)	*	15,41	2,727	4,90	24,40	27,97	3,462	15,05	45,73	7,48	1,001	5,44	13,00
	**	339,3	32,53	173,8	461,0	210,8	23,80	136,1	345,9	345,6	22,24	281,0	419,7
Mat. Seca ($g\ kg^{-1}$)		51,51	11,451	11,67	96,33	133,11	9,742	99,72	199,50	22,33	3,697	13,58	43,65
Mat. Org. ($g\ kg^{-1}$)	*	35,97	9,341	6,77	78,63	104,09	8,195	79,00	160,66	14,63	2,829	8,11	30,85
	**	659,2	31,65	539,0	816,3	782,8	23,21	654,1	863,9	642,6	17,28	593,7	706,7
Cloruros ($g\ kg^{-1}$)	*	2,147	0,5198	1,253	5,476	0,913	0,1419	0,359	1,824	1,045	0,0459	0,819	1,208
	**												
NH_4-N ($g\ kg^{-1}$)	*	4,95	0,865	2,41	10,26	2,20	0,280	0,82	3,36	2,59	0,208	1,92	3,41
	**	131,5	25,95	42,3	229,0	16,8	2,21	6,4	28,2	123,3	9,16	78,1	142,1
Inorg-N ($g\ kg^{-1}$)	*	5,81	0,870	2,84	10,78	3,96	0,530	0,91	6,28	3,22	0,217	2,34	4,17
	**	154,7	28,89	51,1	246,3	30,8	4,61	7,1	50,6	156,7	19,94	95,5	220,2
Org-N ($g\ kg^{-1}$)	*	0,82	0,141	0,33	1,41	2,20	0,559	0,59	6,82	0,87	0,223	0,41	2,13
	**	24,0	8,51	6,6	80,5	15,2	2,60	5,9	34,2	47,9	18,64	19,2	156,8
Total-N ($g\ kg^{-1}$)	*	6,62	0,943	3,78	12,19	6,15	0,875	2,49	11,21	4,10	0,266	3,35	5,12
	**	178,7	34,76	60,7	323,9	45,9	5,42	19,5	70,8	204,7	31,1	114,8	377,0
Inorg-P ($g\ kg^{-1}$)	*	1,056	0,231	0,245	2,233	2,276	0,327	0,747	3,750	0,386	0,070	0,221	0,776
	**	22,30	2,364	9,64	29,82	16,96	2,248	7,47	28,37	17,64	2,040	11,40	27,25
Org–P ($g\ kg^{-1}$)	*	0,287	0,100	0,032	0,905	0,353	0,112	0,194	0,570	0,122	0,049	0,059	0,219
	**	5,85	1,406	0,60	13,21	2,85	0,689	1,94	4,20	4,01	0,577	3,02	5,02
Total-P ($g\ kg^{-1}$)	*	1,344	0,280	0,302	2,595	2,413	0,320	0,941	3,860	0,455	0,097	0,250	0,995
	**	28,15	2,709	13,61	39,05	18,07	2,227	9,41	31,09	20,08	1,955	13,27	27,12
C/N_{Total}		3,17	0,849	1,04	7,80	11,91	2,077	5,38	25,22	2,07	0,310	0,92	3,57
K ($g\ kg^{-1}$)	*	2,109	0,487	0,796	5,218	1,115	0,228	0,369	2,683	1,603	0,157	1,034	2,326
	**	54,10	11,795	15,76	98,95	8,03	1,145	2,88	13,45	78,99	10,621	42,89	114,99
Mg ($g\ kg^{-1}$)	*	0,348	0,097	0,018	0,857	0,641	0,139	0,186	1,704	0,148	0,054	0,043	0,462
	**	6,29	1,109	1,53	12,51	4,81	1,037	1,51	12,89	5,77	1,024	2,31	10,59
Ca ($g\ kg^{-1}$)	*	1,294	0,253	0,383	2,341	4,451	0,628	1,597	7,576	0,832	0,186	0,421	1,855
	**	27,73	2,650	14,15	37,51	33,50	4,573	15,97	59,94	36,54	3,761	18,66	51,06
Na ($g\ kg^{-1}$)	*	0,406	0,082	0,192	0,835	0,327	0,059	0,134	0,670	0,254	0,038	0,102	0,394
	**	10,28	1,998	3,42	20,55	2,36	0,319	1,09	4,24	12,10	1,832	5,43	19,47
Zn ($mg\ kg^{-1}$)	*	26,1	7,06	4,4	54,2	110,8	22,63	34,0	260,7	10,9	5,72	1,99	44,8
	**	474	141,2	50	349	827	166,9	266	1972	378	114,2	144	1027
Cu ($mg\ kg^{-1}$)	*	19,0	5,29	0,9	42,5	56,7	12,31	3,4	125,0	6,0	2,41	0,4	18,8
	**	348	73,8	74	621	426	96,5	33	945	226	59,5	33	440
Pb ($mg\ kg^{-1}$)	*	0,47	0,110	0,00	0,85	0,82	0,118	0,35	1,64	0,16	0,063	0,022	0,52
	**	8,5	1,31	0,0	11,9	6,5	1,06	1,9	14,0	6,1	1,29	1,6	11,9
Mo ($mg\ kg^{-1}$)	*	0,35	0,170	0,00	1,34	1,24	0,311	0,00	3,03	0,17	0,064	0,00	0,40
	**	5,9	1,93	0,0	13,9	9,5	2,48	0,0	24,4	7,7	2,81	0,0	22,0
Al ($mg\ kg^{-1}$)	*	32,3	9,69	2,4	79,0	76,8	13,22	21,1	155,5	13,0	6,81	1,4	53,3
	**	603	153,1	210	1579	584	103,5	211	1176	454	139,5	101	1221
Mn ($mg\ kg^{-1}$)	*	12,9	3,47	1,7	30,6	47,1	8,28	14,2	91,1	4,8	2,02	0,4	16,2
	**	235	33,9	148	446	353	62,3	142	732	184	46,6	22	370
Fe ($mg\ kg^{-1}$)	*	64,4	19,41	8,0	182,3	346,6	73,63	57,6	809,4	25,4	10,25	7,4	85,5
	**	1216	229,3	677	2660	2606	566,9	577	6123	974	193	487	1960

* Variables referiadas a materia húmeda.

** Variables referidas a materia seca.

Tabla CP27 (continuación): Valores medios y extremos de las variables dentro de cada agrupamiento.

Variable		CLASE 4 (n=59)				CLASE 5 (n=40)				CLASE 6 (n=27)			
		Valor medio	Error Estándar	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio	Error Estándar	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio	Error Estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Cenizas (g kg-1)	*	5,39	0,500	1,10	26,22	5,12	0,661	1,19	26,96	14,32	1,095	6,03	26,62
	**	370,8	12,00	141,1	616,4	522,8	72,51	283,6	3280,7	271,2	13,92	148,4	486,1
Mat. Seca ($g\ kg^{-1}$)		16,15	1,881	3,65	101,13	11,91	1,881	1,71	75,54	57,65	5,383	12,94	115,87
Mat. Org. ($g\ kg^{-1}$)	*	10,77	1,411	1,40	74,91	7,05	1,232	1,12	48,58	43,40	4,422	6,83	89,24
	**	635,7	12,97	383,6	947,8	624,9	77,02	298,6	3561,4	730,4	13,83	527,8	850,7
Cloruros ($g\ kg^{-1}$)		0,711	0,0281	0,314	1,431	0,866	0,0571	0,144	1,734	1,021	0,0761	0,444	2,485
NH_4-N ($g\ kg^{-1}$)	*	1,30	0,090	0,10	3,22	1,45	0,113	0,04	2,77	2,47	0,179	1,16	5,62
	**	98,7	6,46	23,5	225,0	165,7	21,30	3,2	847,9	54,9	6,97	15,2	184,7
Inorg-N ($g\ kg^{-1}$)	*	1,88	0,105	0,53	4,79	1,81	0,138	0,41	3,17	3,42	0,199	1,76	6,15
	**	147,4	9,20	44,5	334,2	224,9	31,84	95,3	1005,8	66,2	5,44	27,5	130,3
Org-N ($g\ kg^{-1}$)	*	0,69	0,051	0,08	1,55	0,38	0,059	0,05	1,20	0,65	0,086	0,17	1,86
	**	62,2	6,46	4,8	208,2	75,1	26,14	4,2	701,7	12,0	1,35	2,1	26,8
Total-N ($g\ kg^{-1}$)	*	2,54	0,117	0,61	5,28	2,14	0,130	0,67	4,14	4,01	0,238	2,48	8,01
	**	208,6	13,46	52,2	542,5	267,6	41,04	53,5	1707,6	83,6	7,52	33,9	213,3
Inorg-P ($g\ kg^{-1}$)	*	0,418	0,048	0,047	1,992	0,291	0,057	0,039	2,135	1,094	0,093	0,225	2,087
	**	27,30	2,231	9,92	95,12	25,05	3,515	7,65	148,13	19,85	0,892	10,45	30,83
Org–P ($g\ kg^{-1}$)	*	0,089	0,024	0,014	0,521	0,056	0,020	0,003	0,427	0,194	0,030	0,025	0,479
	**	4,91	0,458	0,76	12,85	3,42	0,432	0,48	7,32	3,39	0,401	0,42	7,81
Total-P ($g\ kg^{-1}$)	*	0,503	0,071	0,057	2,710	0,339	0,098	0,043	2,562	1,305	0,109	0,480	2,458
	**	32,47	4,615	10,68	251,63	27,31	5,157	10,92	148,71	22,71	1,102	14,22	38,65
C/N_{Total}		2,37	0,207	0,41	8,23	1,82	0,199	0,42	6,81	6,21	0,566	1,44	13,83
K ($g\ kg^{-1}$)	*	0,792	0,046	0,088	1,754	0,867	0,066	0,132	1,836	1,170	0,106	0,098	2,733
	**	63,54	4,250	9,28	144,39	108,27	21,220	17,84	897,82	26,41	4,143	1,64	114,88
Mg ($g\ kg^{-1}$)	*	0,128	0,020	0,013	0,836	0,094	0,025	0,004	0,962	0,448	0,042	0,043	1,00
	**	7,36	0,416	2,06	16,27	7,36	0,908	0,67	27,60	8,38	0,624	3,31	14,30
Ca ($g\ kg^{-1}$)	*	0,664	0,074	0,096	3,479	0,456	0,099	0,039	4,044	1,796	0,178	0,268	4,108
	**	41,74	1,482	13,70	72,53	39,06	4,667	7,37	199,03	31,28	1,588	16,29	49,51
Na ($g\ kg^{-1}$)	*	0,227	0,033	0,017	1,482	0,193	0,018	0,033	0,520	0,224	0,028	0,031	0,749
	**	17,63	2,244	2,29	90,00	21,60	2,619	4,63	102,36	4,95	0,856	0,93	21,11
Zn ($mg\ kg^{-1}$)	*	12,9	1,90	0,4	78,5	10,5	2,89	0,3	113,2	42,6	4,12	2,3	93,6
	**	720	63,1	63	2559	676	68,2	131	1520	776	61,6	181	1936
Cu ($mg\ kg^{-1}$)	*	6,1	1,26	0,1	58,3	6,0	1,85	0,1	69,3	23,9	2,97	1,9	64,1
	**	299	32,0	14	1123	364	50,9	8	1089	462	57,1	47	1306
Pb ($mg\ kg^{-1}$)	*	0,12	0,016	0,00	0,63	0,11	0,022	0,01	0,84	0,73	0,129	0,14	3,25
	**	7,0	0,70	0,0	19,8	9,7	1,16	0,7	42,6	13,7	1,72	3,2	41,2
Mo ($mg\ kg^{-1}$)	*	0,14	0,023	0,00	0,66	0,10	0,030	0,00	1,08	0,57	0,111	0,00	2,60
	**	9,2	1,58	0,0	59,7	6,4	1,37	0,0	39,5	11,0	1,99	0,0	34,1
Al ($mg\ kg^{-1}$)	*	12,4	2,42	0,5	104,9	17,9	6,80	0,6	258,9	106,0	33,60	1,3	846,3
	**	639	66,3	68	2267	1191	413,6	97	16814	1969	527,8	97	10232
Mn ($mg\ kg^{-1}$)	*	5,9	1,12	0,4	57,9	4,8	1,38	0,2	52,6	26,5	3,50	2,2	95,3
	**	297	20,4	65	707	289	27,9	45	734	539	132,7	167	3945
Fe ($mg\ kg^{-1}$)	*	35,2	6,87	1,7	316,9	30,3	8,62	1,5	335,2	143,8	18,96	4,6	408,6
	**	1772	144,3	310	6040	1960	188,7	372	4620	2577	339,4	356	9735

* Variables referiadas a materia húmeda.

** Variables referidas a materia seca.

4.2. VALOR FERTILIZANTE DEL PURÍN DE GANADO PORCINO. TRABAJO DE CAMPO

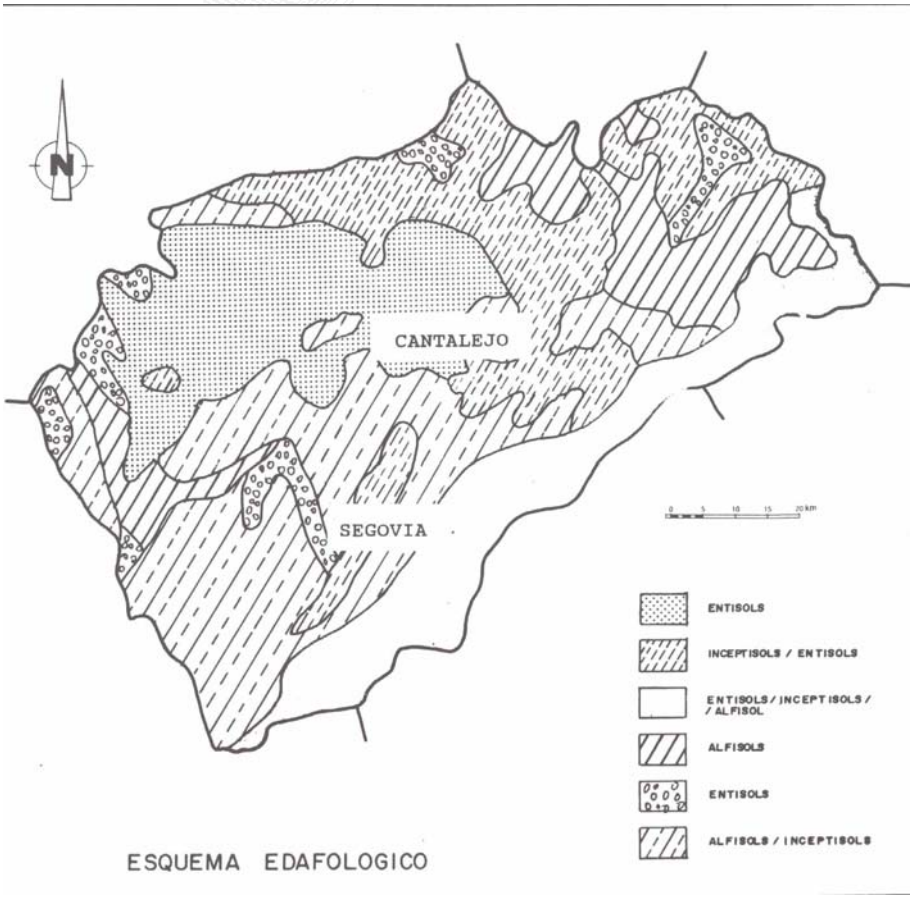
4.2.1. SITUACION Y CARACTERISTICAS DE LA PARCELA EXPERIMENTAL

La experiencia se ha llevado a cabo en una parcela situada en el término municipal de Cantalejo, en la provincia de Segovia.

La provincia de Segovia se encuentra situada en la meseta septentrional, cuyas condiciones climáticas más características son una acusada aridez estival junto con períodos de frío intenso en invierno, debido a la influencia del área de circulación anticiclónica. El tipo de clima podría definirse como de mediterráneo templado, con temperatura anual media entre 1º y 13ºC y precipitaciones medias entre 350 y 850 mm (Cantalejo 535 mm). La evapotranspiración potencial en la estación de Carbonero es de 707,8 mm y los déficits, iguales o superiores a 300 mm, afectan al 50% de los años, JUNTA de CASTILLA y LEÓN (J. C. y L.) 1988.

Los suelos de la zona en estudio (ver plano 1) son *Inceptisols* asociados con *Alfisols*, con una capacidad productiva de media a escasa. Pertenece a la unidad morfoestructural "Campiñas del Duero" y como unidad natural a "La Campiña", caracterizada por llanuras arenosas y arcillosas, modeladas en suaves lomas o extensas planicies entre la red de drenaje, dominadas por los campos de cultivo. Su litología se compone fundamentalmente de arenas arcillosas y bancos de areniscas, J. C. y L., 1988.

Plano 1: Esquema edafológico de la zona, JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN, 1988.



La parcela, con una superficie total de 2 hectáreas (plano 2), se subdivide en 20 parcelas, cada una de ellas de 456 m^2 de superficie (76 x 6 m), dejando un pasillo entre parcela y parcela de 2 m.

Plano 2: Situación de la parcela experimental

Los resultados del análisis del suelo antes de dividir la parcela experimental, reflejados en la tabla VF1, muestran como caraterísticas destacables el bajo contenido en materia orgánica y carbonatos. El fósforo asimilable presenta un nivel muy alto si tenemos en cuenta la textura arenosa del suelo estudiado. Por otra parte, la capacidad de cambio catiónico es muy baja, como corresponde a los bajos contenidos de arcilla y materia orgánica que presenta el suelo. Por último, salvo el potasio, los cationes de cambio presentan niveles bajos; sin embargo no existen desequilibrios entre ellos.

Tabla VF1: Análisis del suelo de la parcela experimental antes de su división (muestra 0)

Variable	Contenido	Variable	Contenido
Arcilla (%)	6,72	N total (%)	0,07
Limo (%)	11,29	P asimilable (ppm)	48,97
Arena (%)	82,00	CCC (meq/100g)	8,50
pH	5,65	Ca (meq/100g)	2,45
CE (dS m^{-1})	0,11	Mg (meq/100g)	0,58
Mat. Org. Oxidable (%)	0,64	K (meq/100g)	0,24
Carbonatos totales (%)	0,39	Na (meq/100g)	0,08
Agua retenida 2 h	31,06	Textura arenosa	
(%) 24 h	29,88		

4.2.2. PROTOCOLO DEL ENSAYO

Los resultados del análisis del purín aplicado al suelo se muestran en la tabla VF2.

Tabla VF2: Composición del purín vertido durante la experiencia.

Variable sobre materia fresca	Año 1992	Año 1993	Año 1994	Año 1996	Año 1997	Año 1998	Año 1999
Densidad	1039	1035	1034	1019	1028	1025	1017
Conductividad	33,44	20,56	13,18	17,42	11,24	19,39	11,00
PH	7,05	7,70	7,67	8,14	7,60	7,84	7,48
Materia Seca (%)	8,88	9,34	7,25	3,45	5,12	5,88	4,05
Cenizas (%)	2,05	2,21	1,60	1,04	1,83	1,98	1,14
C Oxidable (%)	1,61		1,51	1,58		3,88	2,92
N Amoniacal (%)	0,24	0,25	0,29	0,31	0,34	0,40	0,16
N Total (%)	0,51	0,50	0,52	0,43	0,49	0,54	0,24
P Total (ppm)	2770	580	1400	795	1274	1464	1036
K (ppm)	1100	1900	1300	1301	3084	2099	989
Ca (ppm)	3160	4210	2406	1207	1687	1964	1273
Mg (ppm)	890	900	631	569	934	767	538
Na (ppm)	308	272	233	311	456	366	185
Cu (ppm)	27	29	21	5	18	16	9
Zn (ppm)	62	61	46	21	39	34	30
Fe (ppm)	242	270	164	100	165	124	85
Mn (ppm)	31	44			27		

Atendiendo al valor fertilizante del purín y teniendo en cuenta las extracciones del cultivo (girasol, cebada y trigo) y la producción esperada, se aplica la cantidad de purín necesaria para cubrir las necesidades de la planta en nitrógeno.

Se ha construido un dispositivo que realiza la aplicación del purín de forma superficial mediante el empleo de una barra (acoplada a la salida de la cisterna), provista de 20 orificios conectados a unos tubos que depositan el purín en el suelo. La anchura de la barra es análoga a la de la parcela de ensayo (6 metros).

Tabla VF3: Contenido del purín en elementos fertilizantes principales

Elementos	Año 1992	Año 1993	Año 1994	Año 1996	Año 1997	Año 1998	Año 1999
N Total (kg m^{-3})	5,1	5,0	5,2	4,3	4,9	5,4	2,4
P Total (kg m^{-3})	2,77	0,58	1,40	0,79	1,27	1,46	1,04
K Total (kg m^{-3})	1,10	1,90	1,30	1,30	3,08	2,10	0,99

Se realizan cinco tratamientos distintos aportando a todos ellos, salvo al testigo, la dosis de purín necesaria para cubrir las necesidades de nitrógeno del cultivo, así como una cantidad fija de potasio. Se han añadido también dosis crecientes de nitrógeno en forma de nitrato amónico. El nitrógeno contenido en cada dosis de fertilizante mineral es igual a la cuarta parte del que contiene el purín. A las parcelas con tratamiento mineral exclusivamente (T-5), se les aplica una dosis de nitrógeno equivalente al contenido de nitrógeno total del purín, es decir, cuatro dosis de fertilizante mineral. Estas parcelas actuarán de testigo para comparar la eficacia del nitrógeno contenido en el purín con la fertilización mineral.

Todos los ensayos propuestos se llevan a cabo con cuatro repeticiones y una distribución al azar siguiendo el siguiente esquema:

- T-1: Parcelas con purín solamente (ø =100%)
- T-2: Parcelas con purín + 1 dosis de fertilizante mineral (ø =75%)
- T-3: Parcelas con purín + 2 dosis de fertilizante mineral (ø =50%)
- T-4: Parcelas con purín + 3 dosis de fertilizante mineral (ø =25%)
- T-5: Parcelas con fertilizante mineral solamente (4 dosis).

Las fechas de distribución del purín y fertilizante mineral complementario en el suelo, de siembra del cultivo y recogida de la cosecha, así como el tipo de cultivo y su variedad, se reflejan en la tabla VF4.

Como es habitual, la fertilización mineral del cereal se divide en dos partes: en las parcelas que solo reciben fertilizante mineral se añade una parte en fondo poco después de la distribución del purín y otra en cobertera en la fecha señalada. El purín se añade completo en la fecha señalada y se fracciona el fertilizante mineral nitrogenado complementario.

BIBLIOTECA VIRTUAL

Tabla VF4: Calendario de actuaciones

Actuaciones	Año 1992	Año 1993	Año 1994	Año 1996	Año 1997	Año 1998	Año 1999
Distribución purín	3/Marzo 1992	1/Diciembre 1992	14/Mayo 1994	24/Marzo 1996	11/Noviembre 1996	14/Junio 1998	23/Noviembre 1998
Distribución mineral	27/Marzo 1992	21/Marzo 1993	21/Mayo 1994	28/Mayo 1996	24/Abril 1997	26/Mayo 1998	21/Marzo 1999
Cultivo	Girasol	Cebada	Girasol	Girasol	Cebada	Girasol	Trigo
Variedad	Toledo 2	Flika 2	Toledo 2	Toledo 2	Plaisa	Toledo 2	Mario R1
Fecha siembra	24/Mayo 1992	30/Enero 1993	2/Junio 1994	3/Junio 1996	28/Enero 1997	2/Junio 1998	27/Noviembre 1998
Fecha cosecha	9/Noviembre 1992	1/Agosto 1993	29/Octubre 1994	30/Octubre 1996	25/julio 1997	28/Octubre 1998	1/Agosto 1999

Los tratamientos herbicidas realizados son los habituales de la zona, siguiendo el criterio del agricultor.

La toma de muestra de planta para el análisis foliar se efectúa recorriendo la parcela en zig zag, en las fechas y estadio de la planta, reflejados en la tabla VF5. En el cultivo de girasol se recogen hojas pertenecientes a cinco plantas de cada parcela, salvo en el primer estadio en el que se recoge la planta completa. La muestra de cereal siempre está formada por plantas completas.

Tabla VF5: Calendario de toma de muestra de planta en los distintos estadios.

Cultivo	Estadio	Fecha	Descripción	Parte de la planta muestreada
Girasol	1	1/Julio/92	6 hojas adultas y 2 naciendo	Planta completa
	2	15/julio/92	2 cotiledones secos	Hojas 7ª, 8ª y 9ª
	3	3/Agosto/92	Comienzo de la floración	6 hojas anteriores al capítulo
	4	25/Agosto/92	Plena floración	6 hojas anteriores al capítulo
Cebada	1	29/Marzo/93	Comienzo del ahijado	Planta completa
	2	11/Abril/93	Pleno ahijado	Planta completa
	3	22/Abril/93	Encañado	Planta completa
	4	16/Mayo/93	Comienzo del espigado	Planta completa
	5	1/Junio/93	Espigado	Planta completa
	6	16/junio/93	Espiga formada	Planta completa
Girasol	1	12/Julio/94	12-14 hojas adultas	6 últimas hojas
	2	9/Agosto/94	Comienzo de la floración	6 hojas anteriores al capítulo
	3	7/Septiembre/94	Plena floración	6 hojas anteriores al capítulo

Cultivo	Estadio	Fecha	Descripción	Parte de la planta muestreada
Girasol	1	5/Julio/96	6 hojas adultas y 2 naciendo	Planta completa
	2	23/Julio/96	16-18 hojas, comienzo del capítulo	6 últimas hojas
	3	7/Agosto/96	Comienzo de la floración	6 hojas anteriores al capítulo
	4	13/Agosto/96	Plena floración	6 hojas anteriores al capítulo
Cebada	1	21/Marzo/97	Comienzo del ahijado	Planta completa
	2	23/Abril/97	Comienzo del encañado	Planta completa
	3	29/Mayo/97	Comienzo del espigado	Planta completa
	4	13/Juno/97	Plena floración	Planta completa
Girasol	1	9/Julio/98	6-8 hojas adultas	Planta completa
	2	28/julio/98	Comienzo del capítulo	6 últimas hojas
	3	14/Agosto/98	Comienzo de la floración	6 hojas anteriores al capítulo
	4	30/Agosto/98	Plena floración	6 hojas anteriores al capítulo
Trigo	1	21/Marzo/99	Comienzo del ahijado	Planta completa
	2	9/Mayo/99	Comienzo del encañado	Planta completa
	3	19/Mayo/99	Comienzo del espigado	Planta completa
	4	20/Junio/99	Plena floración	Planta completa

La toma de muestra del suelo se realiza en distintos momentos del ciclo del cultivo: aproximadamente cada mes, durante el primer año de inicio de la experiencia, cada dos meses el segundo año y más espaciadas en las tomas siguientes (siempre antes de extender el purín y los días posteriores a la cosecha), tal y como se muestra en la tabla VF6.

Tabla VF6: Calendario de toma de muestra del suelo

Muestra (nº)	Fecha	Momento del cultivo
0	9/ Febrero/1992	Anterior a la división de las parcelas
1	17/Mayo/1992	Posterior a la extensión del purín y anterior a la siembra (Girasol 92)
2	24/Junio/1992	Durante el desarrollo del cultivo
3	27/Julio/1992	Durante el desarrollo del cultivo
4	1/Sseptiembre/1992	Durante el desarrollo del cultivo
5	6/Octubre/1992	Durante el desarrollo del cultivo
6	20/Noviembre/1992	Posterior a la cosecha (Girasol 92) y anterior a la extensión del purín
7	9/Enero/1993	Anterior a la siembra (Cebada 93)
8	12/Marzo/1993	Anterior a la extensión del abonado mineral de cobertera
9	15/Mayo/1993	Durante el desarrollo del cultivo
10	29/Octubre/1993	Posterior a la cosecha (Cebada 93)
11	4/Enero/1994	Sin cultivo
12	21/Marzo/1994	Anterior a la extensión del purín
13	20/Mayo/1994	Anterior a la siembra (Girasol 94)
14	13/Septiembre/1994	Durante el desarrollo del cultivo
15	1/Noviembre/1994	Posterior a la cosecha (Girasol 94)
16	23/Noviembre/1995	Cultivo no estudiado
17	18/Marzo/1996	Anterior a la extensión del purín y a la siembra (Girasol 96)
18	6/Noviembre/1996	Posterior a la cosecha (Girasol 96) y anterior a la extensión del purín
19	21/Marzo/1997	Anterior a la extensión del abonado mineral de cobertera
20	7/Agosto/1997	Posterior a la cosecha (Cebada 97)
21	26/Mayo/1998	Anterior a la extensión de purin y a la siembra (Girasol 98)
22	28/Octubre/1998	Posterior a la cosecha (Girasol 98) y anterior a la extensión del purín
23	26/Septiembre/1999	Posterior a la cosecha (Trigo 99)

4.2.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE EL PERÍODO DEL CULTIVO

4.2.3.1. Elección del observatorio y valores medios

Para la obtención de los datos pluviométricos, así como de nieve y granizo, se ha tomado la estación meteorológica situada en Cantalejo, a 967 m de altitud, y cuyas coordenadas geográficas son:

- Longitud: 3º 55’ 43’’
- Latitud: 41º 15’ 30’’
- Orientación: Oeste

Los parámetros facilitados por esta estación son los siguientes:

- Precipitación mensual: décimas de mm
- Precipitación máxima en 1 día: décimas de mm
- Nº de días de lluvia
- Nº de días de nieve
- Nº de días de granizo

Al ser una estación exclusivamente pluviométrica, ha sido necesario recurrir a la estación termométrica más próxima, situada en San Miguel de Bernuy a 15 Km de distancia, con una altitud de 839 m y unas coordenadas geográficas:

- Longitud: 3º 57’ 12’’
- Latitud: 41º 23’ 55’’
- Orientación: Oeste

De donde se han extraído los datos termométricos siguientes:

- Temperaturas medias del mes: décimas de grado
- Temperaturas medias de máximas: décimas de grado
- Temperaturas medias de mínimas: décimas de grado
- Temperaturas máximas absolutas: décimas de grado
- Temperaturas mínimas absolutas: décimas de grado
- Nº de días de helada

Los valores medios obtenidos de los datos correspondientes a las observaciones termométricas y pluviométricas en los últimos 30 años aparecen reflejados en la tabla VF7.

Tabla VF7: Observaciones climáticas. Valores medios de los últimos 30 años.

Mes	Observaciones termométricas (t^{as} medias)			Observaciones pluviométricas				
	de medias	de máximas	de mínimas	Días de lluvia	Precipitación mensual	Días de nieve	Días de granizo	Días de helada
Enero	35	77	-7,5	8	476	3	0	19
Febrero	54	107	1,4	7	384	2	1	15
Marzo	81	150	13	7	379	2	1	13
Abril	101	169	33	9	482	2	1	7
Mayo	144	217	71	12	577	0	1	2
Junio	190	274	105	8	440	0	0	0
Julio	224	318	130	5	225	0	0	0
Agosto	218	312	124	4	181	0	0	0
Septiembre	179	260	97	8	344	0	0	0
Octubre	122	185	59	10	496	0	0	3
Noviembre	71	120	22	10	539	1	0	12
Diciembre	46	85	7	9	516	2	0	15
Total	123	191	55	115	5115	5	3,5	86

4.2.3.2. Influencia de la climatología sobre el desarrollo de la experiencia

Durante los períodos anuales de seguimiento del cultivo, se han observado como datos más significativos los siguientes:

Año 1992 (tabla VF8): la temperatura media durante los primeros y últimos meses del año no llega a los 10ºC, con temperaturas mínimas por debajo de 0ºC los cinco primeros y tres últimos meses del año. Por el contrario, en verano se alcanzan elevadas temperaturas, con máximas de 36ºC durante los meses de julio y agosto.

La precipitación total anual fue de 507, 5 mm, dentro de los niveles normales de la zona. Tras la extensión del purín en el suelo (3 de marzo de 1992) no hubo precipitaciones importantes, únicamente 7 días en forma de nieve (valor máximo de 6,2 mm el día 30 de marzo). Durante este mes hubo 24 días con heladas y –7,2ºC de mínima el día 9 de marzo, aunque la temperatura media de las mínimas a lo largo del mes fue de –1,5ºC, y la temperatura máxima de 22,6ºC el día 20. Las precipitaciones mensuales fueron regulares, correspondiendo el valor máximo a los meses de octubre y junio, y el mínimo al de febrero.

Por lo que respecta al período de crecimiento del cultivo a partir de la siembra (24 de mayo de 1992), las precipitaciones más abundantes correspondieron al mes de junio (111,5 mm) con 18 días de lluvia, algo más de la quinta parte de lo registrado a lo largo del año, lo que contribuyó al favorable desarrollo de la planta en estos primeros momentos, junto con unas temperaturas no demasiado elevadas y ausencia de heladas y granizo. La precipitación máxima durante este mes fue de 26,2 mm y tuvo lugar el día 22.

La climatología fue favorable al desarrollo del cultivo de girasol durante este año y, durante su pleno desarrollo en los meses de julio, agosto y septiembre, las precipitaciones fueron abundantes para la zona y época del año; no solo la cantidad total sino la forma de distribuirse: 12 días de lluvia en julio, 11 en agosto, 6 en septiembre y 19 en octubre.

Tabla VF8: Resumen de datos climáticos (Año 1992)

Mes	Observaciones termométricas					Observaciones pluviométricas			Otras observaciones		
	Temperaturas medias			Temperaturas extremas		Días de lluvia	Precipitación mensual	Precipitación máxima en 24 horas y (día)	Días de nieve	Días de granizo	Días de helada
	de medias	de máximas	De mínimas	Máxima	Mínima						
Enero	4	67	-58	122	-116	1	181	108 (8)	6	1	31
Febrero	39	126	-49	155	-106	4	63	28 (12)	2	0	25
Marzo	66	147	-15	226	-72	0	137	62 (30)	7	1	24
Abril	96	175	17	256	-36	7	240	55 (6)	0	0	10
Mayo	157	237	76	310	-2	16	387	112 (31)	0	0	1
Junio	142	203	81	302	10	18	1115	262 (22)	0	0	0
Julio	217	305	129	361	65	12	75	57 (15)	0	0	0
Agosto	207	295	120	360	70	11	536	315 (28)	0	1	0
Septiembre	155	242	68	330	20	6	293	152 (26)	0	0	0
Octubre	100	141	58	230	-7	19	1267	182 (30)	2	0	2
Noviembre	78	134	23	180	-40	6	86	64 (15)	0	0	8
Diciembre	47	84	11	138	-66	16	695	299 (4)	0	0	15
Total						116	5075		17	3	116

El 1 de diciembre de 1992 se extendió el purín para el cultivo siguiente, que iba a ser trigo de invierno. Sin embargo las lluvias caídas los días siguientes (69,5 mm en 16 días, con un máximo de 29,9 mm el día 4), impidieron realizar las labores de siembra, optando por un cultivo de cebada de primavera. Las abundantes precipitaciones habrán provocado una importante pérdida de nutrientes procedentes del purín, si consideramos que el suelo donde se asienta el cultivo es de textura arenosa con escaso potencial de retención.

Año 1993(tabla VF9): desde la siembra del cultivo (30 de enero de 1993), las precipitaciones registradas en los meses de marzo (37,5 mm), abril (41,9 mm), mayo (90,6 mm) y junio (51,1 mm), se produjeron de forma bastante regular, siendo favorables al crecimiento del cultivo, a lo que contribuyó también la ausencia de granizo. El mes de julio fue algo más seco (2,6 mm), aunque la distribución de la lluvia a lo largo de cinco días contribuyó a mejorar su efectividad.

La precipitación total registrada durante el período de desarrollo del cultivo fue de 186, 2 mm, suficiente para alcanzar la producción esperada. Por otro lado, la temperatura media durante el período vegetativo fue de 12,8ºC, muy próxima a la óptima de 15ºC y durante el espigado de 17,4ºC, dentro del rango óptimo (17-18ºC).

El mayor problema para el cultivo de cebada se debe a las abundantes heladas registradas durante los meses de marzo (20 días) y abril (9 días), ya que, desde la nascencia hasta el desarrollo de la 3ª y 4ª hoja, es muy sensible a ellas, pudiendo dañar el rizoma y dificultar su posterior desarrollo. Además, el descenso rápido de temperatura, como el producido durante estos meses, es más perjudicial que el descenso lento, aunque la temperatura alcanzada en este último caso sea menor.

Tabla VF9: Resumen de datos climáticos (Año 1993)

Mes	Observaciones termométricas					Observaciones pluviométricas			Otras observaciones		
	Temperaturas medias			Temperaturas extremas		Días de lluvia	Precipitación mensual	Precipitación máxima en 24 horas y (día)	Días de nieve	Días de granizo	Días de helada
	de medias	De máximas	de mínimas	Máxima	Mínima						
Enero	19	82	-44	134	-96	6	45	22 (12)	0	0	25
Febrero	39	103	-26	136	-134	4	102	43 (28)	3	0	19
Marzo	64	136	-8	232	-100	9	375	130 (1)	2	0	20
Abril	84	148	19	235	-50	14	419	102 (23)	1	2	8
Mayo	128	191	66	256	-10	24	906	165 (25)	0	0	1
Junio	174	248	99	326	34	16	511	128 (22)	0	0	0
Julio	196	290	101	370	44	5	26	14 (3)	0	0	0
Agosto	205	296	113	384	15	5	128	106 (24)	0	0	0
Septiembre	139	203	75	294	-16	16	433	127 (21)	0	0	2
Octubre	94	134	55	202	-16	21	1047	367 (9)	0	0	1
Noviembre	52	108	-3	170	-84	12	496	115 (28)	0	0	17
Diciembre	56	91	20	120	-72	10	172	35 (20)	2	0	10
Total						142	4660		8	2	103

Año 1994 (tabla VF10): la aplicación del purín se efectúa el 14 de mayo de 1994, la precipitación máxima se produce el día 15 con 18,1 mm de lluvia, sobre un total de 72,0 mm a lo largo de 19 días. De nuevo puede ocurrir una pérdida de los elementos nutrientes del purín, que incidirá negativamente sobre las parcelas que lo reciben y, en especial, las correspondientes al tratamiento T-1, al ser el purín el único fertilizante aportado.

Durante los meses posteriores a la siembra (2 de junio de 1994), apenas se producen precipitaciones: junio (10,7 mm en 6 días), julio (10,5 mm en 6 días) y sobre todo, agosto (1,4 mm en 4 días). El lento y deficiente crecimiento del cultivo, especialmente entre la 2ª y 3ª toma de muestra, ha ocasionado un muestreo de solo 3 estadios de la planta. La aparición de heladas tempranas durante septiembre y octubre, previas a la cosecha (29 de octubre de 1994), tampoco favorece el desarrollo final del cultivo.

Tabla VF10: Resumen de datos climáticos (Año 1994)

Mes	**Observaciones termométricas**					**Observaciones pluviométricas**			**Otras observaciones**		
	Temperaturas medias			Temperaturas extremas		Días de lluvia	Precipitación mensual	Precipitación máxima en 24 horas y (día)	Días de nieve	Días de granizo	Días de helada
	de medias	de máximas	de mínimas	Máxima	Mínima						
Enero	32	77	-12	128	-100	4	643	273 (8)	8	0	18
Febrero	45	101	-10	174	-76	16	660	93 (22)	4	0	17
Marzo	90	172	7	230	-30	4	120	67 (11)	0	0	16
Abril	81	155	7	276	-50	7	101	48 (24)	3	0	14
Mayo	135	203	66	294	4	19	720	181 (15)	0	0	0
Junio	175	269	82	370	28	6	107	67 (7)	0	0	0
Julio	221	324	118	355	87	6	105	87 (29)	0	0	0
Agosto	207	304	109	344	74	4	14	7 (20)	0	0	0
Septiembre	139	216	62	312	-13	8	213	111 (23)	0	0	2
Octubre	118	185	51	250	-14	15	802	201 (14)	0	0	5
Noviembre	83	145	20	176	-40	11	742	298 (4)	0	0	14
Diciembre	50	92	9	156	-66	11	392	66 (7)	0	1	16
Total						111	4619		15	1	102

Año 1996 (tabla VF11): en los días posteriores a la distribución del purín en el suelo (24 de marzo de1996) caen abundantes lluvias, con registro máximo el 29 de marzo (21,2 mm) y el 1 de abril (20,3 mm). La efectividad del purín durante este año estará fuertemente influenciada por esta situación, al haberse producido lixiviaciones importantes de nutrientes.

Las precipitaciones regulares desde la siembra de girasol (3 de junio de1996), con valores de 20,8 mm en junio, 18,8 mm en julio, 26,0 mm en agosto, 45,4 mm en septiembre y 22,8 mm en octubre, temperaturas medias sin excesivas variaciones y ausencia de granizo y heladas en la etapa final, hacen que el cultivo se desarrolle en condiciones adecuadas.

Tabla VF11: Resumen de datos climáticos (Año 1996)

Mes	Observaciones termométricas					Observaciones pluviométricas			Otras observaciones		
	Temperaturas medias			Temperaturas extremas		Días de lluvia	Precipitación mensual	Precipitación máxima en 24 horas y (día)	Días de nieve	Días de granizo	Días de helada
	de medias	de máximas	de mínimas	Máxima	Mínima						
Enero	58	97	19	140	-24	20	799	194 (6)	1	0	8
Febrero	32	85	-21	140	-94	12	580	113 (¡)	5	0	19
Marzo	73	139	8	240	-78	12	728	212 (29)	1	1	16
Abril	101	173	29	220	-27	11	632	203 (1)	0	0	7
Mayo	126	199	52	316	-12	15	741	141 (17)	0	1	2
Junio	186	279	93	339	28	10	208	98 (17)	0	0	0
Julio	208	302	114	363	24	9	188	82 (26)	0	0	0
Agosto	191	276	106	346	46	7	260	112 (14)	0	0	0
Septiembre	148	230	65	288	18	11	454	211 (19)	0	0	0
Octubre	110	187	34	248	-55	9	228	97 (13)	0	0	8
Noviembre	67	121	13	212	-40	16	770	186 (10)	1	0	18
Diciembre	49	86	11	144	-75	16	1267	241 (12)	4	1	11
Total						148	6855		12	3	89

El purín se extendió el 11 de noviembre de1996, y a continuación se sembró trigo de ciclo largo. Las fuertes lluvias de noviembre (77,0 mm en 18 días) y diciembre (126,7 mm en 11 días), provocaron la pérdida del cultivo y, con toda probabilidad, de gran proporción de nutrientes del purín, por lo que se optó por el cultivo de cebada de primavera.

Año 1997 (tabla VF12): la siembra de cebada se realizó el 28 de enero de1997, tras precipitaciones de 113,6 mm durante este mes. Por contra, febrero fue más escaso en lluvias (13,7 mm) y en marzo estuvieron totalmente ausentes.

Las precipitaciones del mes de abril (98,0 mm en 7 días) y mayo (123,8 mm en 18 días) permitieron recuperar el cultivo, aunque en el primer caso, la concentración de lluvia se produce en unos pocos días, lo cual siempre es desfavorable al poseer el suelo una baja capacidad de retención de agua. Las lluvias registradas durante los meses de junio (38,2 mm) y julio (81,9 mm), aunque inferiores a los meses anteriores, contribuyeron al favorable crecimiento del cultivo.

Las temperaturas medias durante el período vegetativo son de 12,2ºC en abril y 13,6ºC en mayo, muy cercanas al óptimo de 15ºC y, durante el espigado de la planta en el mes de junio de 16,2ºC, estando el valor óptimo entre 17 y 18ºC.

Además, el mes de marzo registró 27 días de helada, valor muy elevado si se compara con los restantes años y que posiblemente dificultó el desarrollo del rizoma.

Tabla VF12: Resumen de datos climáticos (Año 1997)

Mes	Observaciones termométricas					Observaciones pluviométricas			Otras observaciones		
	Temperaturas medias			Temperaturas extremas		Días de lluvia	Precipitación mensual	Precipitación máxima en 24 horas y (día)	Días de nieve	Días de granizo	Días de helada
	De medias	de máximas	de mínimas	Máxima	Mínima						
Enero	40	78	1	138	-133	13	1136	236 (22)	4	1	16
Febrero	73	139	6	220	-60	6	137	81 (22)	0	0	15
Marzo	93	199	-13	228	-38	0	0	0	0	0	27
Abril	122	204	39	256	-26	7	980	323 (17)	0	0	9
Mayo	136	203	69	276	-35	18	1238	223 (30)	0	1	1
Junio	162	229	95	286	40	7	382	161 (4)	0	0	0
Julio	193	276	110	338	58	12	819	213 (1)	0	1	0
Agosto	209	297	122	350	50	12	431	168 (27)	0	0	0
Septiembre	188	278	98	326	34	8	225	87 (25)	0	0	0
Octubre						9	601	194 (6)	0	0	
Noviembre	75	117	33	172	-24	25	1590	312 (6)	0	0	6
Diciembre	48	92	3	134	-64	16	1177	265 (16)	1	0	15
Total						133	8716		5	3	89

Año 1998 (tabla VF13): el retraso en la distribución del purín (14 de junio de 1998) fue debido a las intensas y persistentes lluvias caídas en los meses de abril (90,4 mm en 16 días) y mayo (71,2 mm en 19 días). El resto de labores se adelantaron, así como la siembra del cultivo de girasol (2 de junio de 1998); sin embargo hubo que esperar a que el terreno se secara lo suficiente para poder acceder con el tractor y la cuba de purín sin que se hundieran.

Durante el desarrollo de cultivo de junio a septiembre, se recogieron en total 93,1 mm, no se registró granizo ni heladas y la temperatura media se mantuvo dentro de los márgenes habituales de la zona y la época del año, aunque algo más elevadas que en años anteriores.

Tabla VF13: Resumen de datos climáticos (Año 1998)

Mes	Observaciones termométricas					Observaciones pluviométricas			Otras observaciones		
	Temperaturas medias			Temperaturas extremas		Días de lluvia	Precipitación mensual	Precipitación máxima en 24 horas y (día)	Días de nieve	Días de granizo	Días de helada
	De medias	de máximas	de mínimas	Máxima	Mínima						
Enero	50	98	2	136	-54	13	223	72 (26)	2	0	17
Febrero	66	148	-17	212	-52	6	112	52 (21)	0	0	23
Marzo	88	176	0	226	-54	5	172	83 (29)	1	0	16
Abril	84	136	31	246	-36	16	904	122 (26)	1	6	5
Mayo	130	197	64	254	-22	19	712	127 (31)	0	1	2
Junio	182	270	94	342	12	4	513	281 (4)	0	0	0
Julio	210	308	112	358	64	6	138	62 (1)	0	0	0
Agosto	216	320	113	380	46	8	62	19 (17)	0	0	0
Septiembre	168	244	91	326	40	13	353	87 (22)	0	0	0
Octubre	98	173	24	224	-28	9	218	62 (25)	0	0	10
Noviembre	52	116	-12	184	-104	9	452	222 (3)	3	0	21
Diciembre	24	80	-33	134	-86	5	299	125 (10)	3	0	27
Total						113	4158		10	7	121

El purín, para el siguiente cultivo de trigo, se distribuye el 23 de noviembre de1998 y las condiciones meteorológicas permiten realizar las labores de siembra con normalidad el 27 de noviembre de1998.

Año 1999 (tabla VF14): en general se trata de un año algo más frío, tanto en temperaturas medias como extremas, especialmente el mes de febrero, con temperatura máxima de 15,6ºC y mínima de –10,4ºC, así como una temperatura media de 3ºC.

La pluviometría fue más regular a lo largo de los meses en que se desarrolló el cultivo, destacando el de mayo con 88,8 mm y una precipitación máxima el día 2 de 15,5 mm, lo que contribuyó a que durante este mes la planta se desarrollara rápidamente y los estadios 2 y 3 estuvieran más próximos en el tiempo. Por el contrario, las heladas producidas durante 11 días de abril, seguramente provocaron un retraso en el crecimiento del cultivo.

Tabla VF14: Resumen de datos climáticos (Año 1999)

Mes	Observaciones termométricas					Observaciones pluviométricas			Otras observaciones		
	Temperaturas medias			Temperaturas extremas		Días de lluvia	Precipitación mensual	Precipitación máxima en 24 horas y (día)	Días de nieve	Días de granizo	Días de helada
	De medias	de máximas	de mínimas	Máxima	Mínima						
Enero	26	81	-30	144	-96	7	392	121 (16)	3	0	30
Febrero	30	96	-36	156	-104	4	374	122 (9)	3	0	23
Marzo	68	139	-2	214	-46	4	424	152 (11)	2	3	18
Abril	94	167	20	250	-46	11	440	82 (16)	2	1	11
Mayo	146	220	73	304	16	12	888	155 (2)	0	1	0
Junio	179	274	84	346	30	7	133	73 (1)	0	0	0
Julio	218	322	114	394	64	6	363	242 (27)	0	0	0
Agosto	204	303	106	372	72	4	168	91 (7)	0	0	0
Septiembre	172	244	101	320	36	19	616	105 (18)	0	0	0
Octubre	122	181	63	244	-4	23	1083	335 (23)	0	0	2
Noviembre	45	96	-6	218	-66	6	291	92 (14)	2	0	21
Diciembre	36	67	-15	124	-80	9	536	127 (14)	2	0	21
Total						112	5708		14	5	126

4.2.3.3. DIAGRAMAS OMBROTÉRMICOS

Gráfico VF1: Diagramas ombrotérmicos para el cultivo de girasol (años 1992, 1994, 1996 y 1998)

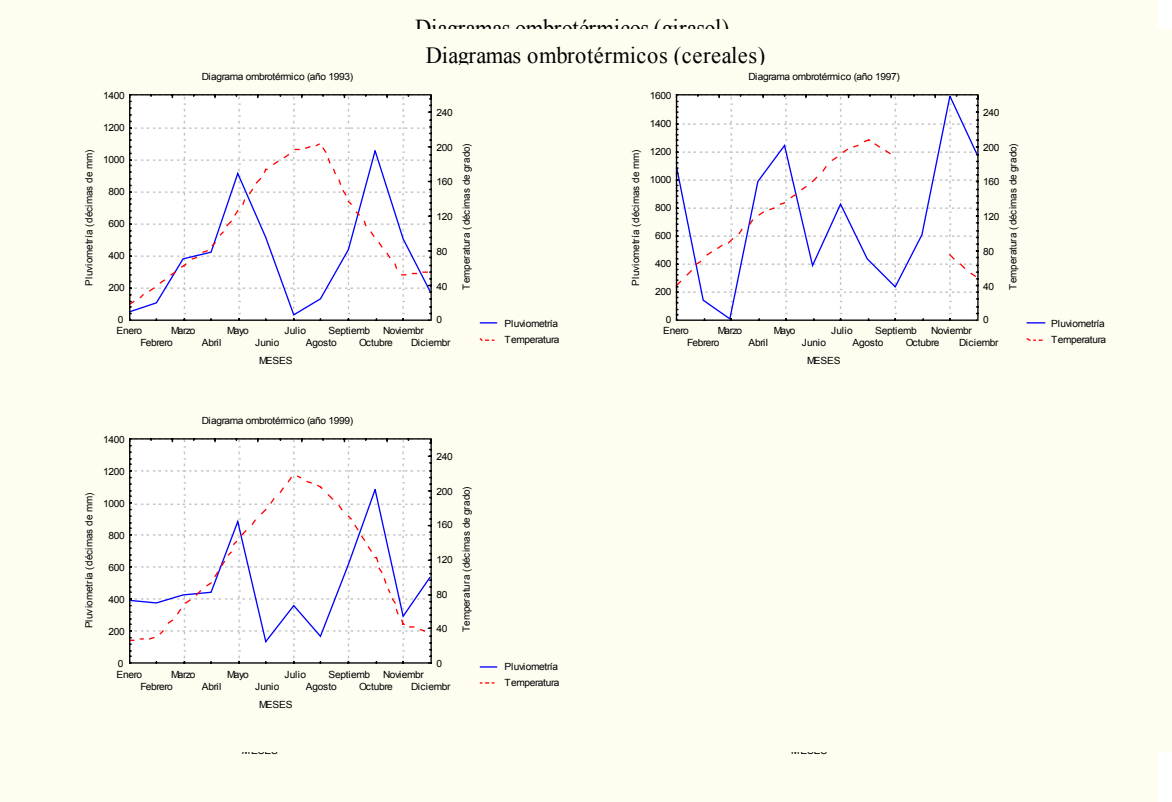
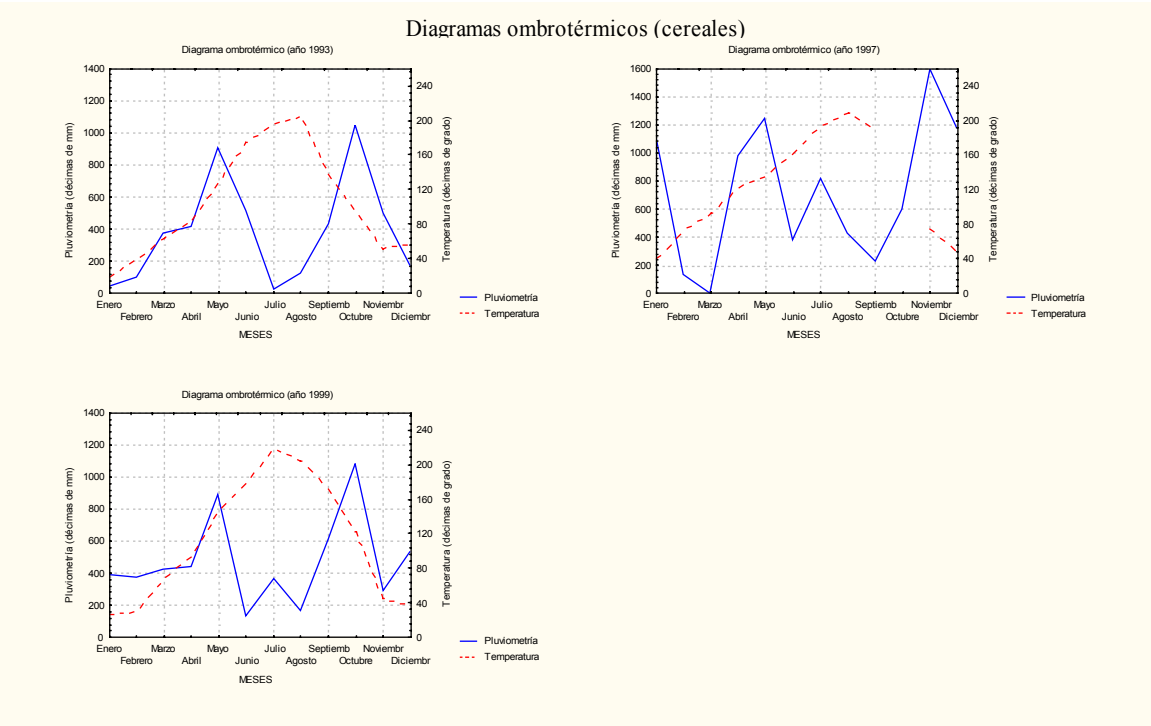


Gráfico VF2: Diagramas ombrotérmicos para los cultivos de cereales (años 1993, 1997 y 1999)



4.2.4. CULTIVO DE GIRASOL

4.2.4.1. INFLUENCIA SOBRE LOS CONTENIDOS DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN PLANTA

Los resultados del análisis de planta se muestran en las tablas AP2.1, AP2.2, AP2.3 Y AP2.4 (Apéndice 2).

4.2.4.1.1. Resultados del tratamiento estadístico

Tabla VF15: Resultados del análisis de varianza para nitrógeno, fósforo y potasio en planta.

	N (%)			P (ppm)			K (ppm)		
	Tratamien	Estadio	Repetición	Tratamien	Estadio	Repetición	Tratamien	Estadio	Repetición
Girasol 92	4,73 a	5,40 a	4,79 a	4084 a	5802 a	4225 a	47227 a	64437 a	45562 a
	4,81 ab	5,73 b	4,78 a	4136 a	3404 b	3915 b	46445 ab	45156 b	47312 b
	5,01 b	4,78 c	4,82 a	4203 a	4285 c	4099 ab	48203 a	35687 c	46625 ab
	4,74 a	3,25 d	4,77 a	4150 a	2675 d	3927 b	46250 ab	41125 d	46906 ab
	4,66 a			3634 b			44882 b		
Girasol 94	3,41 a	4,11 a	3,31 a	2494 ab	3371 a	2693 a	37083 a	40937 a	35467 a
	3,39 a	4,58 b	3,30 a	2577 abc	3071 b	2468 b	37552 a	33625 b	38292 b
	3,24 a	2,30 c	3,38 a	2448 a	1365 c	2707 a	38031 a	36537 c	36292 a
	3,30 a		3,33 a	2710 bc		2542 ab	36198 a		38083 b
	3,32 a			2783 c			36302 a		
Girasol 96	3,57 a	3,88 a	3,33 a	3713 a	3762 a	3757 ac	43225 a	56520 a	42044 ab
	3,47 a	3,33 b	3,27 a	3643 a	4334 b	3334 b	40832 bc	35205 b	43445 a
	3,55 a	3,26 b	3,61 b	3781 a	3469 c	3812 c	42704 ab	37449 c	40207 b
	3,41 a	3,44 b	3,71 b	3710 a	2952 d	3616 a	39684 c	36937 bc	40415 b
	3,41 a			3300 b			41194 abc		
Girasol 98	3,73 a	4,34 a	3,83 a	2761 a	3435 a	2704 a	39468 a	57640 a	40800 a
	3,77 a	4,13 b	3,81 a	2670 ab	2420 b	2409 b	39631 a	31896 b	41353 a
	3,86 a	3,57 c	3,77 a	2601 ab	2398 b	2716 a	40180 a	33888 c	39078 b
	3,83 a	3,14 d	3,77 a	2579 b	2079 c	2506 b	39648 a	35388 d	37582 c
	3,79 a			2308 c			39588 a		

4.2.1.1.2. Discusión de los resultados

<u>Nitrógeno</u>

Como era de esperar, el contenido en nitrógeno en la planta depende del estadio en que ésta se encuentre: su concentración es máxima en los estados más tempranos y disminuye a medida que avanza en su desarrollo (véase gráfico VF3). Sin embargo, cabe destacar que (tabla VF15) las diferencias son menores en los últimos años de experiencias que en los primeros: así, en el año 1996 se observa que no existen diferencias significativas entre las tres últimas muestras, probablemente debido a su proximidad en el tiempo.

En general, no se encuentra diferencia entre tratamientos;

- la única diferencia apreciable se observa el año de inicio de las experiencias. En 1992 el sistema de fertilización que conduce, en conjunto, a una mayor concentración de nitrógeno en la planta es el T-3; no observándose diferencias entre estas parcelas y aquellas en las que se aplicó el tratamiento T-2. Esto es cierto para cualquier estadio y repetición, puesto que el análisis estadístico no muestra ningún tipo de interacción entre el tratamiento y el estadio o repetición.

- Según los años, las mayores concentraciones de nitrógeno corresponden a los tratamientos T-2 y T-3 (año 1992), T-1 y T-2 (año 1994), T-1 y T-3 (año 1996), T-3 y T-4 (año 1998).

Para terminar (tabla VF17), se puede decir que las concentraciones de nitrógeno en el último estadio dependen del año (quizás debido a distintas condiciones climáticas), sin embargo, se considera conveniente señalar que, en este momento, donde todas las repeticiones son iguales, en el año 92 los tratamientos con purín consiguen mayores concentraciones en planta que el tratamiento que solo lleva fertilizante mineral (T-5) aunque sólo hay diferencias significativas entre T-3 y T-5. El resto de años no aparecen diferencias significativas pero siempre alguno de los tratamientos con purín presenta la concentración máxima (véase gráfico VF3).

Los resultados anteriores quedan avalados por la ausencia de diferencias entre las parcelas que han recibido un mismo tratamiento (repeticiones). Sólo hay una excepción, en el año 1996 se observa una diferencia significativa entre las repeticiones 1 y 2 y las repeticiones 3 y 4 (tabla VF15); sin embargo, un estudio más detallado, es decir, por estadios del cultivo, pone de manifiesto que estas diferencias entre repeticiones desaparecen a medida que la planta va creciendo, de forma que están ausentes en los últimos estadios.(Véase tabla VF16).

Tabla VF16: Estudio de interacciones entre estadios y repeticiones del nitrógeno, en los años 1996 y 1998

Año 1996	**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Repetición 1	3,84 ab	2,95 a	2,98 a	3,55 a
2	3,26 a	3,31 b	2,80 a	3,56 a
3	4,17 b	3,35 b	3,49 b	3,40 a
4	4,25 b	3,73 c	3,62 b	3,28 a
Año 1998	**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Repetición 1	4,35 a	4,33 a	3,40 a	3,25 a
2	4,34 a	4,24 ab	3,73 b	2,96 a
3	4,38 a	3,96 c	3,59 ab	3,14 a
4	4,32 a	4,01 bc	3,56 ab	3,21 a

A continuación, fundamentalmente pensando que que parte del nitrógeno que se aporta con el purín se encuentra en forma orgánica, ha parecido que podría ser interesante estudiar las diferencias que podrían tener lugar entre tratamientos en cada uno de los estadios de la planta (tabla VF17).

Tabla VF17: Análisis de varianza para nitrógeno en los estadios de la planta.

Año 1992		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Tratamiento	1	5,26 a	5,79 ab	4,64 a	3,24 ab
	2	5,42 a	5,75 ab	4,77 ab	3,31 ab
	3	5,41 a	5,97 a	5,13 b	3,51 a
	4	5,61 a	5,68 ab	4,48 a	3,20 ab
	5	5,30 a	5,45 b	4,89 ab	3,03 b
Año 1994		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	
Tratamiento	1	4,31 a	3,59 a	2,33 a	
	2	4,10 a	3,71 a	2,35 a	
	3	3,99 a	3,58 a	2,14 a	
	4	3,92 a	3,64 a	2,33 a	
	5	4,24 a	3,38 a	2,33 a	
Año 1996		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Tratamiento	1	4,22 a	3.38 a	3,22 a	3,46 a
	2	3,66 a	3,34 a	3,40 a	3,42 a
	3	4,14 a	3,33 a	3,30 a	3,43 a
	4	3,69 a	3,20 a	3,35 a	3,28 a
	5	3,68 a	3,42 a	2,99 a	3,53 a
Año 1998		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Tratamiento	1	4,30 ab	4,08 a	3,47 a	3,09 a
	2	4,46 b	4,09 a	3,45 a	3,08 a
	3	4,39 b	4,06 a	3,71 a	3,26 a
	4	4,36 ab	4,18 a	3,59 a	3,18 a
	5	4,22 a	4,25 a	3,61 a	3,10 a

Aunque no siempre las diferencias entre tratamientos son significativas, se observa que la fertilización exclusivamente mineral (T-5) conduce a las menores concentraciones de nitrógeno en planta en la muestra de material vegetal tomada.en el estadio 1. Además, se ha encontrado:

Año 1992

- No aparecen diferencias significativas entre tratamientos en el primer estadio,
- En el segundo estadio sólo existen diferencias significativas entre T-5 y T-3 (las máximas concentraciones de nitrógeno en planta, en este momento, son mayores en el tratamiento T-3)
- En la siguiente toma de muestras no se encuentran diferencias que puedan considerarse significativas entre T-4 y T-1, pero si que existen entre éstos y T-3 (la máxima concentración corrresponde al tratamiento T-3).
- En el último estadio estudiado sólo existen diferencias significativas entre T-5 y T-3 (máxima concentración T-3)

Año 1994 y 1996

- En ninguno de las estadios analizados se observa la existencia de diferencias significativas entre sistemas de fertilización.

Año 1998

- En el estadio más temprano no hay diferencias entre los sistemas de fertilización T-2 y T-3, pero si que aparecen entre éstos y T-5, que se caracteriza por tener la concentración de nitrógeno en planta más baja.

- No existe ninguna diferencia significativa entre sistemas de fertilización en el resto de las muestras de material vegetal.

En resumen:

- En el estadio 1 no existe ninguna diferencia entre tratamientos, excepto en 1998. Este año se aplicó el purín después del fertilizante mineral.

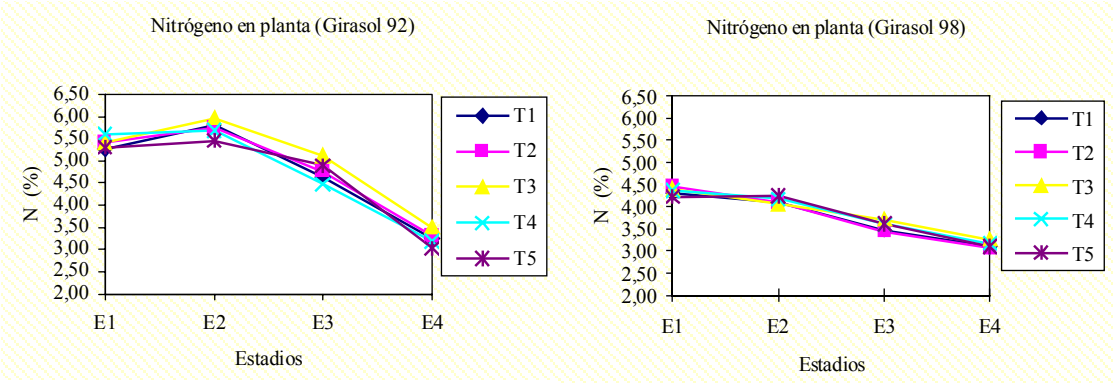
- En ninguno de los estadios vegetativos analizados hay diferencias significativas entre los cinco sistemas de fertilización ensayados, salvo en los tres últimos estadios de 1992 y el primero de 1998, año en que se aplicó el purín después del mineral debido a la abundante lluvia caida que no permitió el acceso a la parcela con la cuba de distribución. Probablemente parte del nitrógeno del fertilizante mineral se lixivió. La máxima eficacia, en este momento corresponde a los tratamientos T-2 y T-3.

- Todos los años, excepto en 1992, los contenidos máximos de N en material vegetal se dan en el primer estadio.

- En 1992, en todos los estadios, salvo en el primero donde no se observan diferencias significativas entre tratamientos, las concentraciones máximas de nitrógeno tienen lugar en el tratamiento T-3. Algo similar sucede en 1998 en el único estadio (primero) donde se presentan diferencias significativas; en este caso las máximas concentraciones tienen lugar en los sistemas de fertilización T-2 y T-3.

El nitrógeno en forma mineral (generalmente, aplicado como nitrato de amonio), puede ser sustituido por el nitrógeno existente en los purines, sin que ello conduzca a disminuciones de los contenidos de este elemento en la planta en los estadios de su desarrollo que más necesidades tiene. Al contrario, el uso de purines completado con nitrato amónico en la proporción marcada por el tratamiento T-3, conduce, casi siempre, a las mismas concentraciones de nitrógeno en planta en cualquier momento de su desarrollo.

Gráfico VF3: Contenidos de nitrógeno en planta según los estadios y tratamientos (girasol 92 y 98).



Fósforo

Igual que en el caso anterior, se han observado diferencias significativas entre estadios en lo que se refiere a los contenidos de fósforo en la planta (véase tabla VF15). Siempre la concentración máxima se encuentra en los estadios tempranos del desarrollo de la planta (véase gráfico VF4). En el estadio 2, excepto en el caso que se aplica sólo purín, sigue la misma pauta que el nitrógeno.

Si se centra la atención en los distintos sistemas de fertilización ensayados, se observa que existen diferencias significativas entre tratamientos y que siempre la menor concentración de fósforo en el material vegetal, excepto en 1994, corresponde a las plantas que sólo han recibido una fertilización mineral (véase gráfico VF4). No existe ninguna diferencia significativa entre las parcelas que han recibido algún tratamiento en los que interviene el purín; las diferencias únicamente aparecen entre las parcelas que han recibido sólo mineral o cualquier combinación de purín y fertilizante mineral.

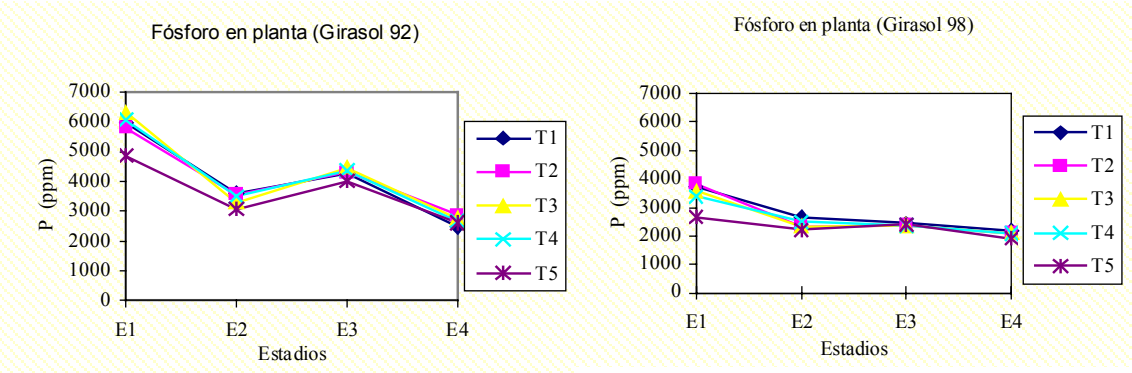
Por tanto, excepto en el año 1994, cualquier combinación entre purín y fertilizante mineral aporta la máximas concentraciones de fósforo en planta. Este hecho se puede atribuir a que la dosis de purines se ha calculado atendiendo a las necesidades de nitrógeno por la planta lo que ha conducido a que no se haya aplicado la misma cantidad de fósforo en todas las parcelas.

No se ha encontrado ningún tipo de interacción entre tratamiento y repetición. En cuando al seguimiento del los tratamientos en los distintos estadios (Tabla VF18), el análisis estadístico indica que, salvo en los primeros estadios, no aparecen diferencias significativas entre tratamientos. Gradualmente van desapareciendo estas diferencias, de forma que están totalmente ausentes en el último estadio.

Tabla VF18: Análisis de varianza para el fósforo en los estadios de la planta

Año 1992		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Tratamiento	1	5981 a	3594 a	4294 a	2469 a
	2	5800 ab	3581 a	4300 a	2862 a
	3	6312 a	3294 a	4456 a	2750 a
	4	6056 a	3494 a	4369 a	2681 a
	5	4862 b	3056 a	4006 a	2612 a
Año 1994		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	
Tratamiento	1	3344 ab	2887 a	1250 a	
	2	3506 a	2956 a	1269 a	
	3	2919 b	3031 a	1394 a	
	4	3500 a	3187 a	1444 a	
	5	3587 a	3294 a	1469 a	
Año 1996		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Tratamiento	1	4418 a	4267 ab	3386 a	2780 a
	2	3466 bc	4646 a	3462 a	2997 a
	3	4158 ab	4281 ab	3489 a	3062 a
	4	3668 abc	4519 ab	3550 a	3103 a
	5	3102 c	3957 b	3325 a	2819 a
Año 1998		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Tratamiento	1	3721 a	2681 a	2449 a	2192 a
	2	3836 a	2354 b	2393 a	2096 a
	3	3580 a	2348 b	2368 a	2107 a
	4	3371 a	2498 ab	2361 a	2086 a
	5	2671 b	2222 b	2421 a	1918 a

Gráfico VF4: Contenidos de fósforo en planta según los estadios y tratamientos (girasol 92 y 98).



Potasio

Los contenidos de potasio en el cultivo son claramente diferentes en cada uno de los estadios de la planta muestreados; en todos los casos existen grandes diferencias entre estadios (tabla VF15); las concentraciones menores corresponden a los momentos en los que el cultivo está más avanzado, es decir, coincidiendo con la cesión de potasio al receptáculo (véase gráfico VF5).

En cuanto a los contenidos medios para cada uno de los sistemas de fertilización ensayados se observa que mientras en los años 1994 y 1998 no existen diferencias significativas entre los distintos tratamientos, esas diferencias aparecen los años 1992 y 1996. En general, el tratamiento T-3 proporciona la mayor concentración de potasio en planta.

Tabla VF19: Análisis de varianza para el potasio en los estadios de la planta

Año 1992		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Tratamiento	1	64062 a	45625 a	36562 a	42656 a
	2	62969 a	46562 a	36406 a	39843 a
	3	69219 b	46250 a	36406 a	40937 a
	4	62500 a	44531 a	36094 a	41875 a
	5	63437 a	42812 a	32969 a	40312 a
Año 1994		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	
Tratamiento	1	41094 a	34531 a	35625 a	
	2	41719 a	35156 a	35781 a	
	3	41250 a	33417 a	39406 a	
	4	40937 a	32500 a	35156 a	
	5	39687 a	32500 a	36719 a	
Año 1996		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Tratamiento	1	57975 a	37550 a	40375 a	37000 a
	2	55800 ab	34625 a	37625 a	36750 a
	3	58975 a	35000 a	38500 a	39437 a
	4	50850 b	34450 a	37187 a	36250 a
	5	59000 a	34400 a	36125 a	35250 a
Año 1998		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Tratamiento	1	58001 a	33598 a	32010 a	34263 a
	2	58120 a	30334 a	35090 a	34981 a
	3	58581 a	32020 a	33655 a	36467 a
	4	56518 a	30845 a	34569 a	36659 a
	5	56982 a	32684 a	34118 a	34570 a

No se aprecian diferencias significativas entre tratamientos en los distintos estadios (tabla VF19), excepto en el primer estadio, en el año 1992, entre el T-3, (máxima concentración de potasio) y el resto de tratamientos, y en el año 1996, el T-4 aporta una concentración de potasio menor.

Se completa este estudio mediante el análisis de posibles interacciones entre tratamientos y repeticiones. Se observa que no existe ningún tipo de interacción entre sistema de fertilización y estadio de la planta, pero se han encontrado interacciones, entre tratamientos y repeticiones, en el año 1994. Para aclarar el significado o transcendencia de esta única interacción, se ha analizado estadísticamente cada repeticion, no encontrándose, en este caso, ningún tipo de diferencia significativa (véase tabla VF20).

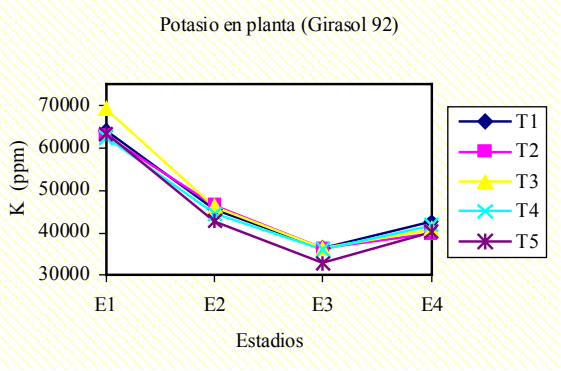
Tabla VF20: Estudio de interacciones entre tratamientos y repeticiones para el potasio.

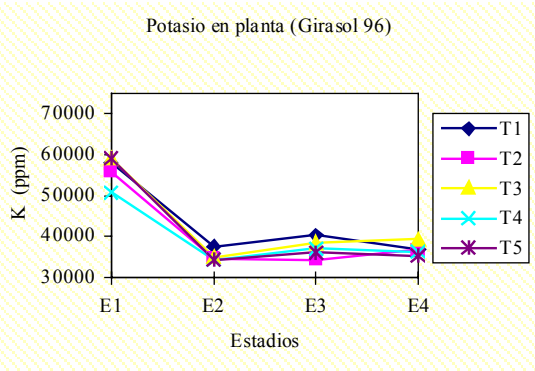
Año 1994		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Tratamiento	1	37083 a	38125 a	35000 a	38125 a
	2	35208 a	40000 a	37292 a	37708 a
	3	37125 a	37917 a	36042 a	41042 a
	4	34167 a	40417 a	34583 a	35625 a
	5	33750 a	35000 a	38542 a	37916 a

En resumen, las concentraciones de potasio en la planta no están influidas por el sistema de fertilización; son, en general, las mismas cuando se emplea sólo fertilizantes minerales que cuando se combinan fertilizantes minerales y purín.

Puesto que, como el objetivo del trabajo es estudiar la eficacia del nitrógeno, todas las parcelas han recibido la misma cantidad de potasio. Las parcelas que reciben tratamiento con purín, precisan un aporte suplementario de fertilizante mineral potásico, ya que el potasio contenido en la dosis de purín empleada no cubre las necesidades de la planta. La ausencia de diferencias entre tratamientos con fertilizante mineral potásico solamente y combinación de purín y mineral, avala los resultados obtenidos por otros autores que indican que la eficacia del potasio contenido en el purín es semejante a la de los fertilizantes minerales.

Gráfico VF5: Contenidos de potasio en planta según los estadios y tratamientos (girasol 92 y 96).





4.2.4.2. INFLUENCIA SOBRE LOS CONTENIDOS EN CALCIO Y MAGNESIO EN PLANTA

Los resultados del análisis de planta se muestran en las tablas AP2.5, AP2.6, AP2.7 Y AP2.8 (Apéndice 2).

4.2.4.2.1. Resultados del tratamiento estadístico

Tabla VF21: Resultados del análisis de la varianza para calcio y magnesio en planta

Cultivo	Ca			Mg		
	Tratamiento	Estadio	Repetición	Tratamiento	Estadio	Repetición
Girasol 92	22977 a 22645 a 22436 a 22556 a 24508 a	21135 a 19964 a 16311 b 34687 c	23367 a 21269 a 24766 a 22695 a	2239 a 2270 ab 2278 ab 2330 b 2336 b	2476 a 2619 b 2792 c 1275 d	2266 a 2304 a 2300 a 2292 a
Girasol 94	32023 a 30709 a 30905 a 31672 a 32262 a	15754 a 27032 b 51756 c	31018 ab 29857 a 33063 c 32119 bc	1475 a 1487 a 1464 a 1460 a 1468 a	1640 a 1665 b 1107 c	1488 a 1525 b 1433 c 1439 c
Girasol 96	19594 a 19055 a 19961 a 19997 a 19978 a	16555 a 16540 a 22122 b 23650 c	19879 a 19352 a 20090 a 19546 a	5101 ab 5035 ab 4837 a 5516 b 5443 b	3165 a 4572 b 6159 c 6850 d	4973 a 4347 b 5726 c 5700 c
Girasol 98	15447 a 17037 a 16426 a 16033 a 15275 a	13675 a 12439 a 15646 b 22416 c	15136 ab 14960 a 16607 bc 17472 c	4701 a 5237 a 4983 a 5256 a 5143 a	4201 a 4660 a 5289 b 6107 c	4687 a 4570 a 5429 b 5570 b

4.2.4.2.2 Discusión de los resultados

<u>Calcio</u>

En lo que se refiere a los estadios en los que se ha tomado muestra de material vegetal, se observa ausencia de diferencias significativas entre las dos primeras muestras (estados tempranos de desarrollo del cultivo); las diferencias aparecen en los últimos estadios. A la inversa de lo observado en el caso de los elementos analizados en el apartado anterior (nitrógeno, fósforo y potasio), las concentraciones máximas de calcio en la planta corresponden a los últimos estadios: son máximas en la última muestra de material vegetal (véase gráfico VF6).

Para comprobar si, en el momento de máxima concentración de calcio en planta, aparece algún tipo de diferencia que pueda calificarse de significativa, se lleva a cabo un estudio estadístico de los datos obtenidos en el análisis de las muestras de planta correspondicntes al último estadio (Véase tabla VF22).

Tabla VF22: Estudio estadístico del calcio en el último estadio estudiado

Año 1992		Ca (ppm)	Año 1994		Ca (ppm)
Tratamiento	1	32187 a	Tratamiento	1	52225 a
	2	33437 a		2	51756 a
	3	32656 a		3	49881 a
	4	33594 a		4	51600 a
	5	41562 a		5	53319 a
Año 1996		**Ca (ppm)**	**Año 1998**		**Ca (ppm)**
Tratamiento	1	23637 a	Tratamiento	1	21472 a
	2	22825 a		2	23842 a
	3	24950 a		3	22076 a
	4	24200 a		4	23100 a
	5	22637 a		5	21589 a

En ninguno de los cuatro años de repetición de la experiencia y en cualquier estadio, utilizando como cultivo girasol, se han detectado diferencias significativas entre los distintos sistemas de fertilización ensayados (tratamientos) (véase tabla VF23).

Tabla VF23: Análisis de varianza para el calcio en los estadios de la planta

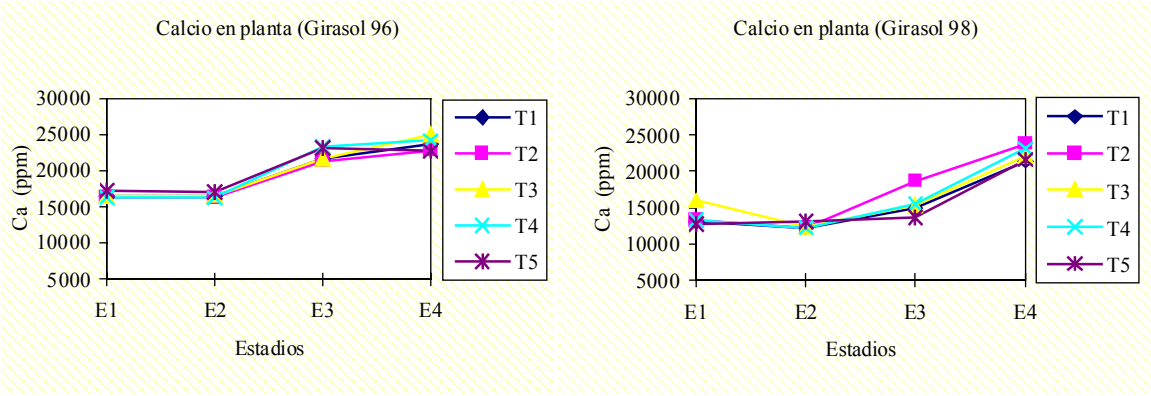
Año 1992		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Tratamiento	1	21012 a	22181 a	16525 a	32187 a
	2	21162 a	19575 ab	16406 a	33437 a
	3	19806 a	20225 ab	17056 a	32656 a
	4	21637 a	19262 ab	15731 a	33593 a
	5	22056 a	18575 b	15837 a	41562 a
Año 1994		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	
Tratamiento	1	15500 a	28345 a	52225 a	
	2	14681 a	25669 a	51756 a	
	3	16206 a	26626 a	49881 a	
	4	16000 a	27416 a	51600 a	
	5	16381 a	27086 a	53319 a	
Año 1996		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Tratamiento	1	16500 a	16600 a	21637 a	23637 a
	2	16275 a	16350 a	21465 a	22825 a
	3	16450 a	16575 a	21741 a	24950 a
	4	16444 a	16109 a	23062 a	23364 a
	5	17106 a	17065 a	23275 a	23473 a
Año 1998		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Tratamiento	1	13070 a	12223 a	15022 ab	21472 a
	2	13329 a	12251 a	18727 a	23842 a
	3	15956 a	12354 a	15320 ab	22076 a
	4	13314 a	12208 a	15511 ab	23100 a
	5	12704 a	13160 a	13650 b	21589 a

En cuanto a la existencia de posibles interacciones que puedan influir en las conclusiones extraídas de los resultados anteriores, sólo durante la cosecha de 1994 se han detectado interacciones entre tratamiento y repetición, aunque como puede verse en la tabla VF24, no se producen diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

Tabla VF24: Estudio de interacciones entre tratamientos y repeticiones para el calcio (año 1994)

Año 1994		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Tratamiento	1	28003 a	32628 a	34536 a	32925 a
	2	30353 a	29670 a	31545 a	31267 a
	3	29095 a	28378 a	33845 a	32300 a
	4	32187 a	27253 a	32545 a	34703 a
	5	35453 a	31353 a	32842 a	29400 a

Gráfico VF6: contenidos de calcio en planta según los estadios y tratamientos (girasol 96 y 98).



Magnesio

En general, los mayores contenidos de magnesio en planta se producen cuando ésta se encuentra en los últimos estadios de su desarrollo (véase gráfico VF7).

En cuanto a la influencia de los tratamientos, en los años 1994 y 1998 no se aprecian diferencias significativas de la concentración de magnesio en las plantas que han sido fertilizados de forma diferente. Alguna diferencia se ha encontrado en los cultivos correspondientes a los años 1992 y 1996; las diferencias aunque significativas, son pequeñas lo que explica que no coincidan las de un año con las del otro.

Los tratamientos que han conducido a las mayores concentraciones de magnesio en planta son el T-4 y T-5; una excepción lo constituye el cultivo del año 1994, en el que, además, las diferencias entre estadios no siguen la misma tendencia que en el resto.

Tabla VF25: Análisis de varianza para el magnesio en los estadios de la planta

Año 1992		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Tratamiento	1	2475 a	2500 a	2756 a	1225 a
	2	2487 a	2606 ab	2744 a	1244 a
	3	2487 a	2600 ab	2756 a	1269 a
	4	2462 a	2662 ab	2825 ab	1369 a
	5	2469 a	2725 b	2881 b	1269 a
Año 1994		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	
Tratamiento	1	1644 a	1682 a	1097 a	
	2	1669 a	1670 a	1122 a	
	3	1631 a	1639 a	1122 a	
	4	1631 a	1659 a	1091 a	
	5	1625 a	1675 a	1103 a	
Año 1996		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Tratamiento	1	3531 a	4697 a	5750 a	6437 a
	2	3242 a	4062 a	5865 a	6750 a
	3	2656 a	4422 a	5597 a	6437 a
	4	3264 a	4437 a	6675 a	7000 a
	5	3133 a	5250 a	6450 a	7625 a
Año 1998		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Tratamiento	1	3859 a	4545 ab	4801 a	5600 a
	2	4286 ab	4112 a	5548 a	7003 a
	3	4922 b	4558 ab	4792 a	5662 a
	4	4032 a	4664 ab	5970 a	6356 a
	5	3906 a	5422 b	5331 a	5912 a

Si se consideran independientemente cada uno de los estadios (tabla VF25), sólo se observan diferencias significativas en algunos estadios intermedios.

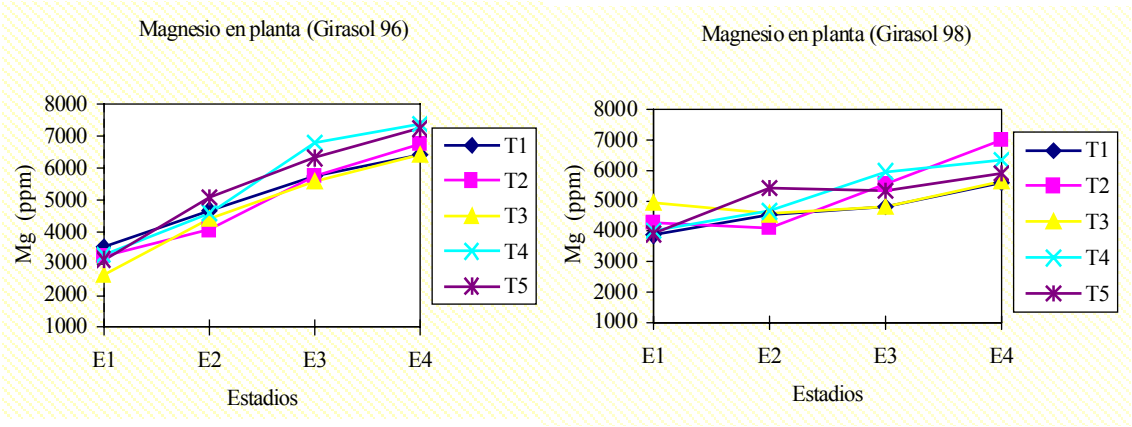
Un primer análisis señalaba interacciones entre tratamientos y repeticiones en los años 1994 y 1996. Sin embargo, un estudio estadístico más profundo (tabla VF26) muestra la falta de significación de esas diferencias. Ello, como ya se ha señalado en casos anteriores, da una mayor validez a los resultados descritos.

Tabla VF26: Estudio de interacciones entre tratamientos y repeticiones para el magnesio (años 1994 y 1996)

Año 1994		**Repetición 1**	**Repetición 2**	**Repetición 3**	**Repetición 4**
Tratamiento	1	1558 a	1523 a	1392 a	1415 a
	2	1483 a	1525 a	1475 a	1465 a
	3	1508 a	1525 a	1408 a	1415 a
	4	1467 a	1542 a	1442 a	1392 a
	5	1417 a	1500 a	1448 a	1507 a
Año 1996		**Repetición 1**	**Repetición 2**	**Repetición 3**	**Repetición 4**
Tratamiento	1	4584 a	3672 a	6039 a	6109 a
	2	4312 a	4476 a	5390 a	5104 a
	3	4687 a	3844 a	5711 a	4633 a
	4	4750 a	4508 a	6109 a	6695 a
	5	5562 a	5234 a	5383 a	5593 a

Los resultados obtenidos llevan a pensar que la concentración de magnesio en planta está influída por una gran variedad de parámetros ajenos a la inclusión de los purines de ganado porcino en el plan de fertilización.

Gráfico VF7: Contenido de magnesio en planta según los estadios y tratamientos (girasol 96 y 98)



4.2.4.3. EFECTO SOBRE LOS MICRONUTRIENTES EXTRAÍDOS POR LA PLANTA

Se ha considerado oportuno estudiar el comportamiento del cobre, cinc, hierro, manganeso y sodio en planta cuando se utilizan los purines como fertilizantes. El estudio de las concentraciones de cobre y cinc queda justificado por el contenido en estos metales que caracteriza a los purines de ganado porcino.El hierro, el manganeso y el sodio se han analizado en un intento de comprobar si aparecía algún tipo de antagonismo o sinergia. Los resultados del análisis de planta se muestran en las tablas AP2.9, AP2.10, AP2.11 y AP2.12 (Apéndice 2).

4.2.4.3.1. Resultados del tratamiento estadístico

Tabla VF27: Resultados del análisis de la varianza para micronutrientes en planta

Cultivo	Cu			Zn			Fe		
	Tratamien	Estadio	Repetición	Tratamien	Estadio	Repetición	Tratamien	Estadio	Repetición
Girasol 92	17,0 a	17,1 ab	16,2 a	55,2 ab	77,0 a	59,8 a	153 ab	206 a	136 a
	17,8 a	15,9 a	17,4 ab	49,3 c	47,3 b	50,3 b	146 ab	88 b	149 ab
	18,1 a	21,1 c	18,4 bc	57,8 a	46,4 b	55,8 a	158 a	136 c	145 ab
	18,4 a	17,6 b	19,7 c	56,7 b	44,4 b	49,2 b	156 ab	169 d	159 b
	18,4 a			49,9 bc			137 b		
Girasol 94	16,9 a	18,1 a	17,1 a	42,3 ab	46,5 a	45,0 a	150 a	166 a	160 a
	18,0 ab	19,7 a	17,5 a	40,8 a	46,6 a	40,0 b	141 a	115 b	152 ab
	17,8 ab	20,3 a	21,8 b	38,5 a	32,4 b	42,4 ab	145 a	145 c	121 c
	21,2 bc		20,9 ab	42,2 ab		39,9 b	141 a		134 bc
	23,0 c			45,4 b			134 a		
Girasol 96	19,5 ab	13,9 a	17,7 a	48,2 ab	43,9 a	53,4 a	135 a	81 a	145 ab
	18,0 a	20,1 b	21,0 b	44,6 a	41,2 a	45,2 b	140 a	107 a	146 ab
	21,1 b	24,3 c	21,0 b	51,2 b	56,7 b	46,9 b	165 a	217 b	112 a
	21,7 b	23,1 c	21,7 b	45,6 ab	49,5 c	45,8 b	127 a	151 c	153 b
	21,5 b			49,6 ab			128 a		
Girasol 98	19,4 a	11,9 a	16,3 a	44,6 a	74,1 a	49,1 a	90 a	152 a	97 a
	17,5 b	17,7 b	16,0 a	39,0 b	31,3 b	37,2 b	86 a	64 b	88 b
	17,4 b	20,5 c	19,2 b	42,9 ab	28,6 b	39,5 b	94 a	54 c	88 b
	17,3 b	22,1 d	20,7 c	39,7 ab	29,9 b	38,1 b	90 a	90 d	87 b
	18,6 ab			38,7 b			91 a		

Tabla VF27. Continuación: Resultados del análisis de la varianza para micronutrientes en planta

Cultivo	Mn			Na		
	Tratamien	Estadio	Repetición	Tratamien	Estadio	Repetición
Girasol 92	679 a	817 a	745 a	276 a	502 a	285 ab
	512 b	600 b	582 b	287 a	198 b	364 a
	729 a	338 c	598 b	291 a	243 b	245 b
	519 b	579 b	409 c	328 a	199 b	248 b
	479 b			247 a		
Girasol 94	264 a	245 a	278 a	219 a	232 a	293 a
	192 b	189 b	261 a	291 a	192 a	298 a
	195 b	238 a	198 b	232 a	311 b	240 a
	208 b		160 c	272 a		149 b
	262 a			211 a		
Girasol 96	316 a	366 a	422 a	244 ab	202 a	192 a
	239 a	265 b	369 ab	141 c	110 b	293 b
	326 a	343 ab	297 bc	275 ab	424 c	256 ab
	314 a	352 a	239 c	192 bc	205 a	200 a
	463 b			326 a		

Girasol 98		
Na		
Tratamien	Estadio	Repetición
179 a	321 a	185 a
164 a	128 b	158 a
160 a	104 b	171 a
180 a	121 b	160 a
158 a		

4.2.4.3.2. Discusión de los resultados

Cobre

En general, los contenidos de cobre en planta aumentan a lo largo de su desarrollo, aunque no siempre las diferencias son significativas (véase gráfico VF8).

Las diferencias anteriores quedan mediatizadas por interacciones entre repetición y estadio, observadas los años 1992 y 1996. (tabla VF28).

Tabla VF28: Estudio de interacciones estadio- repetición en el cobre (Años 1992 y 1996))

Año 1992		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Repetición	1	16,6 a	14,7 a	19,7 a	13,6 a
	2	18,2 a	15,9 b	19,1 a	15,6 ab
	3	17,6 a	16,0 ab	20,6 a	19,9 bc
	4	16,0 a	16,8 b	25,0 b	21,3 c
Año 1996		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Repetición	1	14,1 ab	17,7 a	20,8 a	19,5 a
	2	17,7 a	19,3 ab	24,5 ab	22,5 ab
	3	14,1 ab	21,9 c	25,0 ab	23,0 ab
	4	9,8 b	21,6 bc	29,4 b	27,5 b

La comparación entre las concentraciones de este elemento en las plantas, que crecieron en parcelas fertilizadas de forma diferente (tratamientos), permite afirmar que, salvo en 1998, la máxima concentración de cobre en planta corresponde a las parcelas que han recibido sólo fertilizante mineral. Excepto en 1992, se observan diferencias significativas entre tipos de fertilización todos los años.

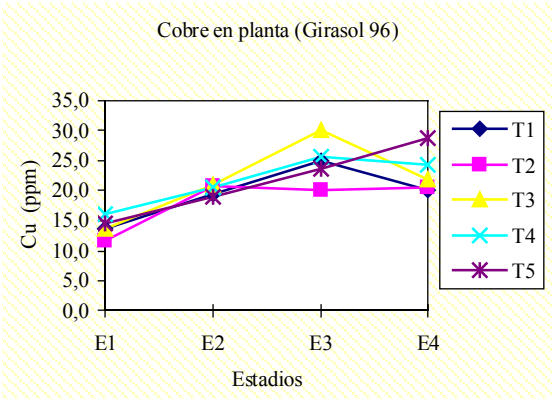
Resultados similares se obtienen al estudiar las interacciones entre tratamientos y estadios (tabla VF29) observadas esos mismos años.

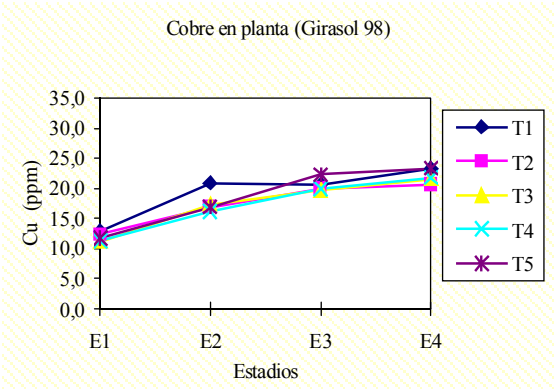
Tabla VF29: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el cobre (Años 1992 y 1996)

Año 1992		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Tratamiento	1	16,1 a	16,1 a	19,8 a	15,9 a
	2	16,1 a	16,7 a	19,7 a	18,6 a
	3	19,6 b	16,0 a	20,3 a	16,5 a
	4	18,3 ab	16,1 a	23,6 a	15,6 a
	5	15,3 a	14,3 a	22,2 a	21,6 a
Año 1996		**Estadio 1**	**Estadio 2**	**Estadio 3**	**Estadio 4**
Tratamiento	1	13,7 a	19,4 a	25,0 ab	20,0 a
	2	11,6 a	20,7 a	20,0 a	20,6 a
	3	13,5 a	21,0 a	30,0 b	21,9 a
	4	16,1 a	20,5 a	25,6 ab	24,4 ab
	5	14,6 a	19,0 a	23,7 ab	28,7 b

Puesto que los cuatro primeros tratamientos (T-1, T-2, T-3 y T-4) tienen la misma dosis de purín (teóricamente el material que podría conducir a un aumento de la cantidad de cobre en el suelo o en la planta), es difícil explicar algunas de las diferencias significativas que aparecen en la tabla anterior. Sin embargo, la tónica dominante es la ausencia de diferencias entre estos tipos de fertilización y el T-5 en el que sólo se han utilizado fertilizantes minerales.

Gráfico VF8: Contenido de cobre en planta según los estadios y tratamientos (girasol 96 y 98).





Cinc

La concentración de cinc en material vegetal, en general, disminuye a medida que crece la planta (véase gráfico VF9); una excepción lo constituyen las plantas que crecieron el año 1996. Lo curioso del caso es que ese año son significativas las diferencias entre estadios y no existe ninguna interacción estadio-tratamiento o estadio-lugar. Es en la cosecha de 1992 donde han aparecido interacciones estadio-repetición, recogidas en la tabla VF30, en la que no aparecen diferencias significativas entre las distintas repeticiones en los estadios 1 y 3, aunque se observa alguna diferencia en los estadios 2 y 4. En ambos estadios, la máxima concentración de cinc corresponde a lo que se ha denominado 'repetición 1', diferente, de forma significativa, al resto de las repeticiones. Además, en el estadio 4 las mínimas concentraciones de cinc aparecen en las repeticiones 2 y 3, y estos contenidos se diferencian significativamente de los registrados en las repeticiones 1 y 4.

Tabla VF30: Estudio de interacciones estadio- repetición en el cinc (Año 1992)

Año 1992		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Repetición	1	83,1 a	55,6 a	47,7 a	52,7 a
	2	73,7 a	42,2 b	44,2 a	41,2 bc
	3	82,5 a	48,2 ab	46,5 a	46,0 b
	4	68,7 a	43,2 b	47,0 a	37,7 c

Más importante en relación con los objetivos que se persiguen con este trabajo, es el estudio del efecto que puede ejercer la inclusión de los purines en un plan de fertilización

El efecto que el tipo de fertilización (tratamiento) ejerce sobre esas concentraciones no es clara y está influida por diferencias significativas entre repeticiones e interacciones tratamiento-repetición. Aunque se hará un análisis más detallado, es interesante señalar que prácticamente siempre son las mismas repeticiones las que han proporcionado las máximas concentraciones de cinc en la planta.

En las tablas VF31 y VF32 se recogen los resultados obtenidos al estudiar, con más detalle, estas diferencias e interacciones, cuando se han presentado.

Tabla VF31: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el cinc (Años 1994 y 1996)

Año 1994		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Tratamiento	1	49,2 a	40,7 a	45,1 a	34,1 a
	2	44,0 a	38,1 a	41,2 a	40,1 a
	3	36,2 a	37,1 a	44,7 a	36,2 a
	4	44,1 a	38,7 a	42,3 a	43,6 a
	5	51,7 a	45,5 a	38,6 a	45,8 a
Año 1996		**Repetición 1**	**Repetición 2**	**Repetición 3**	**Repetición 4**
Tratamiento	1	52,8 ab	46,7 a	51,1 a	42,2 a
	2	45,8 a	41,2 a	42,8 a	44,2 a
	3	54,0 ab	40,3 a	53,1 a	54,1 a
	4	47,2 a	45,3 a	47,2 a	42,8 a
	5	63,9 b	52,5 a	40,3 a	41,9 a

Tabla VF32: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el cinc (Año 1998)

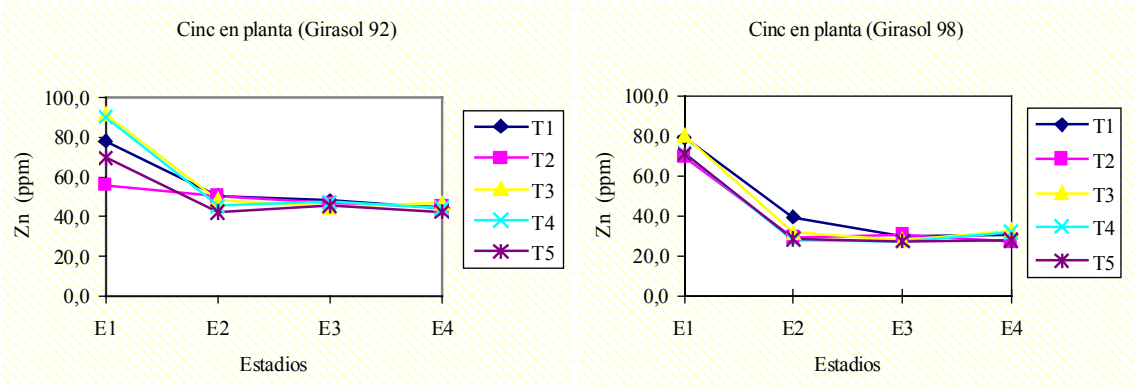
Año 1998		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Tratamiento	1	78,8 a	39,3 a	30,1 a	30,2 a
	2	69,4 a	29,1 a	30,5 a	27,1 a
	3	80,0 a	31,6 a	27,7 a	32,4 a
	4	71,3 a	28,0 a	27,6 a	31,9 a
	5	70,9 a	28,5 a	27,3 a	27,9 a

En la tabla VF31 se dan los resultados obtenidos al estudiar las interacciones tratamiento-repetición aparecidas en los años 1994 y 1996. Se observa que, en ninguno de los dos años, aparecen diferencias significativas entre los distintos tratamientos, en lo que se refiere a concentraciones de cinc en el material vegetal. (Carece de interés, por su carácter de excepción, la diferencia encontrada en la repetición 1 que señala una máxima concentración de cinc en plata en el cultivo correspondiente a T-5. De cualquier manera este tratamiento corresponde al sistema de fertilización exclusivamente mineral).

La tabla VF32 se refiere a las interacciones tratamiento-estadio, en un principio observadas en la cosecha de 1998. El análisis de estas interacciones señalan ausencia de diferencias entre tratamientos para cualquier estadio.

Estos resultados, añadidos a los encontrados en los años anteriores, permiten afirmar que el empleo de los purines en la fertilización del girasol no introduce ninguna modificación en los contenidos de cinc en la planta.

Gráfico VF9: Contenido de cinc en planta según estadios y tratamientos (girasol 92 y 98).



Hierro

Se han detectado diferencias significativas entre los niveles de hierro en el material vegetal en diferentes estadios del cultivo: en general, al principio, una disminución de las concentraciones de hierro en la planta y después un aumento, que, sin embargo, no lleva estas concentraciones a las medidas en la primera muestra de material vegetal (véase gráfico VF10).

En el año 1996 aparecen algunas diferencias entre repeticiones en algunos estadios (tabla VF33), que se consideran no importantes por su falta de repetibilidad y ausencia en algún estadio (concretamente en el estadio 3).

Tabla VF33: Estudio de interacciones estadio-repetición en el hierro (Año 1996)

Año 1996		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Repetición	1	111 a	103 a	148 a	166 a
	2	77 ab	191 b	173 a	142 ab
	3	72 ab	71 a	172 a	132 b
	4	61 b	62 a	332 a	163 a

En cuanto a la posible influencia que el tipo de fertilización pueder ejerce sobre los contenidos de hierro en el material vegetal, es de destacar la ausencia total de diferencias significativas entre tratamientos; las diferenciacias observadas en 1992 se atribuyen no al sistema de fertilización, sinó a que se trata del año de inicio de las experiencias.

La ausencia de diferencias significativas entre tratamientos queda reforzada por los resultados (tablas VF34 y VF35) obtenidos en un análisis más detallado de las interacciones tratamiento-estadio y tratamiento-repetición, en un principio observadas en 1998.

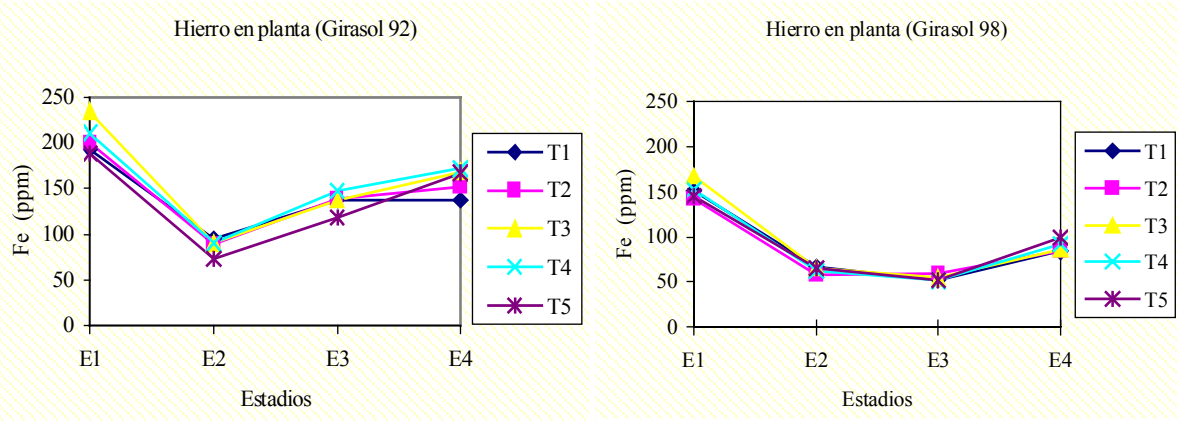
Tabla VF34: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el hierro (Año 1998)

Año 1998		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Tratamiento	1	151 a	67 a	52 a	84 a
	2	142 a	58 a	60 a	85 a
	3	168 a	66 a	55 a	86 a
	4	152 a	63 a	52 a	92 a
	5	146 a	65 a	52 a	99 a

Tabla VF35: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el hierro (Año 1998)

Año 1998		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Tratamiento	1	107 a	76 a	90 a	85 a
	2	91 a	79 a	84 a	92 a
	3	97 a	108 a	90 a	80 a
	4	95 a	85 a	94 a	85 a
	5	97 a	91 a	85 a	90 a

Gráfico VF10: Contenidos de hierro en planta según estadios y tratamientos (girasol 92 y 98).



Manganeso

La evolución que experimentan las concentraciones de manganeso en el material vegetal a lo largo del cultivo sigue las tendencias señaladas para otros micronutrientes: descenso inicial y aumento final, con diferencias significativas entre estadios en la mayor parte de los casos (véase gráfico VF11).

Como en tantas otras ocasiones, a lo largo de este estudio, un análisis más detallado de las interacciones, pone de manifiesto la ausencia de diferencias significativas (tabla VF36).

Tabla VF36: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el manganeso (Año 1994)

Año 1994		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3
Tratamiento	1	340 a	228 a	224 a
	2	194 a	182 a	198 a
	3	192 a	142 a	251 a
	4	239 a	166 a	219 a
	5	258 a	228 a	300 a

La diferencia entre tratamientos no es totalmente clara.

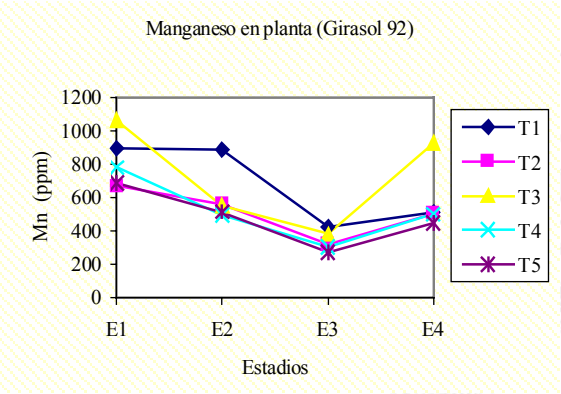
- En 1992, la menor concentración de manganeso en la planta tiene lugar en las parcelas a las que se ha aplicado el sistema de fertilización T-5; en 1996 a ese tipo de fertilización corresponde la máxima concentración de manganeso, existiendo un diferencia significativa con el resto de los sistemas de fertilización; mientras que
- en 1994, las máximas concentraciones de manganeso se dan en los tratamientos T-1 y T-5, entre los cuales no existen diferencias significativas.
- Además, en 1992 y 1994, se han encontrado interacciones entre tratamiento y repetición (tabla VF37) y en 1994, interacciones entre tratamiento y estadio (estas últimas ya han sido mencionadas al describir la evolución de los contenidos de manganeso en planta en distintos momentos de su desarrollo).

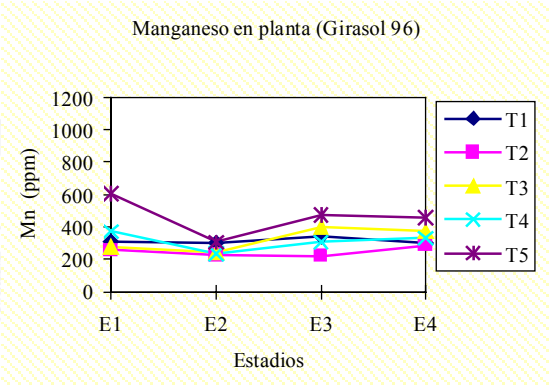
La falta de uniformidad en los resultados obtenidos induce a pensar que, el aprovechamiento del valor fertilizante de los purines de ganado porcino no ejerce influencia sobre los contenidos de manganeso en planta.

Tabla VF37: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el manganeso (Años 1992 y 1994)

Año 1992		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Tratamiento	1	753 a	866 a	839 a	258 a
	2	676 a	398 b	507 ab	467 a
	3	797 a	746 a	911 a	464 a
	4	910 a	302 b	339 b	524 a
	5	590 a	599 ab	332 b	396 a
Año 1994		**Repetición 1**	**Repetición 2**	**Repetición 3**	**Repetición 4**
Tratamiento	1	353 ab	295 ab	310 a	98 a
	2	216 c	199 a	171 bc	179 bc
	3	176 c	168 a	258 ab	178 bc
	4	245 bc	226 a	135 c	226 c
	5	397 a	416 b	115 c	119 ab

Gráfico VF11: Contenidos de manganeso en planta según estadios y tratamientos (girasol 92 y 96).



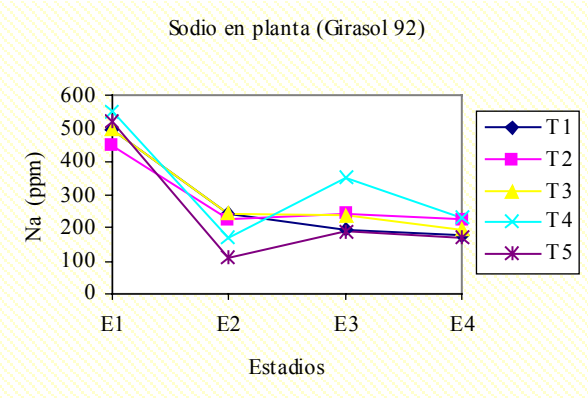


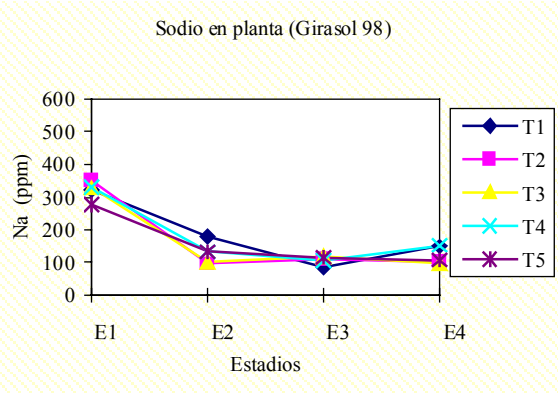
Sodio

En este caso y en relación con las concentraciones en el material vegetal en distintos estadios del cultivo, siguen observándose tendencias similares a las descritas anteriormente (véase gráfico VF12).

Se puede afirmar que el empleo de uno u otro sistema de fertilización no ha influido, a lo largo de los siete años de experiencias, en las cantidades de los micronutrientes extraídos por el cultivo. Las diferencias entre las repeticiones de un mismo sistema de fertilización, parecen indicar una heterogeneidad en el suelo no apreciable en el caso de los macronutrientes.

Gráfico VF12: Contenidos de sodio en planta según estadios y tratamientos (girasol 92 y 98).





4.2.4.4. EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO

Los resultados de la composición del grano y producción aparecen reflejados en las tablas AP2.13, AP2.14, AP2.15 Y AP2.16 (Apéndice 2).

4.2.4.4.1. Resultados del tratamiento estadístico

Tabla VF38: Análisis de la varianza de la composición y la producción de grano de girasol.

Cultivo	N		P		K		Ca		Mg	
	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic
Girasol 92	3,52 a	3,46 a	955 a	1009 a	8174 a	8733 a	1904 a	2123 a	2640 a	2901 a
	3,63 a	3,39 a	1028 a	889 a	7948 a	7540 a	1738 a	1693 b	2676 a	2633 a
	3,53 a	3,55 a	1086 a	1043 a	8175 a	8161 a	1820 a	1921 ab	2804 a	2668 a
	3,39 a	3,66 a	979 a	1024 a	7965 a	7625 a	1879 a	1615 b	2707 a	2585 a
	3,51 a		909 a		7812 a		1847 a		2656 a	
Girasol 94			3902 a	4067 ab	6355 a	6364 ab	1783 a	1820 a	2359 a	2464
			4318 a	3679 a	6702 a	5985 a	1883 a	1711 a	2511 a	2299 a
			4043 a	4226 b	6491 a	6745 b	1880 a	1868 a	2389 a	2432 a
			3913 a	4235 b	6243 a	6899 b	1749 a	1867 a	2346 a	2466 a
			4195 a		6700 a		1787 a		2470 a	
Girasol 96	2,93 a	2,69 a	4554 a	4232 a	8134 a	7708 a	1654 a	1745 a	2573 a	2532 a
	2,86 a	2,86 ab	4742 a	4257 a	7861 a	7686 a	1784 a	1658 a	2626 a	2461 a
	2,94 a	3,04 b	4920 a	5328 b	8448 a	8550 b	1906 a	1890 a	2784 a	2900 b
	2,97 a	2,99 ab	4766 a	5088 b	8134 a	8516 b	1871 a	1814 a	2665 a	2725 ab
	2,78 a		4650 a		8000 a		1669 a		2625 a	
Girasol 98	2,98 a	3,07 ab	3307 a	3128 a	5873 a	6310 a	1486 a	1751 a	2462 a	2299 a
	3,15 a	2,90 a	3376 a	2783 b	6559 b	5572 b	1875 b	1399 b	2437 a	2169 a
	3,20 a	3,25 b	3160 a	3714 c	5745 a	6539 a	1378 a	1560 ab	2133 a	2426 a
	3,16 a	3,21 b	3380 a	3586 c	6269 ab	6078 ab	1617 ab	1567 ab	2269 a	2359 a
	3,03 a		3291 a		6178 ab		1490 a		2264 a	

Tabla VF38. Continuación: Análisis de la varianza de la composición y la producción de grano de girasol

Cultivo	Cu		Zn		Fe		Mn		Na	
	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic
Girasol 92	17,8 a	17,9 a	91,9 a	66,6 a	147,3 a	123,1 ab	49,3 a	60,9 a	56,5 a	85,1 a
	18,5 a	19,2 a	58,0 a	81,0 a	95,8 a	126,4 ab	39,6 a	37,0 bc	53,9 a	34,7 a
	17,8 a	16,3 a	88,7 a	89,3 a	132,6 a	151,9 a	41,2 a	51,8 ab	17,1 a	62,9 a
	18,1 a	20,0 a	70,9 a	59,4 a	119,3 a	83,9 b	52,0 a	28,8 c	76,5 a	41,0 a
	19,6 a		61,1 a		111,7 a		41,2 a		75,6 a	
Girasol 94	13,8 a	15,6 a	73,4 a	68,4 a	60,8 ab	75,1 a	27,6 a	27,8 a	83,1 a	124,1 a
	15,7 a	15,3 a	67,6 a	61,4 a	66,9 a	53,7 b	26,4 a	26,9 a	88,7 a	134,6 a
	14,8 a	13,8 a	56,4 a	61,6 a	51,7 ab	46,3 b	26,7 a	25,8 a	100,2 a	43,6 b
	15,1 a	15,2 a	55,1 a	55,8 a	57,2 ab	51,2 b	24,7 a	24,6 a	92,1 a	36,8 b
	15,4 a		56,5 a		46,2 b		26,0 a		59,9 a	
Girasol 96	14,8 a	15,3 a	66,3 a	71,3 a	74,2 a	79,8 a	22,7 a	27,1 a	54,8 a	44,5 a
	14,6 a	14,1 a	64,1 a	62,4 a	80,4 a	69,1 a	21,6 a	26,4 ab	65,8 a	57,4 a
	16,4 a	15,8 a	69,7 a	68,2 a	78,3 a	78,2 a	24,5 a	22,0 ab	59,4 a	56,6 a
	15,1 a	15,5 a	66,3 a	63,4 a	72,6 a	76,7 a	22,7 a	19,2 b	42,2 a	62,9 a
	15,0 a		65,2 a		74,2 a		26,9 a		54,5 a	
Girasol 98	11,3 ab	11,5 ab	42,7 a	42,0 a	34,2 a	57,3 a			94,6 a	124,8 a
	12,2 bc	10,7 a	34,0 a	38,6 a	52,1 a	32,1 b			125,8 a	123,0 a
	10,8 a	11,9 b	40,3 a	40,7 a	46,2 a	37,1 b			95,0 a	69,8 b
	11,8 abc	12,9 c	43,3 a	41,3 a	35,0 a	37,1 b			107,2 a	92,9 ab
	12,5 c		43,0 a		36,9 a				90,5 a	

Tabla VF38. Continuación: Análisis de la varianza de la composición y la producción de grano de girasol

Cultivo	Grasa		Producción	
	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic
Girasol 92	47,25 a 45,19 a 45,59 a 46,59 a 46,49 a	- 47,38 a 45,78 a 45,49 a	48,5 ab 51,6 a 49,9 a 50,8 a 43,0 b	50,6 a 49,2 a 49,1 a 46,1 a
Girasol 94	46,92 a 47,10 a 46,42 a 46,20 a 46,13 a	47,18 a 47,26 a 45,25 b 46,54 a	34,0 a 34,9 a 32,8 a 31,9 a 30,9 a	32,7 ab 27,3 a 39,0 b 32,6 ab
Girasol 96	27,13 a 30,59 a 28,61 a 28,97 a 28,92 a	27,66 a 26,93 a 29,34 a 31,45 a	51,8 a 51,5 a 50,0 a 47,2 a 49,9 a	53,3 ab 47,9 bc 58,0 a 41,1 c
Girasol 98	48,90 a 47,62 b 48,37 ab 48,25 ab 49,07 a	48,84 ab 49,18 a 48,08 bc 47,68 c	35,6 a 41,2 a 39,7 a 37,7 a 34,0 a	38,1 ab 33,7 a 41,3 b 37,6 ab

4.2.4.4.2. Discusión de los resultados

A) Contenidos en macro y microelementos

Un tratamiento estadístico de los elementos analizados en la semilla del cultivo (tabla VF38) pone de manifiesto la práctica ausencia de diferencias entre tratamientos en lo que se refiere a los contenidos en nitrógeno, fósforo y potasio. Sólo en la cosecha de 1998, se pueden observar algunas diferencias significativas entre concentraciones de potasio en el grano; su excepcionalidad y ausencia de una aceptable explicación hacen que estas diferencias carezcan de verdadera importancia.

Tampoco se observa ninguna influencia significativa del sistema de fertilización sobre los contenidos de calcio y magnesio en la semilla; en otras palabras, se obtiene una ausencia casi total de diferencias significativas entre tratamientos.

Los datos obtenidos en relación con las concentraciones de cobre, cinc, hierro, manganeso y sodio en grano permiten llegar a la conclusión de que las diferencias, en ocasiones observadas, no pueden atribuirse al sistema de fertilización (obsérvese que son más numerosas y, con frecuencia, más acusadas las diferencias entre repeticiones que entre tratamientos).

B) Contenidos en grasa y producción de semilla.

Junto con el análisis elemental del grano de girasol, se ha llevado a cabo una determinación de su riqueza en grasa. El estudio estadístico de los datos obtenidos, resumidos en la tabla VF38, señala la total ausencia de diferencias significativas de este parámetro; lo mismo que sucedió en el caso del potasio. Constituyen una excepción de los resultados los obtenidos en 1998; en la cosecha de ese año se han observado, además, diferencias entre repeticiones difícilmente explicables.

En cuanto al rendimiento del cultivo, expresado en kilos de grano recolectados por parcela, los mismos análisis señalan ausencia de diferencias, debidas a los distintos sistemas de fertilización ensayados. Se considera que carecen de relevancia los resultados encontrados el primer año, 1992, en el que donde el análisis de varianza señala alguna diferencia significativa; ese año los menores rendimientos correspondieron a los tratamientos T-5 y T-1.

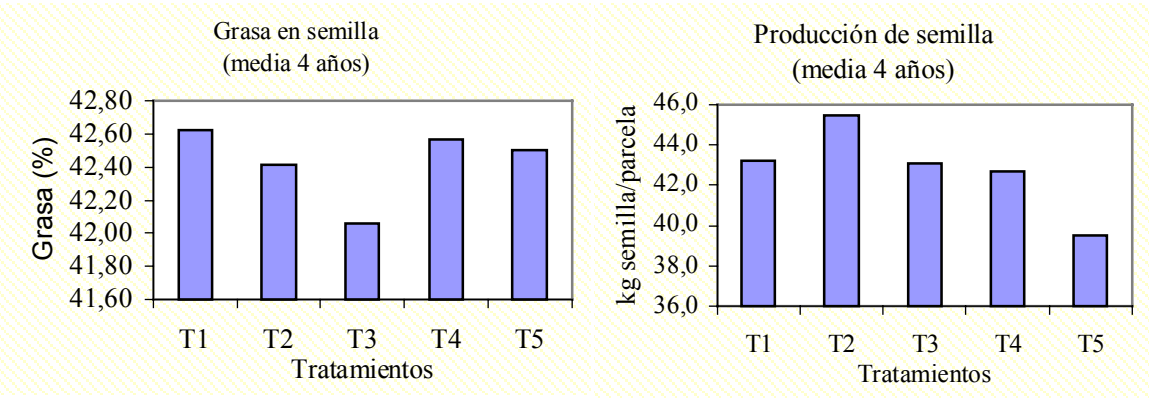
Aunque las diferencias entre tratamientos, como se acada de indicar, no son significativas, parece oportuno señalar que todos los años la mínima producción se ha dado en las parcelas que recibieron el tratamiento T-5, es decir, que fueron fertilizadas empleando exclusivamente fertilizantes minerales.

La producción obtenida para cada uno de los cinco tratamientos, considerados globalmente los cuatro años de experiencia, tampoco muestra diferencias significativas. Sin embargo, con el tratamiento T-2 se consigue la máxima producción, con un incremento medio del 13,4% respecto al tratamiento T-5 al que corresponde la menor producción (tabla VF39).

Tabla VF39: Valor medio e incrementos de la producción de semilla (4 años).

Tratamiento	Incremento de la producción (%)					Producción media Años 92. 94, 96 y 98
	Girasol 92	Girasol 94	Girasol 96	Girasol 98	Incremento medio 4 años	
T-1	12,8	10,0	9,7	4,7	7,1	42,2 a
T-2	20,0	12,9	9,1	21,2	13,4	44,7 a
T-3	16,0	6,1	5,9	16,8	9,4	43,1 a
T-4	18,1	3,2	-	10,8	6,6	42,0 a
T-5	-	-	5,7	-	-	39,4 a

Gráfico VF13: Valores medios del contenido en grasa y la producción de semilla en los cuatro años de cultivo de girasol



En la literatura se encuentra una coincidencia entre los autores respecto a que el nitrógeno suele reducir el porcentaje de materia grasa en la semilla, STOIANOV (1973), VIROEL VRÂNCEANU (1977) y SAUMELL (1980). Sin embargo, en lo referente al rendimiento hay disparidades; SAUMELL (1980) afirma que el aumento en el rendimiento en grano, producido por un mayor absorción de nitrógeno, compensa el menor contenido graso y consigue una mayor cantidad de materia grasa por superficie. Por el contrario,

STOIANOV (1973) y VIROEL VRÂNCEANU (1977) opinan que los efectos del nitrógeno sobre el rendimiento son modestos e inconstantes.

En cuanto al fósforo, SAUMELL (1980) afirma que mejora el rendimiento del cultivo sólo cuando la cantidad de nitrógeno es suficiente, además de aumentar el contenido en materia grasa de la semilla. VIROEL VRÂNCEANU (1977) opina que el fósforo tiene el mejor efecto sobre la producción en la mayoría de tipos de suelos sin disminuir el contenido de aceite de la semilla.

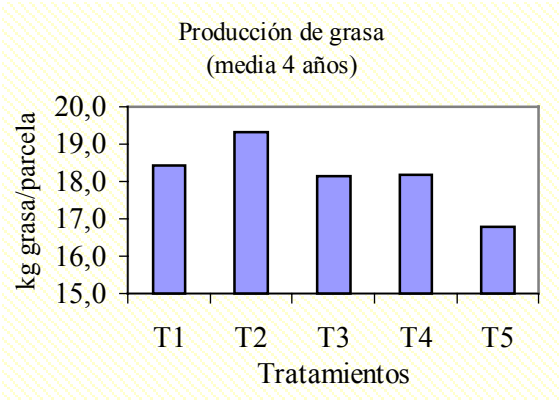
En el presente trabajo se ha comprobado que:

- Existe una relación positiva entre el contenido de nitrógeno y fósforo en la semilla y la producción.
- En el caso del nitrógeno esta relación es negativa para el contenido de grasa en la semilla.
- El fósforo no muestra una influencia constante sobre el contenido de grasa en la semilla; durante los años 92, 96 y 98 los tratamientos que proporcionan mayor contenido en grasa en la semilla presentan contenidos de fósforo más bien bajos. El año 1994 constituye una excepción, el tratamiento T-2 aporta los mayores contenidos de fósforo en la semilla pero también permite obtener la máxima producción y el mayor contenido graso en la semilla
- En el potasio se observan tendencias similares al fósforo; incidencia positiva sobre la producción y, variable, sobre el contenido graso de la semilla a excepción del año 94.
- Para la producción de grasa expresada como kg grasa /parcela, se obtienen mejores resultados en general con el tratamiento T-2, obteniendo un incremento medio del 14,9% respecto al tratamiento T-5 (tabla VF40).

Tabla VF40: Valor medio e incrementos de la producción de grasa (4 años).

Tratamiento	Producción de grasa (kg grasa/parcela)					Incremento medio 4 años (%)
	Girasol 92	Girasol 94	Girasol 96	Girasol 98	Media 4 años	
T-1	23,48	15,95	14,39	17,41	18,41	9,6
T-2	23,31	16,44	16,20	19,62	19,30	14,9
T-3	22,38	15,22	14,30	19,25	18,13	8,0
T-4	24,30	14,74	14,11	18,19	18,18	8,3
T-5	23,37	12,24	14,43	16,69	16,79	-

Gráfico VF14: Producción media de grasa en los cuatro años de cultivo



CULTIVO DE CEREALES

4.2.5.1. INFLUENCIA SOBRE LOS CONTENIDOS DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN PLANTA.

Los resultados del análisis de planta se muestran en las tablas AP2.17, AP2.18 y AP2.19 (Apéndice 2).

4.2.5.1.1. Resultados del tratamiento estadístico

Tabla VF41 : Resultados del análisis de varianza para nitrógeno, fósforo y potasio en planta.

Cult	N (%)			P (ppm)			K (ppm)		
	Tratamien	Estadio	Repetición	Tratamien	Estadio	Repetición	Tratamien	Estadio	Repetición
Cebada 93	**3,06 a** 3,25 b 3,35 b 3,22 b 2,88 c	**5,50 a** 4,94 b 3,82 c 2,18 d 1,34 e 1,13 f	**3,20 a** 3,00 b 3,26 a 3,15 a	**4510 a** 4402 a 4710 a 4698 a 3844 b	**5736 a** 6976 b 5377 a 3438 c 2923 d 2146 e	**4980 a** 4406 b 4346 b 3999 c	**31673 a** 33749 b 32525 ab 32942 ab 32286 ab	**46726 a** 49719 b 41094 c 27456 d 19634 e 11181 f	**32671 a** 32189 a 32899 a 32781 a
Cebada 97	**2,51 a** 2,78 bc 2,91 b 3,06 d 2,77 c	**4,69 a** 3,19 b 2,03 c 1,31 d	**2,71 a** 2,71 a 2,86 b 2,94 b	**3133 ab** 3097 a 3275 ab 3376 b 2539 c	**4282 a** 2702 b 2913 b 2439 c	**3456 a** 2762 b 3279 a 2840 b	**29795 ab** 29638 ab 31564 bc 33022 c 28699 a	**51108 a** 30015 b 23911 c 17141 d	**30070 ab** 29223 a 31204 ab 31677 b
Trigo 99	2,30 a 2,53 b 2,62 bc 2,67 bc 2,71 c	**4,70 a** 2,28 b 1,89 c 1,38 d	**2,49 a** 2,43 a 2,65 b 2,68 b	**4003 a** 3886 a 4039 a 3787 a 2895 b	**6240 a** 4971 b 2060 c 1616 d	**3943 a** 3593 bc 3816 ab 3536 c	**22315 a** 24770 bc 24368 b 25793 c 23894 b	**40409 a** 24319 b 20379 c 11805 d	**23653 a** 23762 a 25103 b 24393 ab

4.2.5.1.2. Discusión de los resultados

A) Cultivo de cebada

Nitrógeno

El contenido en nitrógeno en la planta depende del estadio en que se encuentra el cultivo en el momento de recogida de la muestra de material vegetal. Este resultado no es nada novedoso, puesto que las tomas de muestra de material vegetal pertenecen a estadios bastante separados, la bibliografia habla en los cereales de 6-7 estadios, INTA (1981) y DOMÍNGUEZ VIVANCOS (1997), y en este trabajo sólo se consideran cuatro, excepto en la cebada del año 93 en la que se han considerado 6 estadios.

Igual que sucedía con el girasol, las máximas concentraciones de nitrógeno en planta se dan en los primeros momentos de desarrollo del cultivo (véase gráfico VF15). Si en estas tempranas etapas no se observan diferencias entre tratamientos, es indicación de que, en todos los sistemas de fertilización ensayados, la planta encuentra a su disposición el nitrógeno que necesita, independientemente de que éste le sea suministrado en forma mineral o mediante la aplicación de purines.

Esta conclusión es altamente interesante, puesto que parte del nitrógeno aportado con los purines se encuentra, en parte, en forma orgánica y debe mineralizarse antes de poder ser asimilado por la planta; se puede concluir que la velocidad de mineralización en el caso de los purines de ganado porcino es suficientemente elevada para que no se presente deficiencia precisamente cuando la planta necesita este elemento en mayor cantidad, es decir, en sus primeros momentos de desarrollo.

Los resultados que se presentan en la tabla VF58 se refieren a los contenidos de nitrógeno en el conjunto de las muestras analizadas. En este caso se encuentra para el cultivo de cebada del año 93:

- una diferencia significativa entre el tratamiento realizado con purín solamente (T-1) y el resto (contenido mayor que el obtenido con el empleo de sólo fertilizantes minerales y menor que el encontrado cuando se combina mineral y purín);
- ausencia de diferencia entre los tratamientos T-2, T-3 y T-4 (a ellos corresponden las máximas concentraciones de nitrógeno en planta);
- los contenidos de nitrógeno en planta son mínimos en T-5 (véase gráfico VF15), y esos contenidos se diferencian significativamente del resto de los tratamientos.

En la misma tabla se presentan los resultados correspòndientes al año 1997:

- El menor contenido de nitrógeno en planta corresponde al tratamiento T-1, existiendo una diferencia significativa entre los valores obtenidos en este sistema de fertilización y el resto de los sistemas de fertilización ensayados.
- Le sigue en cantidad de nitrógeno en planta los sistemas de fertilización en los que se emplearon o bien sólo fertilizante mineral o purín completado con una mínima cantidad de fertilizante mineral (T-5 y T-2) Entre estos dos tratamientos no existe ninguna diferencia a nivel estadístico.
- Concentraciones mayores de nitrogeno se registraron en las plantas correspondientes al tratamiento T-3 (que no se diferencia significativamente de T-2).
- Sin embargo, correspondió al tratamiento T-4 la máxima concentración de nitrógeno en planta (véase gráfico VF15).

Se observan ciertas interacciones entre tratamiento y repetición (o lugar) en la cosecha de 1997. Éstas se estudian con más detalle y los resultados obtenidos se ponen de manifiesto en la tabla VF42.

Tabla VF42: Estudio de interacciones tratamiento–repetición en el nitrógeno (Año 1997).

Tratamiento		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Cebada 97	1	2,28 a	2,48 a	2,62 a	2,63 a
	2	2,68 a	2,65 a	3,03 a	2,76 a
	3	2,78 a	2,71 a	3,16 a	3,01 a
	4	3,02 a	2,88 a	2,97 a	3,35 a
	5	2,77 a	2,84 a	2,52 a	2,94 a

Según esa tabla, a pesar de las interacciones que indica el estudio estadístico inicial, no existe ninguna diferencia estadística entre los contenidos de nitrógeno en planta en el caso de los sistemas de fertilización estudiados. Si bien cabe destacar que las máximas concentraciones de nitrógeno en planta se dan en los tratamientos T-4, salvo en una repetición (T-3).

Pensando en la posible existencia de alguna influencia de la velocidad de mineralización del nitrógeno orgánico existente en los purines, se ha realizado un estudio estadístico para cada estadio particular. Los resultados obtenidos se dan en la tabla siguiente.

Tabla VF43: Absorción de nitrógeno por la planta en los diferentes estadios (Años 1993 y 1997)

Tratamiento		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4	Estadio 5	Estadio 6
Cebada 93	1	5,48 a	4,85 a	3,52 a	2,24 a	1,21 a	1,07 a
	2	5,76 ab	5,24 a	3,72 abc	2,32 a	1,25 a	1,20 a
	3	5,89 b	5,28 a	4,20 c	2,24 a	1,33 a	1,16 a
	4	5,50 a	5,21 a	4,06 bc	1,83 a	1,56 a	1,12 a
	5	4,85 c	4,10 b	3,61 ab	2,26 a	1,35 a	1,10 a
Cebada 97	1	4,39 a	3,08 a	1,53 a	1,01 a		
	2	4,75 ab	3,15 a	1,97 b	1,15 a		
	3	4,73 ab	3,21 a	2,20 c	1,51 b		
	4	4,98 b	3,24 a	2,40 c	1,58 b		
	5	4,59 ab	3,26 a	2,04 bc	1,30 ab		

El análisis de resultados reflejados en la tabla permite observar (véase también gráfico VF15):

- En las tres últimas muestras de material vegetal, tomadas en 1993, no hay ninguna diferencia significativa entre tratamientos.
- Sin embargo, en la primera toma de muestra de 1993 el contenido de nitrógeno en planta es significativamente mínimo para el tratamiento T-5. Este resultado no se repite en 1997; en esta cosecha la concentración de nitrógeno para la primera toma de muestra es mínima para el tratamiento T-1, seguido de T-5, T-3 y T-2 (orden creciente), entre los cuales no existe ninguna diferencia significativa.
- La máxima concentración de nitrógeno en planta en ese primer estadio tiene lugar cuando se aplica el tratamiento T-3 en la cosecha de 1993 y T-4 en la de 1997, si bien este año no existe diferencia significativa entre los tratamientos T-4, T-2, T-3 y T-5.
- En los dos años de cultivo de cebada el tratamiento T-1 supera, en el primer estadio, al T-5; hecho que sólo puede atribuirse a una rápida mineralización del nitrógeno de los purines.

En la misma tabla se dan los resultados correspondientes al segundo estadio. En 1993 la menor concentración de nitrógeno corresponde al tratamiento T-5, mientras que en 1997, la menor concentración aparece en las plantas que recibieron el tratamiento T-1, si bien la diferencia con el resto de los tratamientos no es significativa.

En el tercer estadio, tanto en 1993 como en 1997, la menor concentración de nitrógeno en planta corresponde al tratamiento T-1, y el máximo a los tratamientos T-3 y T-4.

En el cuarto estadio no coinciden exactamente los resultados obtenidos en 1993 y 1997. Mientras que en 1993 no se encuentran diferencias significativas entre tratamientos, en 1997 las máximas concentraciones corresponden a los tratamientos T-3 y T-4; que no se diferencian significativamente de las encontradas para T-5, pero sí de las correspondientes a T-1 y T-2.

Algunos de estos resultados deben ser tamizados a la luz de los datos obtenidos en el análisis de las interacciones observadas entre estadio y repetición en la cosecha de 1997, que se dan en la tabla VF44. Este estudio indica que sólo en el estadio 2 se presentan diferencias entre reperticiones y que, por tanto, sólo en este caso debe tenerse cuidado con los resultados de los análisis estadísticos anteriores.

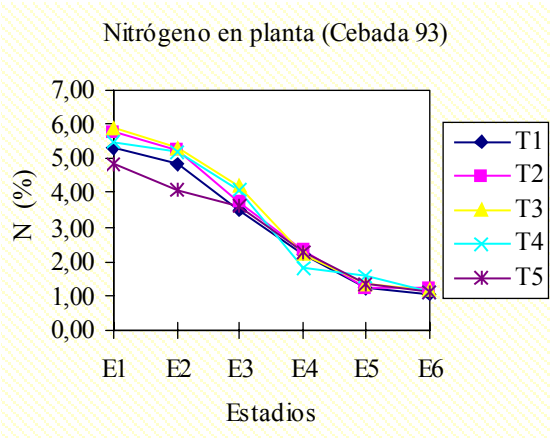
Tabla VF44: Estudio de interacciones estadio-repetición en el nitrógeno (Año 1997)

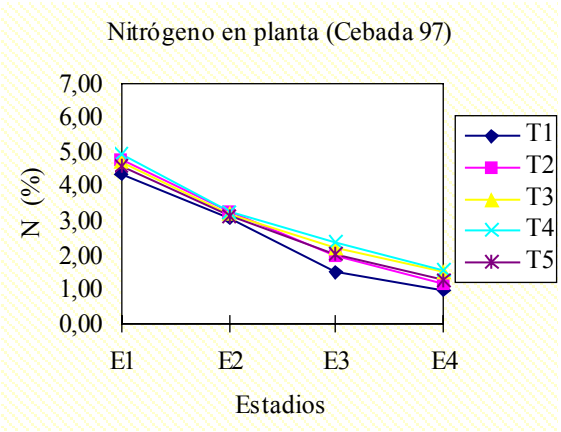
Repetición		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Cebada 97	1	4,77 a	2,90 a	1,81 a	1,35 a
	2	4,50 a	3.15 ab	1,94 a	1,27 a
	3	4,67 a	3,26 bc	2,17 a	1,33 a
	4	4,81 a	3,45 c	2,21 a	1,29 a

Se puede concluir que, no sólo la cantidad de nitrógeno que necesita la planta, principalmente en los primeros momentos de su desarrollo, queda perfectamente cubierto con el nitrógeno aportado por los purines, sinó que además, los contenidos de nitrógeno en planta son mayores cuando se aplica cualquier combinación de purín y fertilizante mineral nitrogenado. Las pequeñas diferencias encontradas en los años 1993 y 1997, se pueden atribuir a que el año 1997 fue especialmente anómalo; se comenzó sembrando trigo de invierno, pero las continuas lluvias, que cayeron a continuación, impidieron el nacimiento de la planta y, para no perder un año de ensayos, se terminó sembrando cebada de primavera.

En conjunto, los mejores resultados corresponden a los tratamientos T-3 y T-4.

Gráfico VF15: Contenidos de nitrógeno en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93 y 97).





Fósforo

Como se ha hecho en el caso del nitrógeno se van a describir, a continuación, los resultados de los análisis de varianza realizados con los datos analíticos acumulados durante los años, para, al final, señalar las similitudes y diferencias.

En relación con los estadios cabe señalar la existencia de menores diferencias en las tres tomas de muestras primeras en 1993, que en las tomadas en 1997 (véase gráfico VF16).

En 1993 se realizaron análisis en seis estadios de la planta y los resultados obtenidos aconsejaron, en 1997, la toma de muestras en sólo cuatro momentos de desarrollo del cultivo. En la cosecha de este año (1993) se encuentra que no existen diferencias significativas en los contenidos de fósforo entre la primera y tercera toma de muestra de material vegetal. Los datos analíticos señalan, además, una diferencia significativa entre los contenidos en estas muestras y los correspondientes a la muestra segunda, que, como sucedió en 1997, se diferencia significativamente del resto.

Lo acertado de esta decisión se pone de manifiesto en los resultados obtenidos en 1997, en el que se encuentran que todas las diferencias entre estadios son significativas; en 1993 las tres primeras muestras se tomaron en momentos muy cercanos en el tiempo.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el estudio de las interacciones entre estadio y repetición encontradas en la cosecha de 1993.

Tabla VF45: Estudio de interacciones estadio-repetición en el fósforo (Año 1993)

Repetición		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4	Estadio 5	Estadio 6
Cebada 93	1	6145 a	8355 a	6630 a	3656 a	2945 a	2149 a
	2	5450 a	7885 a	4955 b	3280 a	2723 a	2141 a
	3	5882 a	5955 b	5135 ab	3632 a	3232 a	2244 a
	4	5467 a	5710 b	4790 b	3186 a	2792 a	2050 a

Se observa que

- los estadios en los que se encuentran diferencias entre repeticiones se limitan a los estadios segundo y tercero.
- En el estadio segundo hay dos subparcelas (repeticiones 1 y 2) en las que los contenidos de fósforo en planta son significativamente mayores que los registrados en las otras dos subparcelas (repeticiones 3 y 4).
- En el estadio tercero la situación cambia. El máximo contenido de fósforo se da en las plantas que crecieron en la subparcela (repetición 1) y los menores en las repeticiones 2 y 4.

Al comparar los contenidos de fósforo en planta por tratamientos se encuentra:

- En 1993, no existe ninguna diferencia entre los tratamientos T-1, T-2, T-3 y T-4; sólo existe una diferencia estadísticamente apreciable entre estos tratamientos y el T-5. La mínima concentración de fósforo en planta corresponde al T-5 (fertilización mineral),
- En 1997 la mínima concentración de fósforo en planta sigue correspondiendo al tratamiento T-5, que continua diferenciándose claramente del resto de los tratamientos.

Cabe señalar la existencia de interacciones tratamiento-repetición en el año 1997, que se estudian con mas detalle (véase tabla VF46).

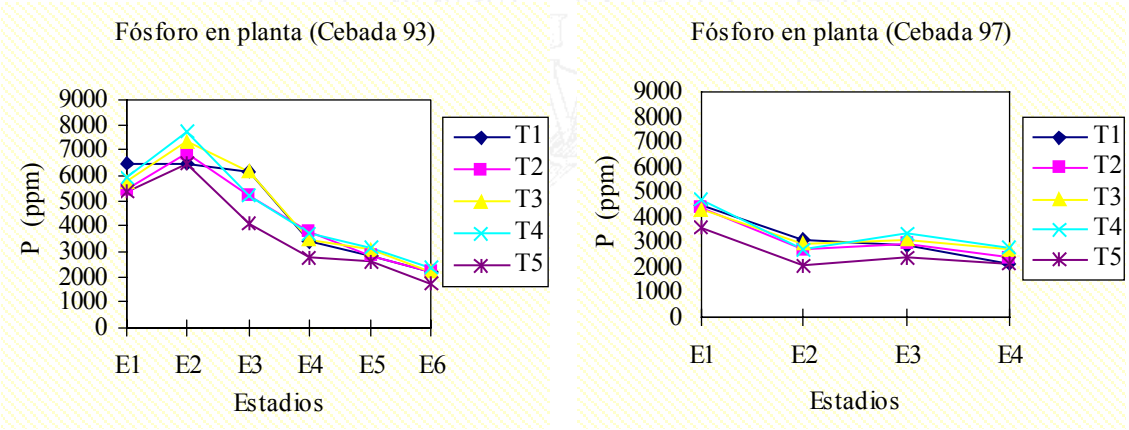
Tabla VF46: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el fósforo (Año 1997)

Tratamiento		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Cebada 97	1	3509 a	3002 a	3512 a	2512 a
	2	3675 a	2695 a	3271 ab	2748 a
	3	3668 a	2457 a	3870 a	3104 a
	4	3682 a	2981 a	3676 a	3165 a
	5	2748 a	2673 a	2067 b	2669 a

En la repetición 3 existen diferencias entre tratamientos que coinciden, en lineas generales, con las indicadas anteriormente: mínima concentración de fósforo en planta para el cultivo que recibió sólo fertilización mineral y máxima para los que recibieron los tratamientos T-3 y T-4.

Las menores concentraciones de fósforo en planta se producen cuando se emplean sólo fertilizantes minerales, este hecho puede atribuirse a que la cantidad de purines a aplicar se ha calculado teniendo como referencia el nitrógeno, lo que ha supuesto la adición de una cantidad de fósforo superior a la aplicada de forma mineral.

Gráfico VF16: Contenidos de fósforo en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93 y 97).



Potasio

En primer lugar, hay que señalar las diferencias significativas existentes entre los contenidos de potasio en los distintos estadios; estas diferencias se dan, incluso en la cosecha de 1993, cuando se tomaron muestras de material vegetal en seis momentos distintos de desarrollo (véase gráfico VF17).

En lo que se refiere a la influencia de los sistemas de fertilización ensayados sobre los contenidos de potasio en planta y, como complemento a los datos presentados en la tabla VF41, se resumen, a continuación, los resultados obtenidos en el estudio de las interacciones tratamiento-repetición observadas en 1997.

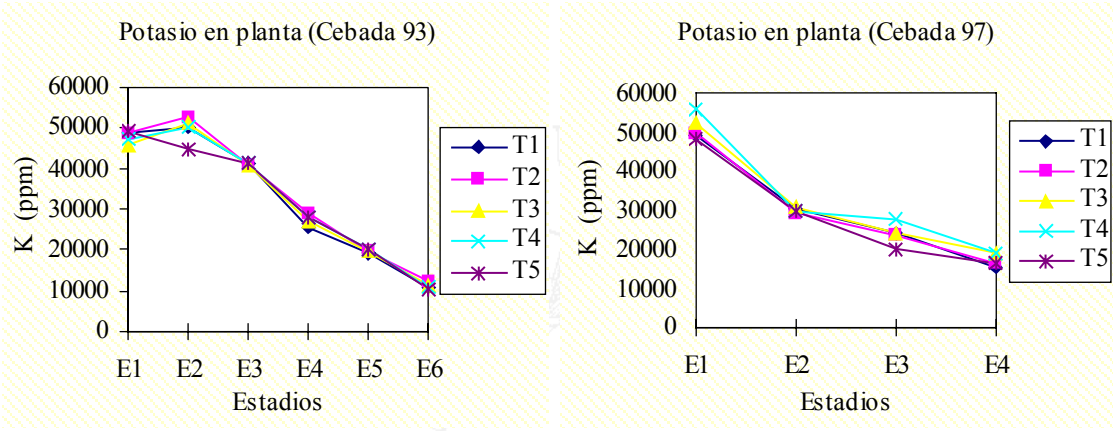
Tabla VF47: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el potasio (Año 1997)

Tratamiento		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Cebada 97	1	28697 a	27379 a	31645 a	31458 a
	2	30077 a	29103 a	30724 a	28649 a
	3	29412 a	28796 a	35653 a	32396 a
	4	33190 a	33213 a	34330 a	31353 a
	5	28971 a	27625 a	23669 a	34530 a

Del análisis de los resultados presentados se deduce que, tanto en 1993 como en 1997, las menores concentraciones de potasio en planta corresponden a los tratamientos T-1 y T-5, es decir, a las fertilizaciones nitrogenadas o exclusivamente mineral o exclusivamente a base de purines. En 1997 la máxima concentración en planta se da en las parcelas que recibieron el tratamiento T-4 y, aunque en 1993 este máximo correspondió a T-2, el segundo lugar lo ocupó T-4 sin diferencias significativas con el primero.

Se llega a la conclusión de que debe existir algún factor en la combinación purines-fertilización mineral que acreciente la absorción de potasio por la planta y que este efecto es máximo, para el cultivo de cereal, cuando la combinación es la correspondiente al tratamiento T-4.

Gráfico VF17: Contenidos de potasio en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93 y 97).



B) Cultivo de trigo

Nitrógeno

Como en el resto de los cultivos ensayados y de acuerdo con lo indica la bibliografía, DOMINGUEZ VIVANCOS (1977), GARCÍA y col. (1982); SOON (1988) y LÓPEZ BELLIDO (1990), la concentración de nitrógeno en el material vegetal depende fuertemente del estado de desarrollo de la planta; es máximo en los estadios más tempranos (véase gráfico VF18). Sin embargo, se presentan algunas interacciones entre estadios y repeticiones (tabla VF48).

Tabla VF48: Estudio de interacciones estadio-repetición en el nirógeno (Año 1999)

Repetición		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Trigo 99	1	4,21 a	2,53 a	1,87 a	1,37 a
	2	4,36 a	2,13 a	1,86 a	1,37 a
	3	4,92 b	2,30 a	1,95 a	1,46 a
	4	5,32 b	2,16 a	1,88 a	1,34 a

Según esa tabla únicamente en el estadio 1 hay alguna diferencia entre repeticiones, es decir, únicamente en este estadio el lugar influye sobre el contenido de fósforo en la planta en ese momento, Los lugares o repeticiones 1 y 2 conducen a los concentraciones en fósforo inferiores y las 3 y 4 a las superiores, siendo significativas las diferencias entre estos dos grupos.

En cuanto a la influencia del tipo de fertilización sobre las concentraciones de nitrógeno en planta, las mínimas concentraciones corresponden a T-1 y las máximas a T-5, seguidas de T-4 y T-3; las diferencias que se observan entre estos tres valores no son significativas desde el punto de vista estadístico.

Como en otras ocasiones y siempre con el objetivo de observar si la velocidad de mineralización del nitrógeno orgánico del purín ejerce alguna influencia sobre los contenidos de nitrógeno en el material vegetal en alguno de sus estadios, se ha realizado un estudio estadístico por estadios (tabla VF49).

Tabla VF49: Absorción de nitrógeno por la planta en los diferentes estadios (Año 1999)

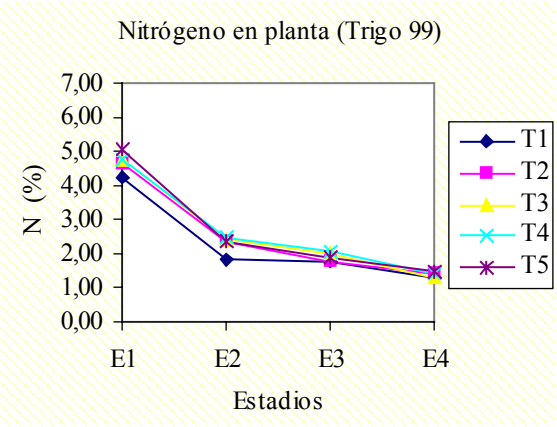
Tratamiento		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Trigo 99	1	4,26 a	1,85 a	1,77 ab	1,31 a
	2	4,64 a	2,35 b	1,74 a	1,39 a
	3	4,78 a	2,39 b	1,99 ab	1,31 a
	4	4,75 a	2,45 b	2,04 b	1,43 a
	5	5,08 a	2,36 b	1,91 ab	1,47 a

Es interesante observar cómo en el primer estadio y en el último no existe ninguna diferencia significativa entre tratamientos. Las diferencias empiezan a aparecer en el segundo estadio, en el que el tratamiento T-1 (para el que corresponde la menor concentración de nitrógeno en planta) se diferencia significativamente del resto.

En el estadio siguiente (estadio tercero) la concentración de nitrógeno en el material vegetal sigue siendo mínimo para el tratamiento T-1, pero la diferencia entre tratamientos es menos acusada. La mayor concentración de nitrógeno en planta corresponde al tratamiento T-4, algo que se repite en los estadios primero y último, aunque no se hayan presentado diferencias significativas.

El fenómeno de absorción de nitrógeno por la planta no depende, en este caso, por tanto, de la velocidad de mineralización del nitrógeno orgánico existente en los purines, ni de la mayor o menor presencia de nitrógeno nítrico o amoniacal; fundamentalmente depende de la combinación de nitrógeno aportado parte como nitrato de amonio y parte mediante la aplicación de purines. Se repite un fenómeno ya mencionado al describir los resultados obtenidos en los cultivos de girasol y cebada.

Gráfico VF18: Contenidos de nitrógeno en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99).



Fósforo

En el fósforo y en relación con su contenido en los distintos estadios de desarrollo de la planta, sigue repitiéndose lo señalado para el nitrógeno y el resto de los cultivos: mayores contenidos en los estadios tempranos, con diferencias significativas entre cada uno de los estudiados (véase gráfico VF19).

En cuanto a la influencia que ejercen los distintos sistemas de fertilización ensayados sobre los contenidos de fósforo en planta, la mínima concentración de fósforo corresponde al tratamiento T-5. La diferencia existente entre el contenido en este tratamiento y el resto de tratamientos es significativa (la diferencia entre los tratamientos T-1, T-2, T-3 y T-4, no es significativa).

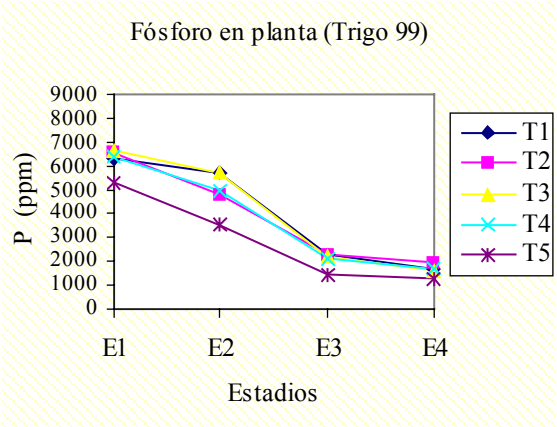
En la tabla VF50 se resumen las conclusiones obtenidas en el estudio de las interacciones tratamiento-estadio, que indican que no siempre en todos los estadios el tratamiento que conduce a las mayores concentraciones de fósforo en planta es el mismo.

Tabla VF50: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el fósforo (Año 1999)

Tratamiento		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Trigo 99	1	6317 a	5747 a	2287 a	1659 a
	2	6525 a	4811 a	2295 a	1913 b
	3	6612 a	5753 a	2172 a	1618 a
	4	6413 a	4999 a	2091 a	1647 a
	5	5334 b	3544 b	1457 b	1244 c

En todos los estadios la menor concentración de fósforo en planta corresponde al tratamiento mineral (T-5); como en casos anteriores, este fenómeno se atribuye a la menor cantidad de fósforo aplicada en este tipo de fertilización (véase gráfico VF19).

Gráfico VF19: Contenidos de fósforo en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99).



Potasio

Se repite la diferencia entre estadios y la tendencia a la disminucion de la concentración de potasio en planta a medida que ésta avanza en su desarrollo (véase gráfico VF20).

Un primer análisis estadístico pone de manifiesto la existencia de interacciones estadio-repetición que se analizan con más detalle. Los resultados de este posterior análisis se muestran en la tabla VF51 y permiten confirmar resultados anteriores en el sentido que si bien en el primer estadio pueden aparecer diferencias entre repeticiones, dichas diferencias se van anulando a medida que la planta va desarrollándose.

Tabla VF51: Estudio de interacciones estadio-repetición en el potasio (Año 1999)

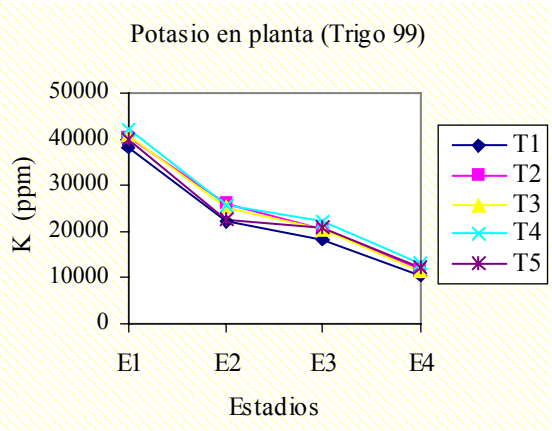
Repetición		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Trigo 99	1	37690 a	25404 a	19964 a	11554 a
	2	39789 ab	23160 a	20613 a	11488 a
	3	41315 bc	25013 a	21686 a	12400 a
	4	42843 c	23698 a	19253 a	11779 a

Respecto a la influencia que cada uno de los sistemas de fertilización ensayados ejerce sobre esos contenidos de potasio en material vegetal, los resultados no son tan sencillos, aunque sí bastante claros.

- La mínima concentración corresponde al tratamiento T-1, que se diferencia significativamente del resto.
- Las valores máximos de concentración de potasio en planta correspondem a los tratamientos T-4 y T-2 entre los que no existe una diferencia significativa; tampoco existe esa diferencia significativa entre T-2, T-3 y T-5.

Las diferencias no se pueden atribuir a ningún fenómeno de mineralización, únicamente cabe pensar en algún tipo de interacción que conduce a una mayor asimilación de potasio por la planta cuando ésta ha recibido una fertilización nitrogenada en parte mineral y en parte orgánica.

Gráfico VF20: Contenidos de potasio en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99).



4.2.5.2. INFLUENCIA SOBRE LOS CONTENIDOS DE CALCIO Y MAGNESIO EN PLANTA.

Los resultados del análisis de planta se muestran en las tablas AP2.20, AP2.21, y AP2.22 (Apéndice 2).

4.2.5.2.1. Resultados del tratamiento estadístico

Tabla VF52: Resultados del análisis de varianza para calcio y magnesio en planta.

Cultivo	Ca			Mg		
	Tratamiento	Estadio	Repetición	Tratamiento	Estadio	Repetición
Cebada 93	**3284 a** 3575 b 3534 b 3772 b 3637 b	**4590 a** 5552 b 4791 a 2536 c 2036 d 1956 d	**3501 a** 3170 b 3834 c 3736 c	**1722 a** 1823 b 1861 bc 1905 c 1785 ab	**2934 a** 2525 b 2281 c 1299 d 932 e 946 e	**1817 ab** 1789 a 1865 b 1806 ab
Cebada 97	**4088 a** 4449 bc 4519 c 4912 d 4122 ab	**6223 a** 5197 b 4004 c 2249 d	**4171 a** 3931 a 4831 b 4740 b	**954 a** 1087 b 1093 b 1248 c 904 a	**1651 a** 578 b 1182 c 818 d	**1190 a** 1010 b 1056 b 973 b
Trigo 99	**1924 a** 2189 b 2250 b 2476 c 2193 b	**3234 a** 2431 b 1952 c 1208 d	**2088 a** 1889 b 2522 c 2318 d	**1100 a** 1241 b 1205 b 1256 b 1047 a	**1441 a** 1237 b 1016 c 985 c	**1113 a** 1034 b 1313 c

4.2.5.2.2. Discusión de los resultados

A) Cultivo de cebada

<u>Calcio</u>

En el caso de este elemento se repite lo observado para el fósforo, en relación con diferencias en contenidos de calcio en distintos momentos de su desarrollo. Vuelve a repetirse

- ausencia de diferencias significativas entre la primera y tercera muestra,
- concentración mayor en la segunda muestra, y
- diferencia significativa entre los distintos estadios (excepto entre el primero y tercero, como se ha señalado).

Por otra parte cabe indicar un descenso de la concentración de calcio en planta a medida que se va avanzando en el desarrollo del cultivo (véase gráfico VF21).

En lo que respecta a la influencia del sistema de fertilización sobre los contenidos de calcio en planta de cebada, tanto en 1993 como en 1997 las mínimas concentraciones de calcio en la planta tienen lugar en las parcelas que recibieron una fertilización nitrogenada a cargo exclusivamente de purines (T-1). Por otra parte, en los dos años, los máximos contenidos de calcio en el material vegetal correspondieron al T-4 (resultado análogo al obtenido para el potasio).

Para confirmar o matizar los resultados anteriores se presentan, a continuación, los resultados obtenidos en el estudio de las interacciones tratamiento-estadio y tratamiento-repetición, observadas en 1993.

Tabla VF53: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el calcio (Año 1993)

Tratamiento	Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4	Estadio 5	Estadio 6
Cebada 93 1	4231 a	5062 a	4231 a	2425 a	1825 a	1931 a
2	4669 a	5769 a	4500 ab	2594 a	1806 a	2112 a
3	4444 a	5231 a	4719 ab	2525 a	2306 a	1981 a
4	4744 a	6069 a	5106 ab	2625 a	2225 a	1862 a
5	4864 a	5131 a	5400 b	2512 a	2019 a	1893 a

Tabla VF54: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el calcio (Año 1993)

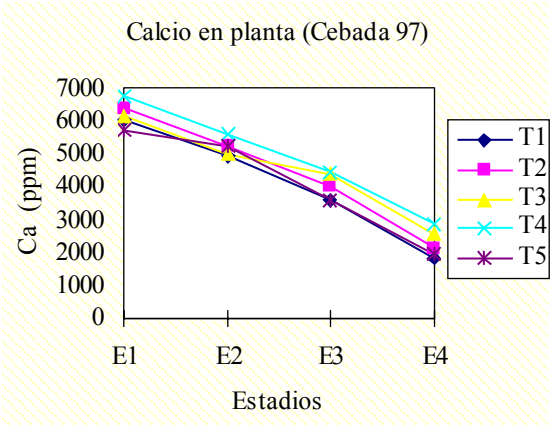
Tratamiento	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Cebada 93 1	3423 a	2860 a	3794 a	3060 a
2	3694 a	3169 a	3735 a	3702 a
3	3319 a	3202 a	4006 a	3610 a
4	3369 a	3306 a	3910 a	4502 a
5	3702 a	3314 a	3724 a	3806 a

La observación de estas tablas lleva a las siguientes conclusiones:

- Para ningún tipo de tratamiento se aprecian diferencias significativas entre las distintas repeticiones.
- En las cuatro primeras muestras de material vegetal se confirman, con ligeros matices, las conclusiones extraídas del primer estudio estadístico: mayores concentraciones de calcio en planta para el tratamiento T-4.
- Son de destacar la ausencia de diferencias significativas en los estadios 4, 5 y 6 y, sobre todo, el hecho de que en estos estadios la máxima concentración en planta no corresponde a T-4, ni siquiera a T-5, sino a T-3 (estadio 5) y T-2 (estadio 6).

En lineas generales, se aprecia un efecto favorable, sobre la absorción de calcio por la planta, debido a la aplicación conjunta de purines y fertilizantes minerales o a la existencia en los purines de cantidades de calcio no presentes en los fertilizantes minerales utilizados; este fenómeno no ha sido observado en el girasol.

Gráfico VF21: Contenidos de calcio en planta según los estadios y tratamientos (cebada 97).



Magnesio

Las concentraciones de magnesio en planta disminuyen de una forma apreciable a medida que se desarrolla la planta, de forma que en el último estadio es del orden de 1,5 a 3 veces inferior que en los primeros estadios. Por otra parte el descenso es menor cuando la planta se encuentra en los últimos momentos de su desarrollo de forma que, en 1993 (año en que como ya se ha indicado se tomaron un mayor número de muestras) no se observan diferencias significativas entre los contenidos de magnesio en planta en los dos últimos estadios.

En la tabla VF55 se dan los resultados del estudio detallado de las interacciones entre estadio y repetición, encontradas en la cebada de 1997.

Tabla VF55: Estudio de interacciones estadio-repetición en el magnesio (Año 1997)

Repetición		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Cebada 97	1	1977 a	828 a	1206 a	749 a
	2	1545 b	541 b	1136 a	818 a
	3	1511 b	483 b	1310 a	921 a
	4	1570 b	458 b	1077 a	786 a

Sólo en los estadios primero y segundo, la subparcela 1 se separa de la tónica general; en ambos casos, la concentración de magnesio en planta es máxima en las plantas crecidas en esta subparcela. No cabe ninguna explicación a este hecho, puesto que además, en el resto de los estadios, no existe una diferencia significativa entre los resultados obtenidos en cada una de las repeticiones.

La influencia del sistema de fertilización en los contenidos de magnesio en planta, se pueden resumir en los siguientes apartados:

- las mínimas concentraciones de magnesio tienen lugar en las plantas que han recibido los tratamientos T-1 y T-5 (no existen diferencias significativas entre estos tratamientos):
- la máxima concentración corresponde al tratamiento T-4, que se diferencia significativamente del resto;
- los valores medios corresponden a los tratamientos T-2 y T-3, y entre ellos las diferencias no son significativas.

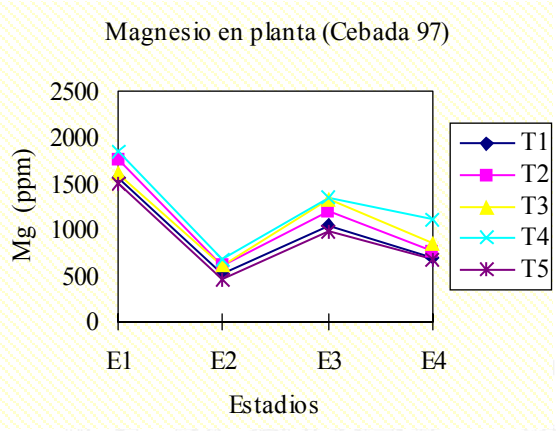
En la tabla VF56 se muestra el alcance de las interacciones, en principio observadas, entre tratamiento y repetición en 1997. Los resultados obtenidos en este análisis ponen de manifiesto que no existen diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las repeticiones.

Tabla VF56: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el magnesio (Año 1997)

Tratamiento		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Cebada 97	1	956 a	909 a	1054 a	897 a
	2	1310 a	1011 a	1158 a	870 a
	3	1241 a	1059 a	1136 a	937 a
	4	1319 a	1159 a	1265 a	1248 a
	5	1123 a	912 a	668 a	912 a

Se podría decir que el empleo combinado de purines y fertilización nitrogenada en forma mineral, de alguna manera, favorece la extracción de magnesio por la planta. Se repite la tónica observada al estudiar otros elementos (véase gráfico VF22).

Gráfico VF22: Contenidos de magnesio en planta según los estadios y tratamientos (cebada 97).



B) Cultivo de trigo

Calcio

El contenido en calcio de la planta disminuye a medida que el cultivo va creciendo (véase gráfico VF23). Existe alguna diferencia entre repeticiones en los tres primeros estadios (tabla VF57), para las que no se encuentra ninguna explicación plausible.

Tabla VF57: Estudio de interacciones estadio-repetición en el calcio (Año 1999)

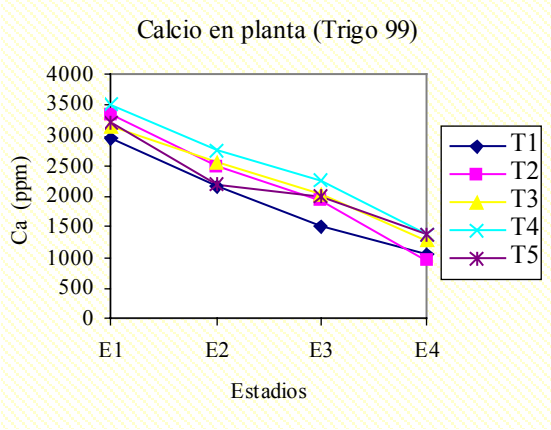
Repetición		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Trigo 99	1	2719 a	2556 a	1920 ab	1155 a
	2	2756 a	1925 b	1718 a	1198 a
	3	3685 b	2826 a	2308 b	1268 a
	4	3778 b	2419 a	1863 a	1211 a

En referencia a la influencia de los tratamientos,

- el menor contenido en calcio del material vegetal corresponde al tratamiento T-1 (diferencia significativa con el resto);
- también es significativa la diferencia observada en los contenidos de calcio en la planta que recibieron el tratamiento T-4 y los tratamientos T-2, T-3 y T-5; la máxima concentración de calcio en planta se da en esas plantas que recibieron el sistema de fertilización T-4;
- carecen de significado estadístico las diferencias observadas entre el resto de los tratamientos.

Los menores contenidos de calcio en las plantas que recibieron el trtamiento T-1 y los máximos observados para el sistema de fertilización T-4 coinciden con los obtenidos para la cebada.

Gráfico VF23: Contenidos de calcio en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99).



Magnesio

El caso del magnesio no es muy diferente (véase tabla VF52 y gráfico VF24),

- Los mínimos contenidos de magnesio en material vegetal corresponden a los tratamientos T-1 y T-5, entre los que la diferencia existente no es significativa.
- La concentración máxima de magnesio en planta corresponde al tratamiento T-4, si bien las diferencias entre esa concentración y las correspondientes a los tratamientos T-2 y T-3, no son significativas.

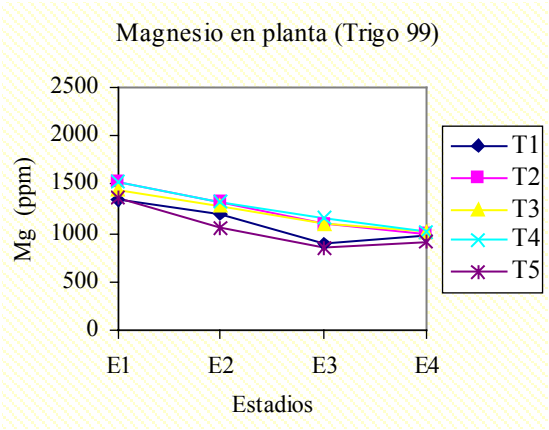
Lo mismo que se indicó para la cebada cabe pensar en algún tipo de fenómeno que favorece la absorción de magnesio por la planta cuando ésta recibe una fertilización nitrogenada, parte en forma mineral y, parte, en forma orgánica (purines). Al igual que en el calcio, este hecho no se ha apreciado en el cultivo de girasol.

El estudio detallado de las interacciones entre estadio y repetición (tabla VF58) muestra mayores contenidos de magnesio en la repetición 3.

Tabla VF58: Estudio de interacciones estadio-repetición en el magnesio (Año 1999)

Repetición		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Trigo 99	1	1266 a	1233 a	1013 ab	943 a
	2	1284 a	1020 b	865 a	965 a
	3	1641 b	1373 a	1170 b	1070 b
	4	1575 b	1324 a	1018 ab	961 a

Gráfico VF24: Contenidos de magnesio en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99).



4.2.5.3. INFLUENCIA SOBRE LOS CONTENIDOS DE MICRONUTRIENTES EN PLANTA

Los resultados del análisis de planta se muestran en las tablas AP2.23, AP2.24 y AP2.25 (Apéndice 2).

4.2.5.3.1. Resultados del tratamiento estadístico

Tabla VF59: Resultados del análisis de varianza para micronutrientes en planta.

Cult	Cu			Zn			Fe		
	Tratamien	Estadio	Repetición	Tratamien	Estadio	Repetición	Tratamien	Estadio	Repetición
Cebada 93	**11,5 a**	**42,4 a**	**13,8 a**	**38,9 a**	**60,4 a**	**41,9 a**	**119 a**	**204 a**	**127 a**
	17,6 b	19,3 b	15,8 a	42,3 a	58,4 a	34,5 b	146 a	208 a	132 a
	12,4 a	7,8 c	12,9 a	40,2 a	56,6 a	42,8 a	128 a	221 a	132 a
	13,5 ab	5,6 c	13,7 a	43,3 a	29,5 b	38,9 a	140 a	82 b	138 a
	15,2 ab	5,3 c		33,0 b	17,4 c		130 a	43 c	
		3,8 c			14,8 c			35 c	
Cebada 97	**6,2 a**	**8,9 a**	**7,4 a**	**26,6 a**	**37,3 a**	**29,3 a**	**434 a**	**435 a**	**465 a**
	6,6 a	7,5 b	5,7 b	25,6 ab	32,4 b	20,8 c	413 a	620 b	388 a
	6,4 a	6,2 b	6,2 ab	26,9 a	18,2 c	27,5 ab	409 a	441 a	435 a
	6,9 a	3,4 c	6,6 ab	25,9 ab	14,4 d	24,7 b	418 a	203 c	411 a
	6,4 a			22,8 b			449 a		
Trigo 99	**5,7 a**	**11,2 a**	**6,7 a**	**20,4 a**	**33,5 a**	**25,5 a**	**552 a**	**740 a**	**412 a**
	6,6 a	6,6 b	6,1 a	23,6 b	22,7 b	20,1 b	467 abc	596 b	338 a
	6,9 a	5,1 c	5,9 a	23,1 b	17,6 c	22,6 c	506 ab	376 c	572 b
	6,6 a	2,7 d	6,9 a	23,5 b	14,1 d	19,5 b	441 bc	165 d	555 b
	6,3 a			19,2 a			280 c		

Tabla VF59. Continuación: Resultados del análisis de varianza para micronutrientes en planta.

Cultivo	Mn			Na		
	Tratamiento	Estadio	Repetición	Tratamiento	Estadio	Repetición
Cebada 93	**134 a**	**203 a**	**145 a**	**873 a**	**746 a**	**704 a**
	116 a	198 a	132 ab	902 ab	777 a	680 a
	123 a	164 b	115 bc	1030 ab	1173 b	1243 b
	133 a	79 c	104 c	1125 b	1132 b	964 c
	114 a	56 cd		559 c	801 a	
		45 d			759 a	
Cebada 97	**85 ab**	**125 a**	**106 ab**	**686 ab**	**508 a**	**696 a**
	77 a	137 a	109 a	968 cd	1117 b	538 a
	103 b	83 b	90 b	802 bc	958 b	1011 b
	92 ab	63 c	104 ab	1059 d	671 a	1009 b
	154 c			554 a		
Trigo 99				**343 a**	**419 a**	**330 ab**
				340 a	388 a	248 a
				342 a	289 b	306 ab
				267 a	133 c	346 b
				245 a		

4.2.5.3.2. Discusión de los resultados

A) Cultivo de cebada

Cobre

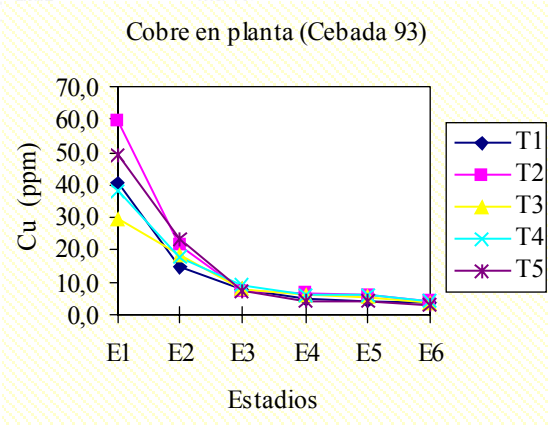
Las concentraciones de cobre en planta dependen claramente del estadio de desarrollo; disminuyen considerablemente a medida que la planta va creciendo (véase gráfico VF25).

En cuanto a la influencia del sistema de fertilización ensayado, se puede señalar la ausencia de diferencias, a pesar de que las cantidades extraídas por la cosecha de 1997 son bastante menores de que las que fueron extraídas en la cosecha de 1993, (estas diferencias entre cosechas son considerablemente superiores que las observadas entre tratamientos dentro de una misma cosecha).

No existe ningún tipo de interacciones entre los tres factores analizados: tratamiento, estadios y repeticiones.

Sin duda, se puede concluir que el sistema de fertilización no ha influido en la cantidad de cobre extraído por la planta.

Gráfico VF25: Contenidos de cobre en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93).



Cinc

En el caso del cinc se sigue poniendo de manifiesto el conocido efecto de dilución; los contenidos son menores en los estadios más avanzados de la planta y estos descensos son mayores en los últimos momentos de su desarrollo (véase gráfico VF26).

En cuanto a los tratamientos es interesante señalar que:

- las mínimas concentraciones se dan con el tratamiento T-5,
- en 1993, T-5 se diferencia significativamente del resto,
- en 1997, T-5 sólo se diferencia significativamente de T-1 y T-3, actuando de puente los tratamientos T-2 y T-4

En conclusión, el tratamiento T-5 proporciona las menores concentraciones de cinc en planta, aunque no siempre las diferencias con el resto de los tratamientos son significativas.

Sin embargo, estas diferencias entre tratamientos son menores que las observadas entre repeticiones dentro de un mismo tratamiento. Además, sigue repitiendose el hecho de que las cantidades de cinc extraídas en 1997 son menores que las asimiladas por la planta en 1993.

En la tabla VF60 se presentan los resultados obtenidos en el estudio de las interacciones tratamiento-repetición, observadas en 1997.

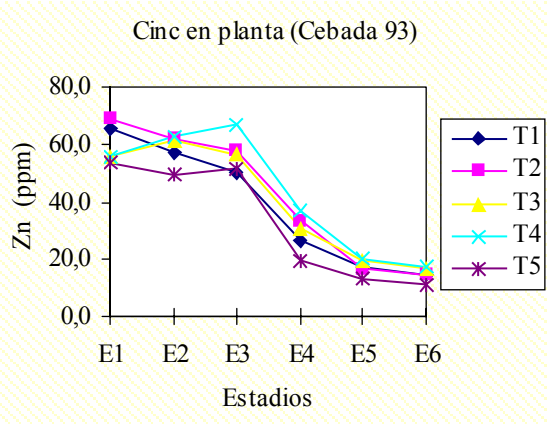
Tabla VF60: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el cinc (Año 1997)

Tratamiento		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Cebada 97	1	28,5 a	23,0 a	31,9 a	23,0 a
	2	30,2 a	18,6 a	29,2 a	24,5 a
	3	28,6 a	18,5 a	35,2 a	25,4 a
	4	32,4 a	20,5 a	23,0 a	27,7 a
	5	26,6 a	23,5 a	18,1 a	23,0 a

Se observa que, en ninguna de las subparcelas, aparecen diferencias entre tratamientos en lo que respecta a las concentraciones de cinc en planta.

Se concluye que, si bien la fertilización exclusivamente mineral permite una menor absorción de cinc por la planta, de los resultados obtenidos no se puede deducir que el empleo de purines supone una significativa mayor asimilación de este elemento por el cultivo.

Gráfico VF26: Contenidos de cinc en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93).



Hierro

El caso del hierro es muy claro: efecto de dilución y ausencia de diferencias entre tratamientos, avaladas por la ausencia de diferencias entre repeticiones dentro de cada tratamiento.

Un estudio separado merecería la observación de que, en este caso, las cantidades de microelemento extraídas en 1997 son mayores que las extraídas en 1993, además, en 1997

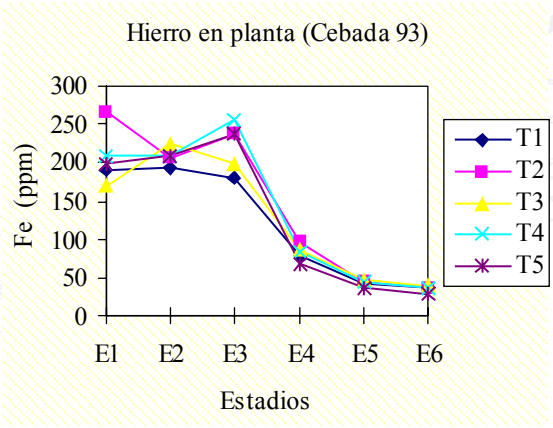
aparecen interacciones entre estadio y repetición. El resultado del estudio de estas interacciones se da en la tabla VF61.

Tabla VF61: Estudio de interacciones estadio-repetición en el hierro (Año 1997)

Repetición		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Cebada 97	1	457 a	844 a	358 a	199 a
	2	391 a	593 b	341 a	225 a
	3	452 a	581 b	512 a	196 a
	4	437 a	462 b	552 a	193 a

A la vista de esta tabla se puede concluir que en 1977, con la excepción del estadio 2, en ninguno de los estadios estudiados, lo mismo que sucedió en 1993, existe significativa influencia de los sistemas de fertilización sobre los contenidos de hierro en el material vegetal.

Gráfico VF27: Contenidos de hierro en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93).



Manganeso

En el manganeso vuelve a repetirse la tendencia observada en los microelementos anteriores: fuerte efecto de dilución muy acusado en los últimos estadios de la planta (véase gráfico VF28), de forma que, a pesar de las concentraciones finales son del orden de 4,5 veces inferiores a las iniciales, no se aprecian diferencias significatrivas entre los contenidos de manganeso medidos en los dos primeros estadios.

En el caso del manganeso se han encontrado interacciones entre estadio y repetición en el año 1993 y tratamiento-repetición en los dos años de experiencias.

En cuanto al posible diferente comportamiento de cada subparcela respecto a los contenidos de manganeso en cada estadio de desarrollo de la planta (tabla VF62), hay que señalar que, esta influencia sólo se manifiesta en los estadio segundo y tercero y en el año 1993. En el resto de los casos no existe ninguna diferencia significativa entre los resultados obtenidos en cada repetición.

Tabla VF62: Estudio de interacciones estadio-repetición en el manganeso (Año 1993)

Repetición		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4	Estadio 5	Estadio 6
Cebada 93	1	197 a	261 a	241 a	80 a	50 a	43 a
	2	204 a	201 ab	186 ab	89 a	63 a	47 a
	3	233 a	182 b	95 c	76 a	57 a	45 a
	4	177 a	148 b	134 bc	68 a	56 a	44 a

Por otra parte, igual que se ha señalado en el caso de algún otro microelemento, no existen diferencias entre tratamientos, salvo en la planta de cebada de 1997 en que la máxima concentración de manganeso se presenta en el tratamiento T-5 (mineral), a pesar de no producirse aporte de manganeso con este tratamiento.

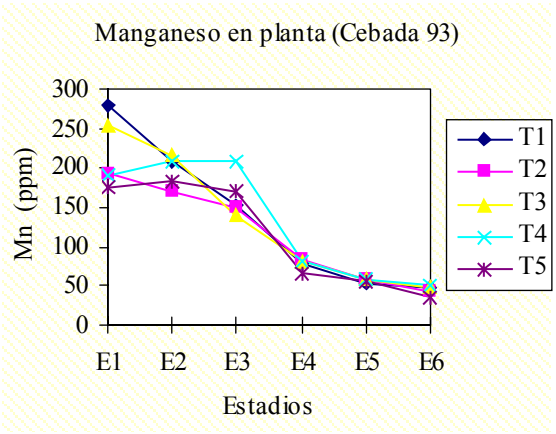
Existen diferencias entre repeticiones, pero en general menos acusadas que entre tratamientos. Las únicas interacciones entre tratamiento y repetición (tabla VF63) corresponden a la cosecha de 1997; las diferencias son de tal magnitud que hace sospechar en algún tipo de error analítico.

Tabla VF63: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el manganeso (Años 1993 y 1997)

Tratamiento		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Cebada 93	1	168 a	158 a	146 a	64 a
	2	139 a	93 a	103 a	130 a
	3	117 a	139 a	120 a	116 a
	4	180 a	140 a	84 a	128 a
	5	123 a	128 a	121 a	85 a
Cebada 97	1	85 a	102 ab	86 ab	66 a
	2	87 a	75 a	62 a	86 ab
	3	70 a	97 ab	108 ab	136 b
	4	125 ab	91 a	63 a	89 ab
	5	162 b	181 b	129 b	143 b

En conclusión, no se ha encontrado ninguna influencia destacable, sobre el contenido de manganeso en planta, debida a la inclusión de purines en un plan de fertilización

Gráfico VF28: Contenidos de manganeso en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93).



Sodio

Los resultados obtenidos en el tratamiento estadístico de las concentraciones de sodio, medidas en el laboratorio, es menos coherente que en el resto de los microelementos y que en el caso del sodio en el cultivo de girasol.

Existen diferencias entre estadios (véase gráfico VF29). Tanto en 1993 como en 1997, estas diferencias no se presentan entre los primeros y últimos estadios de la planta, pero sí entre estos y los datos obtenidos en estadios intermedios.

Los resultados de las interacciones entre el estadio y las repeticiones se resumen en la tabla VF64.

Tabla VF64: Estudio de interacciones estadio-repetición en el sodio (Años 1993 y 1997)

Repetición		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4	Estadio 5	Estadio 6
Cebada 93	1	768 a	616 a	679 a	812 a	680 a	671 a
	2	1008 a	673 a	649 a	722 a	650 a	481 a
	3	569 a	1093 a	1949 b	1502 a	1195 b	1151 b
	4	640 a	728 a	1414 b	1492 a	780 ab	731 a
Cebada 97	1	440 a	620 a	864 ab	861 a		
	2	381 a	828 ab	565 a	377 b		
	3	496 ab	1469 ab	1320 b	759 a		
	4	713 b	1552 b	1083 b	689 ab		

Por lo que respecta al comportamiento de las repeticiones en los distintos estadios de la planta, se observan unas variaciones tan intensas en el contenido en sodio a lo largo del desarrollo del cultivo que no muestran correspondencia con una tendencia clara en las repeticiones que pudieran achacarse a difencias en el suelo.

En cuanto a los sistemas de fertilización ensayados, en las dos cosechas de cebada estudiadas, se ha observado que:

- las mínimas concentraciones de sodio se presentan con los tratamientos T-1 y T-5 (en 1993 las diferencias entre estos dos tratamientos son significativas y en 1997 no lo son)
- las máximas extracciones de sodio por la planta corresponden a los sistemas de fertilización en los que se combinan purines y nitrato de amonio; tanto en 1993 como en 1997 las máximas concentraciones de sodio en planta corresponden al tratamiento T-4.

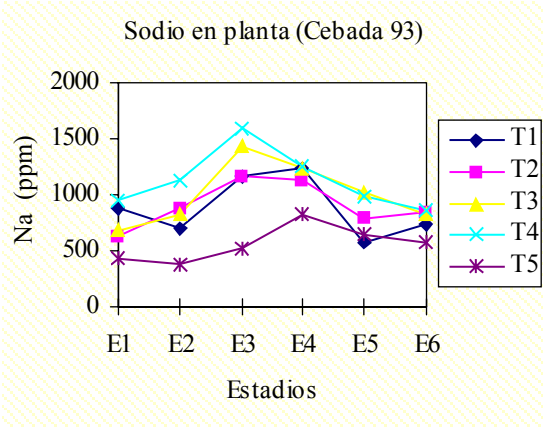
Las interacciones entre tratamiento y repetición se presentan en la tabla VF65.

Tabla VF65: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el sodio (Años 1993 y 1997)

Tratamiento		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Cebada 93	1	722 ab	555 ab	1482 a	734 ab
	2	598 a	614 ab	1461 a	936 abc
	3	972 b	728 ab	1211 ab	1211 bc
	4	672 a	985 a	1444 a	1398 c
	5	557 a	521 b	618 b	541 a
Cebada 97	1	419 a	412 a	1027 ab	885 a
	2	679 ab	681 a	1308 ab	1203 a
	3	1025 b	559 a	856 ab	767 a
	4	700 ab	665 a	1459 a	1412 a
	5	658 ab	373 a	405 b	780 a

En cuanto al comportamiento de planta en cada parcela respecto a los tratamientos realizados, vuelven a obtenerse grandes diferencias tal y como se se observó para el manganeso. La única característica común entre todas las repeticiones es que los menores contenidos en planta corresponden al tratamiento T-5.

Gráfico VF29: Contenidos de sodio en planta según los estadios y tratamientos (cebada 93).



B) Cultivo de trigo

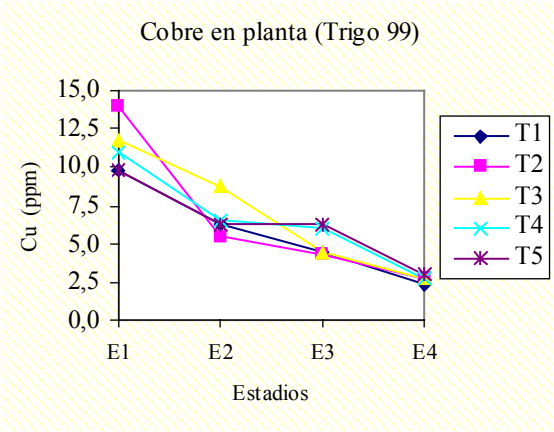
BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Cobre

La concentración en planta disminuye a medida que se avanza en el desarrollo de la planta (véase gráfico VF30). Las diferencias entre las concentraciones encontradas en cada uno de los estadios analizados son siempre significativas.

En cuanto a la influencia de los distintos tratamientos sobre las concentraciones de cobre en planta, los resultados son claros: no existe ninguna apreciable diferencia entre tratamientos.

Gráfico VF30: Contenidos de cobre en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99).



Cinc

La concentración de cinc en planta disminuye a medida que la planta va creciendo (véase gráfico VF31). Todas las diferencias entre los estadios son significativas.

Cuando se consideran las interacciones estadio-repetición (tabla VF66), aparecen claramente diferencias significativas entre las repeticiones 1 y 4 a partir del segundo estadio.

Tabla VF66: Estudio de interacciones estadio-repetición en el cinc (Año 1999)

Repetición		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Trigo 99	1	34,8 a	27,0 a	24,2 a	16,2 a
	2	28,2 b	24,2 ab	15,4 b	12,8 ab
	3	38,2 a	21,6 ab	15,6 b	15,2 ab
	4	32,8 ab	18,0 b	15,2 b	12,2 b

En cuanto a los sitemas de fertilización empleados, en el caso del cinc,

- no existen diferencias significativas entre los tratamientos T-1 y T-5, a los que corresponden las mínimas concentraciones de cinc en planta.
- tampoco son significativas las diferencias entre las concentraciones correspondientes a los tratamientos T-2, T-3 y T-4.

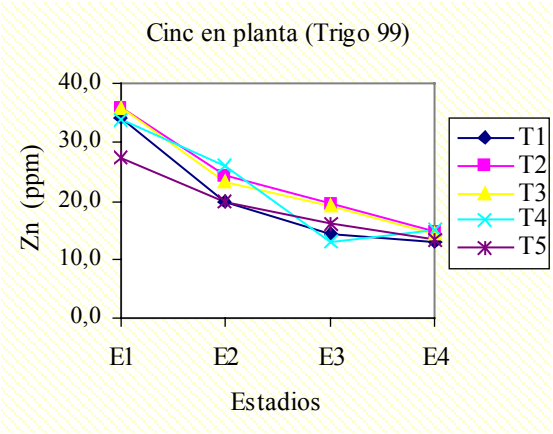
El estudio de interacciones entre tratamientos y repeticiones (tabla VF67), no muestra diferencias significativas.

Tabla VF67: Estudio de interacciones tratamiento-repetición en el cinc (Año 1999)

Tratamiento		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
Trigo 99	1	21,2 a	20,0 a	23,5 a	16,7 a
	2	31,5 a	19,7 a	23,2 a	20,0 a
	3	25,0 a	19,0 a	25,2 a	23,2 a
	4	28,2 a	21,0 a	24,2 a	20,5 a
	5	21,7 a	21,0 a	17,0 a	17,2 a

Parece que la asimilabilidad del cinc no está relacionado con su presencia en los purines, si no con algún efecto producido por la utilización conjunta de purines y fertilización mineral.

Gráfico VF31: Contenidos de cinc en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99).



Hierro

La concentración de hierro en planta disminuye al pasar de un estadio al siguiente (véase gráfico VF32); las diferencias son siempre significativas.

Sin embargo, por lo que respecta a las interacciones estadio-repetición (tabla VF68), las diferencias entre repeticiones comienzan a aparecer en el segundo estadio en el que destacan los contenidos superiores de la repetición 3 seguido de la 2. En el estadio 4 las diferencias entre repeticiones son menos acusadas.

Tabla VF68: Estudio de interacciones estadio-repetición en el hierro (Año 1999)

Repetición		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Trigo 99	1	809 a	368 a	309 a	162 ab
	2	587 a	339 a	229 a	196 a
	3	941 a	690 b	480 b	179 a
	4	624 a	987 c	486 b	123 b

En lo que hace referencia a los tratamientos, el caso del hierro es diferente al del cinc.

- La máxima concentración de hierro en planta corresponde al tratamiento T-1, seguida por los tratamientso T-3 y T-2. No existen diferencias signifiactivas entre los contenidos encontrados en estos tres tratamientos.
- Tampoco es significativa la diferencia existente entre los tratamientos T-2, T-3, y T-4,
- La mínima concentración corresponde a T-5, pero la diferencia existente entre esta concentración y las correspondientes a los tratamientos T-4 y T-2 no es significativa.

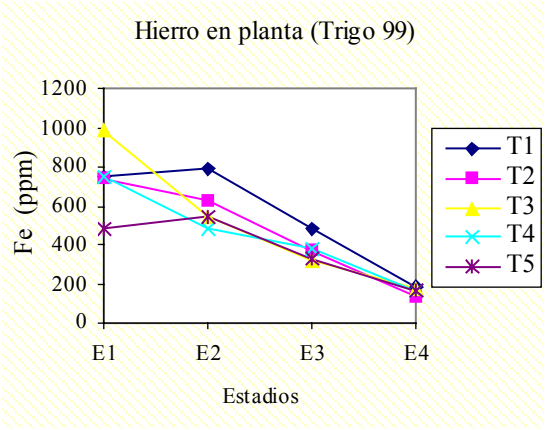
Se podría hablar de un aumento gradual del contenido de hierro en planta. De menor a mayor concentración el orden es el siguiente: T-5 < T-4 < T-2 < T-3 < T-1.

Un estudio detallado de las interacciones tratamiento-estadio sólo muestra diferencias diferencias significativas en el estadio primero (véase tabla VF69).

Tabla VF69: Estudio de interacciones tratamiento-estadio en el hierro (Año 1999)

Tratamiento		Estadio 1	Estadio 2	Estadio 3	Estadio 4
Trigo 99	1	751 ab	788 a	482 a	189 a
	2	737 ab	624 a	370 a	136 a
	3	984 a	546 a	320 a	175 a
	4	744 ab	477 a	382 a	159 a
	5	486 b	544 a	326 a	164 a

Gráfico VF32: Contenidos de hierro en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99).



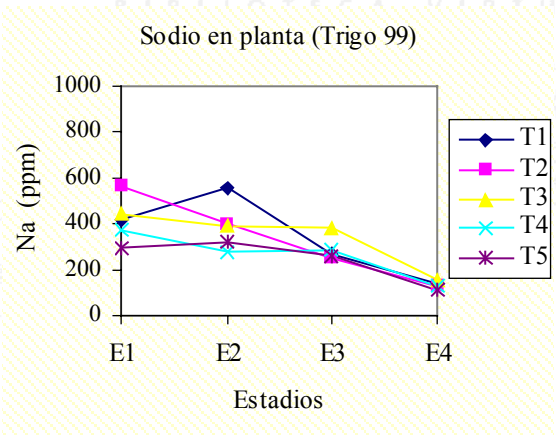
Sodio

El descenso de la concentración de sodio en el material vegetal a medida que el cultivo se va desarrollando sigue una pauta ligeramente diferente a la observada en el caso del resto de los microelementos analizados (véase gráfico VF33).

- Al principio, este descenso es lento y no se observan diferencias significativas entre el primero y segundo estadio;
- después, es más rápido y de forma que son significativas las diferencias de concentración entre el resto de los estadios en los que se tomó muestra de material vegetal.

No se observa ninguna diferencia significativa entre los contenidos de sodio, debida al empleo de uno u otro de los sistemas de fertilización ensayados.

Gráfico VF33: Contenidos de sodio en planta según los estadios y tratamientos (trigo 99).



4.2.5.4. INFLUENCIA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LOS CONTENIDOS EN EL GRANO

Los datos de composición del grano y producción se muestran en las tablas AP2.26, AP2.27 y AP2.28 (Apéndice 2).

4.2.5.4.1. Resultados del tratamiento estadístico

Tabla VF70: Resultados del estudio estadístico del grano de cereal

Cultivo	N		P		K		Ca		Mg	
	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic
Cebada 93	2,13 a	2,20 a	3400 a	3605 a	4394 ab	4455 a	387 ab	400 ab	1131 a	1220 a
	2,13 a	2,08 b	3325 ab	3225 b	4362 ab	4355 a	387 ab	360 a	1156 a	1145 ab
	2,23 a	2,23 a	3662 a	3450 ab	4537 b	4410 a	431 a	415 b	1187 a	1135 b
	2,19 a	2,16 ab	3544 a	3220 b	4494 ab	4330 a	412 a	405 ab	1169 a	1105 b
	2,15 a		2944 b		4150 a		356 b		1112 a	
Cebada 97	2,22 a	2,50 a	3818 a	4496 a	5009 a	5599 a	445 a	665 a	1172 a	1375 a
	2,51 b	2,51 a	3920 a	3866 b	5175 a	5408 a	548 ab	518 b	1110 a	1150 b
	2,63 b	2,51 a	4055 a	3561 c	5285 a	4782 b	574 ab	467 b	1271 a	1033 b
	2,65 b	2,46 a	3940 a	3634 bc	5203 a	4905 b	661 b	529 b	1188 a	1079 b
	2,49 b		3908 a		5416 a		528 ab		1125 a	
Trigo 99	2,39 a	2,74 a	3794 a	3678 ab	4682 a	4520 ab	275 a	323 a	1293 a	1304 a
	2,79 b	2,73 a	3797 a	3446 a	4567 a	4385 a	289 ab	294 b	1314 a	1235 b
	2,91 bc	2,92 b	3907 a	3934 b	4604 a	4672 b	315 b	310 ab	1350 a	1338 a
	2,94 bc	2,82 bc	3785 a	3580 a	4460 a	4458 a	311 b	301 ab	1303 a	1272 ab
	2,98 c		3013 b		4229 b		343 c		1176 b	

Tabla VF70. Continuación: Resultados del estudio estadístico del grano de cereal.

Cultivo	Cu		Zn		Fe		Mn		Na		Producción	
	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic	Tratam	Repetic
Cebada 93	4,4 a	4,9 a	27,6 a	30,5 a	46,1 ab	48,0 a	27,7 a	27,7 a	49,4 ab	53,5 a	204 a	194 a
	3,7 a	4,2 a	26,6 a	25,3 b	45,8 ab	46,0 a	24,9 bc	28,4 a	51,9 ab	42,0 b	207 a	177 b
	3,7 a	5,0 a	31,6 b	28,8 a	49,6 a	45,3 a	28,8 a	25,1 b	60,0 a	58,5 a	215 b	225 c
	4,4 a	4,3 a	29,6 ab	25,9 b	48,1 a	44,3 a	26,7 ab	23,9 b	48,7 b	50,5 ab	220 b	223 c
	6,8 b		23,0 c		40,0 b		23,2 c		45,6 b		177 c	
Cebada 97	3,7 a	4,0 a	35,0 a	43,5 a	62,5 a	84,0 a	36,9 a	44,0 a	65,6 a	76,5 a	51,2 ab	46,4 a
	3,1 a	2,5 a	33,8 a	34,5 b	63,8 a	67,0 b	33,1 a	42,5 ab	76,3 a	71,5 a	52,0 ab	40,8 a
	3,3 a	3,1 a	35,0 a	28,1 b	70,0 a	51,6 c	38,3 a	30,1 c	80,0 a	75,4 a	49,0 a	64,4 b
	3,3 a	3,1 a	33,3 a	27,0 b	60,0 a	47,5 c	35,8 a	34,9 bc	80,0 a	79,5 a	58,0 b	53,4 c
	2,5 a		33,1 a		65,0 a		48,8 b		75,6 a		47,0 a	
Trigo 99	3,2 a	3,2 a	27,0 a	32,0 a	35,2 a	37,6 a			16,2 a	12,8 a	141 a	118 a
	4,0 a	3,2 a	29,5 ab	28,8 a	37,2 a	38,0 a			16,2 a	15,8 a	139 a	117 a
	4,2 a	4,0 a	32,7 b	30,4 a	37,2 a	36,2 ab			12,2 a	15,8 a	122 b	144 b
	2,5 a	4,0 a	31,5 b	29,2 a	37,0 a	35,0 b			11,5 a	13,0 a	134 ab	145 b
	4,0 a		29,7 ab		36,7 a				15,5 a		120 b	

4.2.5.4.2. Discusión de los resultados

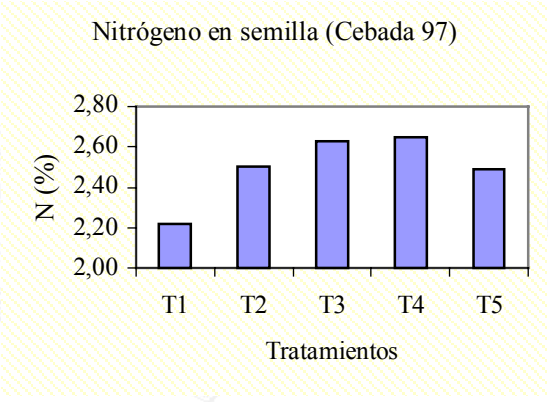
A) Cultivo de cebada

El menor contenido de **nitrógeno** en grano corresponde al tratamiento T-1, pero,

- en la cosecha de 1993 no observan diferencias significativas de T-1 con el resto de los tratamientos (T-1 y T-2 poseen la misma concentración de nitrógeno en grano);
- en la cosecha de 1997, T-1 se diferencia significativamente del resto de los tratamientos, entre los cuales estan ausentes esas diferencias (véase gráfico VF34).

Parece más digno de confianza el resultado obtenido en 1997, porque en ese año no existen las diferencias entre repeticiones observadas en 1993.

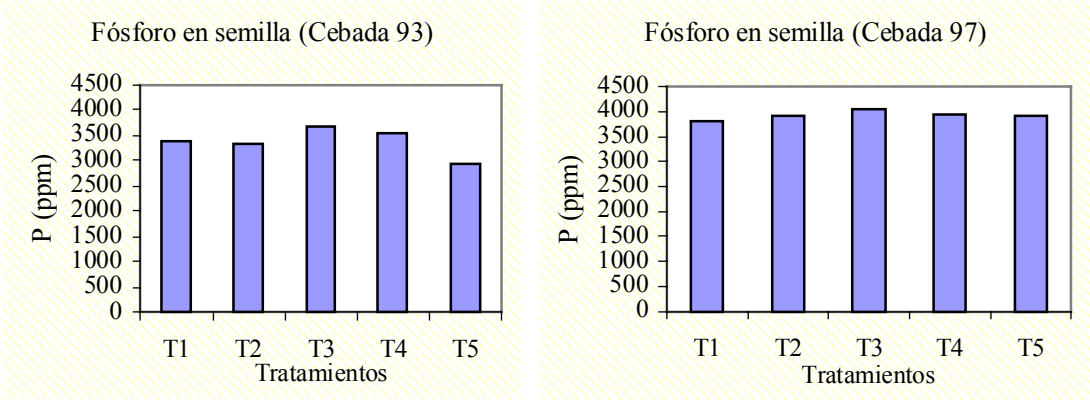
Gráfico VF34: Contenidos de nitrógeno en semilla según los tratamientos (cebada 97).



La relación entre sistema de fertilización y contenido de **fósforo** en el grano es diferente en 1993 y en 1997.

- En 1993 las máximas concentraciones de fósforo corresponden a los tratamientos T-1, T-2, T-3 y T-4 (véase gráfico VF35) que se diferencian significativamente de T-5 el cual ostenta la mínima concentración.
- En 1997, sin embargo, no se han detectado diferencias significativas entre tratamientos y, además, la mínima concentración de fósforo no corresponde al tratamiento T-5. Ello y algunas difrencias entre repeticiones observadas en los dos años, permiten afirmar que los distintos sistemas de fertilización ensayados no parecen ejercer ninguna influencia sobre los contenidos de fósforo en el grano.

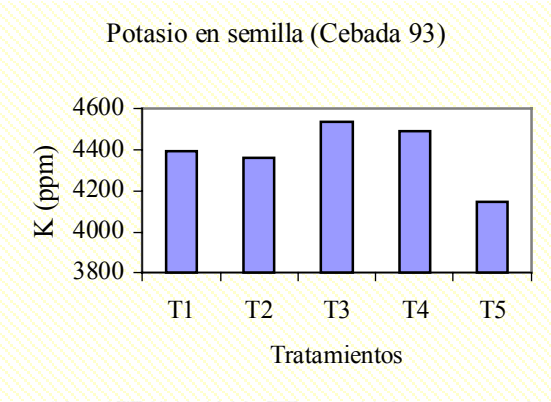
Gráfico VF35: Contenidos de fósforo en semilla según los tratamientos (cebada 93 y 97).



En el **potasio**, prácticamente se repiten los resultados obtenidos para el fósforo.

- Ausencia de diferencias significativas entre tratamientos en la cosecha de 1997.
- En los granos cosechados en 1993 las máximas concentraciones de potasio corresponden al tratamiento T-3 y las mínimas al T-5 (véase gráfico VF36), entre los cuales existen claras diferencias significativas.

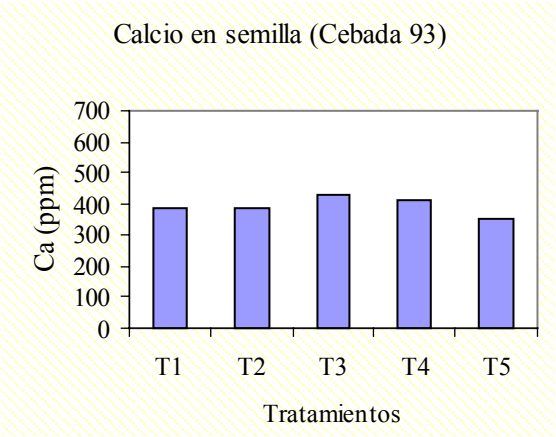
Gráfico VF36: Contenidos de potasio en semilla según los tratamientos (cebada 93).

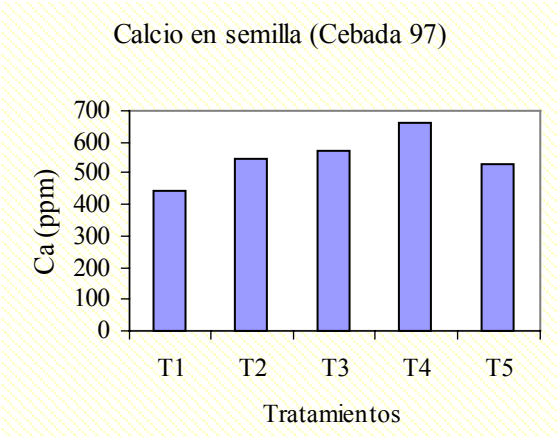


Las mínimas concentraciones de **calcio** en grano corresponden al tratamiento T-5 en 1993 y al T-5 y T-1 en 1997 (véase gráfico VF37). Al describir la influencia del sistema de fertilización sobre los contenidos de calcio en material vegetal se señaló la posibilidad de que exista algún tipo de sinergias entre purín y mineral que conduzca a que, las concentraciones máximas de calcio en grano correspondan en 1993 al tratamiento T-3 y en 1997 al tratamiento T-4; en el primer caso, la diferencia entre T-5 y T-3 es significativa y, en el segundo, la diferencia entre T-4 y T-5 no es significativa. Además, en ninguno de los dos años es significativa la diferencia entre T-3 y T-4, incluso tampoco lo es entre T-3 y T-2.

En el caso del calcio en el grano, existen diferencias importantes entre los contenidos medidos en 1993 y en 1997. Los contenidos de calcio en el grano son mayores en la cosecha de 1997. Las diferencias entre cosechas son mayores que entre tratamientos para una misma cosecha, lo que viene a indicar la debilidad o poca fuerza de las posibles sinergias indicadas.

Gráfico VF37: Contenidos de calcio en semilla según los tratamientos (cebada 93 y 97).





Para el **magnesio**, coinciden perfectamente los resultados del estudio estadístico realizado con los datos analíticos obtenidos en la cosecha de 1993 y 1997; no hay ninguna diferencia significativa entre tratamientos.

En el **cobre**, salvo una excepción que, dada su magnitud, se puede atribuir a un error analítico, no existen diferencias significativas entre tratamientos.

En el caso del **cinc**, prácticamente se obtienen los mismos resultados que en el caso anterior.

Para el **hierro**, se repiten los comportamientos anteriores en cuanto a tratamientos:

- Ausencia de diferencias significativas en la cosecha de 1997.
- En 1993 diferencias significativas entre el tratamiento T-5 y los tratamientos T-3 y T-4 (el primero proporciona la menor concentración de hierro en grano y los segundo y tercero, las máximas).

En el **manganeso** no coinciden los resultados obtenidos en 1993 con los registrados en 1997:

- En 1993, la mínima concentración de manganeso en grano corresponde al tratamiento T-5 y en 1997 al tratamiento T-2.
- En 1993, la máxima concentración de manganeso en planta se corresponde al tratamiento T-3 y en 1997 al tratamiento T-5.
- Sin embargo, las diferencias entre los valores máximo y mínimo son, tanto en 1993 como en 1997, significativas.

Las diferencias entre tratamientos en lo que se refiere a la concentración de **sodio** en el grano prácticamente carecen de significación, desde el punto de vista estadístico, si bien se observan claras similitudes en los comportamientos del sodio en las cosechas de 1993 y 1997.

Unas veces de forma significativa y otras no significativa, desde el punto de vista estadístico, las mínimas concentraciones de sodio en planta corresponden a los tratamientos T-1 y T-5 y las máximas a los tratamientos T-3 y T-4. De alguna manera, el uso conjunto de purines y nitrato de amonio acrecienta la presencia de sodio en el grano de cereal, aunque la magnitud de este fenómeno no siempre es importante desde el punto de vista estadístico.

Los **rendimientos** obtenidos en las cosechas de 1993 y 1997, coinciden en buena medida, a pesar de las diferentes condiciones climáticas.

- Tanto en 1993 como en 1997 la máxima producción tuvo lugar en las parcelas que recibieron el tratamiento T-4, no existiendo diferencia significativa, en 1993, entre esta producción y la obtenida en las parcelas que recibieron el tratamiento T-3.
- En los dos años el mínimo rendimiento correspondió a las parcelas a las que se aplicó el sistema de fertilización T-5, seguido del T-1, si bien en 1993 la diferencia entre estas parcelas es significativa y en 1997 no lo es.

En la tabla VF71 se muestra el aumento del rendimiento, durante los dos años del cultivo de cebada, en las parcelas tratadas con purín respecto a las que han recibido exclusivamente fertilizante mineral (T-5) junto con el rendimiento medio de los dos años de cultivo (véase también gráfico VF38).

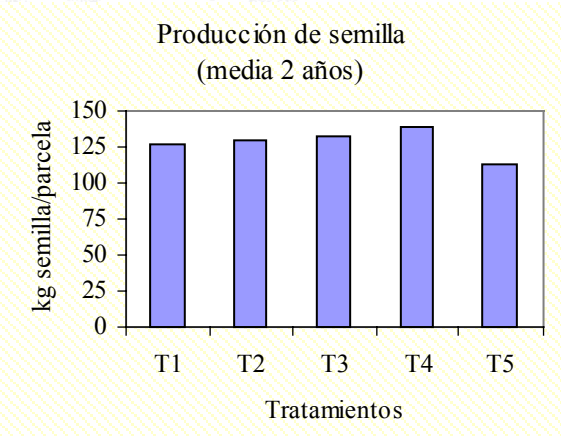
Tabla VF71: Incremento de los rendimientos, respecto al menor, en el cultivo de cebada

Tratamiento	Incremento de la producción (%)		Años 93 y 97	
	Cebada 93	Cebada 97	Incremento medio	Producción media
T-1	15,2	10,1	13,4	127 a
T-2	16,9	11,8	15,2	129 a
T-3	21,5	5,4	17,9	132 a
T-4	24,3	23,7	24,1	139 a
T-5	-	-	-	112 a

Se observa un cierto paralelelismo entre rendimientos y contenidos en macro y micronutrientes en planta, en el sentido de que las máximas concentraciones del elemento y los mayores rendimientos se obtienen, en la mayoría de los casos, para el tratamiento T-4, y los mínimos para el T-5 (mineral).

Considerando globalmente los dos años, el estudio estadístico de las producciones obtenidas en las distintas parcelas no muestra diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, en 1993 el rendimiento del tratamiento T-4 fue un 24,3% superior al T-5 (fertilización exclusivamente mineral) y en 1997, un 23,7%.

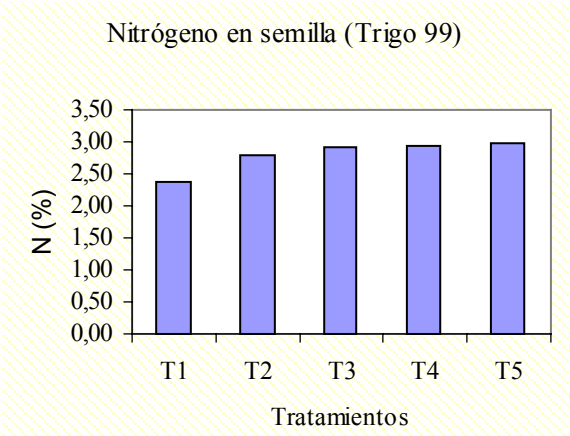
Gráfico VF38: Producción media de semilla en los dos años de cultivo de cebada (93 y 97).



B) Cultivo de trigo

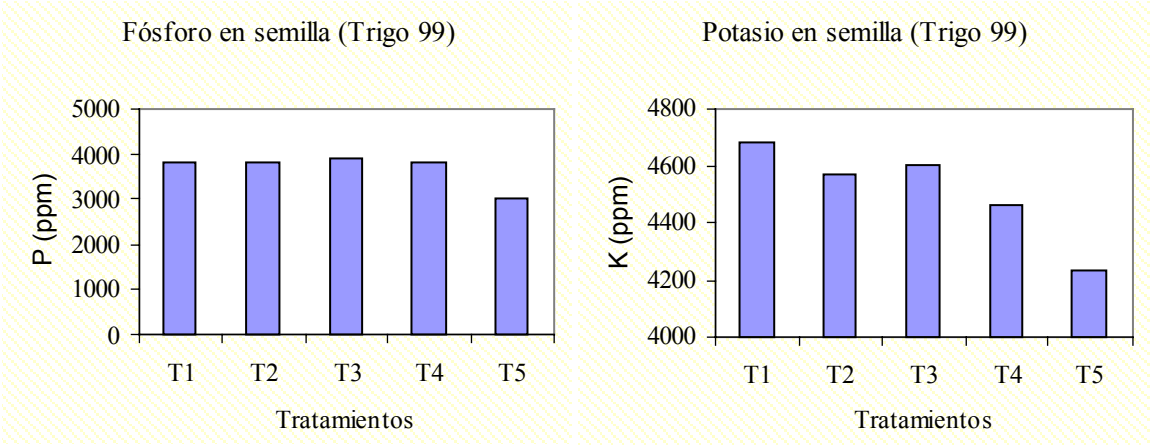
El contenido de **nitrógeno** en grano es máximo para el tratamiento T-5, seguido de los contenidos en T-4 y T-3, no siendo significativa ninguna de las diferencias entre estos tratamientos. Esa concentración es mínima para el tratamiento T-1; las diferencias entre éste y el resto de los tratamientos es significativa (véase gráfico VF39).

Gráfico VF39: Contenidos de nitrógeno en semilla según los tratamientos (trigo 99).



No se observan diferencias significativas entre las concentraciones de **fósforo y potasio** en el grano correspondiente a las plantas que recibieron los tratamientos T-1, T-2, T-3 y T-4. La mínima concentración de fósforo y también de potasio en grano corresponde al tratamiento T-5 (véase gráfico VF40). (En más de una ocasión se ha hecho referencia a la menor cantidad de fósforo aplicada al suelo cuando se lleva a cabo una fertilización exclusivamente mineral).

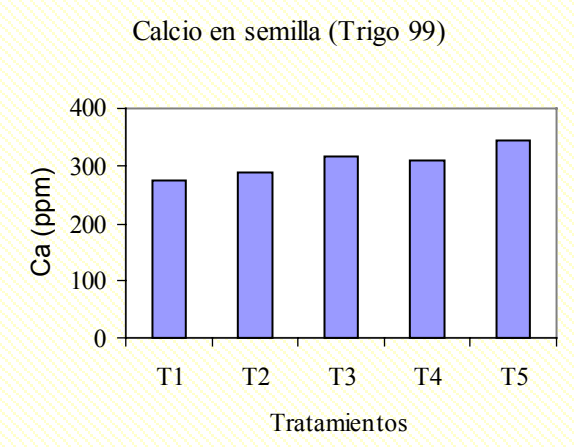
Gráfico VF40: Contenidos de fósforo y potasio en semilla (trigo 99).



La situación es distinta en el caso del **calcio**. La mínima concentración de calcio en el grano corresponde a los tratamientos T-1 y T-2, entre los que las diferencias existentes no son significativas. Por otra parte, el máximo contenido de potasio en el grano se encuentra en las plantas que recibieron el tratamiento T-5; el contenido encontrado para este tratamiento se diferencia significativamente del encontrado para el resto de los tratamientos

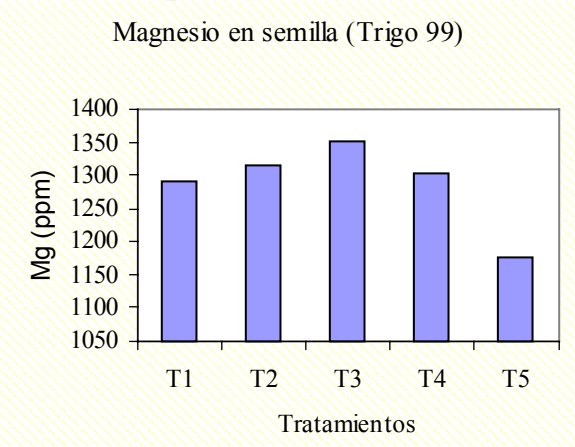
(véase gráfico VF41). En apariencia, no existe relación entre el contenido de calcio en el material vegetal y en el grano.

Gráfico VF41: Contenidos de calcio en semilla (trigo 99).



Casi a la inversa que en el caso de calcio, la mínima concentración de **magnesio** en grano corresponde al tratamiento T-5 (igual que sucedía para las concentraciones de magnesio en planta). El valor de esta concentración se diferencia significativamente de los valores encontrados para el resto de los tratamientos, entre los que ninguna diferencia es significativa (véase gráfico VF42).

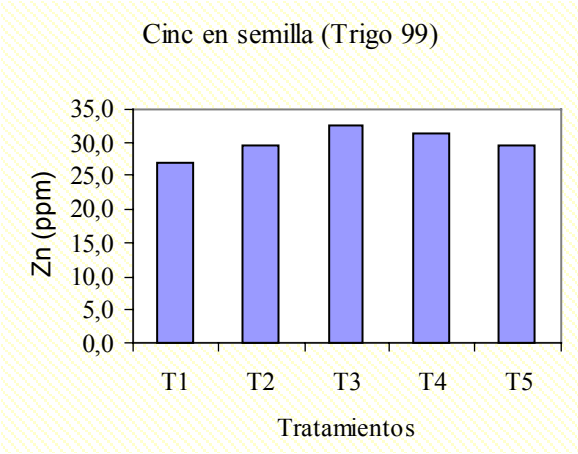
Gráfico VF42: Contenidos de magnesio en semilla (trigo 99).



Las concentraciones de **cobre**, **hierro** y **sodio** en el grano de trigo no están influidas por la sustitución de la fertilización nitrogenada exclusivamente mineral por una a base de purines o diferentes combinaciones de purines y mineral.

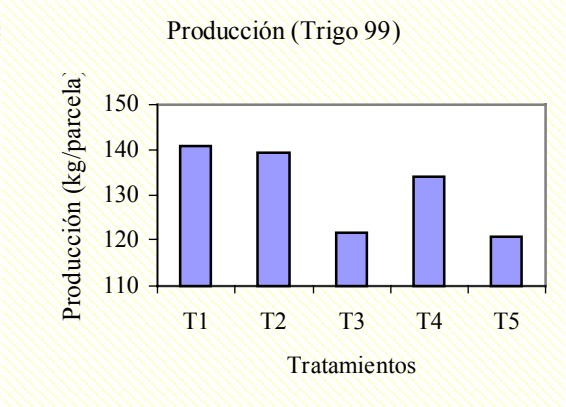
Las máximas concentraciones de **cinc** en el grano se dan en los tratamientos T-3, T-4, T-5 y T-2 (orden decreciente), entre los cuales no hay diferencias significativas. La mínima concentración de cinc corresponde a T-1, si bien esta concentración sólo se diferencia significativamente de las correspondientes a los tratamientos T-3 y T-4 (véase gráfico VF43).

Gráfico VF43: Contenidos de cinc en semilla (trigo 99).



Los máximos **rendimientos** se obtienen con los tratamientos T-1 y T-2, 17,5% y 15,8% superiores respectivamente a T-5 (fertilización exclusivamente mineral) y sin diferencias significativas entre ellos. Las diferencias entre producciones de grano de trigo obtenidas con los distintos tratamientos ensayados se muestran en el gráfico VF44.

Gráfico VF44: Producción de semilla (trigo 99).



4.2.6. INFLUENCIA SOBRE LOS CONTENIDOS DE NUTRIENTES EN EL SUELO

4.2.6.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELO

Los resultados del análisis de suelo, para cada una de las tomas efectuadas, aparecen reflejados en las tablas comprendidas entre AP3.1 y AP3.23 (Apéndice 3). Como se ha comentado en el apartado 4.2.2. "Protocolo del ensayo", durante los dos primeros años las muestras se tomaron con una cierta frecuencia: todos los meses el primer año (1992) y cada dos meses el segundo (1993). Posteriormente, el suelo se ha muestreado antes de aplicar el purín y después de la cosecha del cultivo.

4.2.6.2. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

A) Resultados del tratamiento estadístico

Tabla VF72: Resultados del análisis de la varianza en suelos para los tratamientos y las repeticiones.

Tratamien	Repetición	Tratamien	Repetición	Tratamien	Repetición	Tratamien	Repetición	Tratamien	Repetición
CE (mS cm^{-1})		**pH**		**Mo_{ox} (%)**		**CCC (meq/100 g)**			
0,103 ab	0,100 a	5,57 a	5,80 a	0,674 a	0,556 a	7,61 a	6,74 a		
0,111 b	0,101 a	5,67 b	5,61 b	0,670 a	0,582 b	8,02 a	7,03 a		
0,115 bc	0,115 b	5,63 ab	5,55 bc	0,666 a	0,772 c	7,59 a	8,40 b		
0,126 c	0,126 b	5,63 ab	5,52 c	0,683 a	0,737 d	8,02 a	9,04 c		
0,098 a		5,61 ab		0,617 b		7,77 a			
N (%)		**P (ppm)**		**K (ppm)**		**Ca (meq/100 g)**		**Mg (meq/100 g)**	
0,055 a	0,048 a	48,5 ab	46,8 ab	106,0 ab	89,0 a	2,13 a	1,79 a	0,66 a	0,52 a
0,056 ab	0,050 a	46,7 a	44,8 bc	106,1 ab	105,5 b	2,35 bc	1,72 a	0,73 b	0,56 b
0,057 ab	0,063 c	47,3 ab	47,2 a	107,9 a	110,8 c	2,21 ab	2,81 b	0,69 a	0,86 c
0,058 ab	0,060 b	49,1 b	44,1 c	106,8 ab	118,8 d	2,49 c	2,92 b	0,75 b	0,93 d
0,051 c		37,1 c		103,3 b		2,36 bc		0,76 b	
Cu (ppm)		**Zn (ppm)**		**Fe (ppm)**		**Mn (ppm)**		**Na (meq/100 g)**	
1,16 a	1,03 a	1,77 a	1,67 a	76,8 a	68,2 a	18,9 ab	17,1 a	0,076 a	0,077 ab
1,10 a	0,89 b	1,51 a	1,05 b	75,5 a	78,8 b	18,3 ab	14,2 b	0,087 b	0,076 a
1,05 a	1,17 c	1,73 a	1,70 a	75,6 a	79,4 c	19,1 ab	21,1 c	0,081 ab	0,085 bc
1,18 a	1,23 c	1,66 a	1,79 a	77,3 a	80,6 c	18,2 a	22,7 d	0,086 b	0,086 c
0,92 a		1,08 a		77,3 a		19,3 b		0,075 a	

B) Discusión de los resultados

Los análisis de suelos realizados antes de la aplicación de purines y después de la cosecha, tanto de girasol como de cebada, han puesto de manifiesto que los purines de ganado porcino no ejercen modificaciones importantes, aunque si puntuales, sobre la fertilidad del suelo, tal y como veremos a continuación.

<u>Nitrógeno</u>

Como era de esperar, la diferencia entre tratamientos es clara; el nitrógeno del suelo presenta mayores valores en las parcelas que han sido abonadas con purín y suplemento de fertilizante mineral y este aumento es más acusado a medida que aumenta la dosis de nitrógeno mineral aportada al suelo. El sistema de fertilización que conduce a un mayor contenido de nitrógeno en el suelo es el T-4, no observándose diferencias significativas entre estas parcelas y aquellas en las que se aplicaron los tratamientos T-2 y T-3 (véase tabla VF72).

Los menores contenidos de nitrógeno corresponden a las parcelas que han recibido el tratamiento T-5 (exclusivamente fertilización mineral), presentando diferencias significativas con el resto de tratamientos.

Se observan también diferencias entre repeticiones. Las parcelas correspondientes a las repeticiones 3 y 4 presentan valores superiores a las 1 y 2, entre las que no existen diferencias significativas.

El estudio sobre las variaciones en los contenidos de nitrógeno total del suelo por los distintos tratamientos para cada una de las repeticiones ensayadas, se refleja en la tabla VF73, en la que podemos observar únicamente diferencias significativas en las repeticiones 2 y 3. En la primera de ellas, el tratamiento que proporciona mayor contenido de nitrógeno en el suelo es el T-2, diferente de T-1 y T-5, sin embargo, en la repetición 3, el tratamiento T-4 es superior y diferente significativamente al T-1, T-2 y T-5. Es de destacar que, a pesar de no existir siempre diferencias con significación estadística, el tratamiento T-5 siempre aporta los menores contenidos de nitrógeno en el suelo.

Tabla VF73: Influencia de las repeticiones en los contenidos de nitrógeno según tratamientos.

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
T-1	0,050 a	0,047 a	0,062 a	0,059 a
T-2	0,047 a	0,056 b	0,061 a	0,062 a
T-3	0,050 a	0,049 ab	0,066 ab	0,061 a
T-4	0,048 a	0,052 ab	0,071 b	0,061 a
T-5	0,046 a	0,045 a	0,058 a	0,056 a

En cuanto a las diferencias entre las distintas tomas de muestra, cabe destacar que:

- No se aprecian diferencias significativas entre las muestras pertenecientes a un mismo ciclo de cultivo y que, por lo general, pertenecen al momento anterior a la aplicación de purín y posterior a la cosecha.
- Las diferencias son algo mayores entre muestras distanciadas, observándose una ligera disminución del contenido de nitrógeno en el suelo si se compara el inicio y el final de la experiencia.

Un estudio más detallado en cada una de las muestras de suelo recogidas durante el desarrollo de la experiencia, permite comprobar la influencia de los distintos tratamientos ensayados sobre el contenido de nitrógeno del suelo. En la tabla VF741 se reflejan los resultados de este estudio, del que cabe destacar la ausencia de diferencias significativas destacables entre los tratamientos al finalizar el ciclo de cada cultivo (casillas sombreadas).

Tabla VF74: Análisis de varianza para el nitrógeno total en las muestras de suelo.

Tratamient	Repetición	Tratamient	Repetición	Tratamient	Repetición	Tratamient	Repetición	Tratamient	Repetición
Muestra 1		**Muestra 2**		**Muestra 3**		**Muestra 4**		**Muestra 5**	
0,059 ab	0,052 a	0,077 a	0,058 a	0,058 a	0,059 a	0,064 a	0,063 a	0,066 ab	0,049 a
0,070 a	0,063 ab	0,059 b	0,061 a	0,061 a	0,060 a	0,061 a	0,059 a	0,059 ab	0,060 a
0,073 a	0,073 b	0,063 b	0,091 b	0,057 a	0,063 a	0,062 a	0,068 a	0,073 a	0,064 ab
0,065 ab	0,061 ab	0,076 a	0,059 a	0,066 a	0,060 a	0,075 a	0,074 a	0,059 ab	0,075 b
0,043 b		0,061 b		0,059 a		0,065 a		0,052 b	
Muestra 6		**Muestra 7**		**Muestra 8**		**Muestra 9**		**Muestra 10**	
0,055 a	0,052 a	0,057 ab	0,058 a	0,068 a	0,058 a	0,070 a	0,070 a	0,048 a	0,040 a
0,059 a	0,049 a	0,068 a	0,059 a	0,066 a	0,060 a	0,072 a	0,065 a	0,053 a	0,048 ab
0,067 a	0,063 a	0,059 ab	0,068 a	0,070 a	0,076 b	0,074 a	0,068 a	0,040 a	0,052 b
0,049 a	0,063 a	0,069 a	0,060 a	0,059 a	0,068 ab	0,068 a	0,082 a	0,050 a	-
0,054 a		0,053 b		0,063 a		0,071 a		0,043 a	
Muestra 11		**Muestra 12**		**Muestra 13**		**Muestra 14**		**Muestra 15**	
0,057 a	0,040 a	0,062 a	0,054 a	0,055 a	0,050 a	0,054 a	0,048 a	0,054 a	0,046 a
0,055 a	0,050 a	0,060 a	0,060 a	0,060 ab	0,060 a	0,053 ab	0,052 ab	0,053 ab	0,042 a
0,060 a	0,066 b	0,057 a	0,060 a	0,057 ab	0,057 a	0,051 ab	0,060 ab	0,051 ab	0,056 b
0,057 a	0,070 b	0,057 a	0,060 a	0,062 b	0,057 a	0,052 ab	0,064 b	0,052 ab	0,063 c
0,052 a		0,055 a		0,057 ab	0,055 a	0,048 b		0,048 b	
Muestra 16		**Muestra 17**		**Muestra 18**		**Muestra 19**		**Muestra 20**	
0,041 a	0,036 a	0,040 a	0,033 a	0,046 a	0,041 a	0,051 ab	0,048 a	0,048 ab	0,042 a
0,040 ab	0,032 a	0,040 a	0,037 a	0,046 a	0,037 a	0,054 ab	0,046 a	0,050 bc	0,042 a
0,044 a	0,051 b	0,039 a	0,051 b	0,046 a	0,055 b	0,056 ab	0,061 b	0,052 bc	0,056 b
0,046 a	0,046 b	0 046 a	0,047 b	0,054 b	0,054 b	0,057 a	0,060 b	0,055 c	0,059 b
0,033 b		0,044 a		0,041 a		0,049 b		0,044 b	
Muestra 21		**Muestra 22**		**Muestra 23**					
0,043 a	0,037 a	0,039 ab	0,036 a	0,047 a	0,046 a				
0,045 a	0,039 a	0,049 c	0,043 ab	0,050 a	0,032 b				
0,045 a	0,055 c	0,047 bc	0,047 b	0,045 a	0,058 a				
0,049 a	0,049 b	0,055 c	0,057 c	0,047 a	0,052 a				
0,043 a		0,038 a		0,045 a					

Fósforo

Los resultados obtenidos para el contenido de fósforo asimilable del suelo muestran una clara diferencia entre las parcelas que han recibido tratamiento fertilizante mineral T-5 y las que han recibido purín.

A este respecto hay que tener en cuenta que al calcular la dosis de purín a partir de las necesidades de nitrógeno del cultivo se añade más fósforo del necesario.

Sin embargo, se aprecian diferencias significativas entre las parcelas que han sido abonadas con purín y que, por lo tanto, al menos teóricamente, han recibido la misma cantidad de fósforo total. El mayor contenido de fósforo asimilable del suelo corresponde a las parcelas T-4, y el menor a T-2, existiendo diferencias significativas entre ellas.

Igual que en el caso del nitrógeno, se aprecian diferencias significativas entre las repeticiones. Corresponde el mayor contenido de fósforo a las parcelas comprendidas en la repetición 3, diferentes de las repeticiones 2 y 4.

En cuanto a los contenidos medios de fósforo en las distintas tomas de muestra realizadas, vuelve a repetirse el hecho de ausencia de diferencias significativas entre las muestras que comprenden un mismo ciclo de cultivo. Sin embargo, al comparar los contenidos de fósforo asimilable en el suelo al inicio de la experiencia con el contenido que presenta el suelo después de siete años, la tendencia es de un progresivo aumento. Es

evidente que el uso del purín de ganado porcino rico en fósforo aumenta las reservas de fósforo del suelo.

Se observan también disminuciones del contenido de fósforo asimilable en los momentos de máxima absorción por el cultivo y tras la cosecha. Después de las aplicaciones de purín, se producen aumentos puntuales.

Potasio

Sobre la concentración de potasio asimilable en el suelo se observan de nuevo diferencias significativas entre las parcelas (repeticiones), presentando el mayor valor las parcelas correspondientes a la repetición 4, y el menor las parcelas de la repetición 1; un valor intermedio corresponde a las parcelas de las repeticiones 2 y 3, todas ellas diferentes unas de otras.

En cuanto a la influencia de los sistemas de fertilización ensayados sobre los contenidos de potasio asimilable en el suelo, se observa la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, la menor concentración de potasio asimilable corresponde a los suelos que han recibido exclusivamente fertilización mineral (T-5).

En lo que se refiere a las diferencias entre las muestras tomadas en distintos momentos, se observa un aumento del contenido de potasio asimilable en el suelo después de aplicar el purín, y una disminución importante después de retirar el cultivo; sin embargo, la comparación de muestras tomadas antes de aplicar el purín y después de recoger la cosecha, no refleja diferencias significativas.

Al contrario de lo que se ha puesto de manifiesto en el caso del nitrógeno y el fósforo, no se observa una tendencia clara de aumento o descenso del potasio asimilable del suelo tras los años que ha durado la experiencia.

Calcio

El efecto que el tipo de fertilización ejerce sobre las concentraciones de calcio en el suelo está influído por diferencias significativas entre repeticiones. El estudio estadístico muestra que las repeticiones 3 y 4 son las que proporcionan las máximas concentraciones de calcio cambiable en el suelo. En consecuencia, se puede afirmar que las diferencias observadas entre tratamientos carecen de importancia.

En relación con las diferencias observadas en las distintas tomas de muestra se repiten los mismos resultados comentados con el resto de elementos, y que pueden resumirse en:

- aumento puntual del contenido de calcio en las muestras de suelo inmediatamente posteriores a la aplicación de purín,
- descenso posterior por absorción de la planta (la frecuencia de muestras tomadas durante los dos primeros años de experiencia ha permitido constatar este hecho) y
- recuperación final de los niveles iniciales, de forma que la comparación de los contenidos de calcio en el suelo, en los muestreos efectuados antes y después de la cosecha, permite constatar la ausencia de diferencias significativas.

Magnesio

Igual que en el caso anterior, se han observado diferencias significativas entre repeticiones, en lo que se refiere al contenido de magnesio cambiable del suelo. La concentración máxima se encuentra en las repeticiones 3 y 4 y las mínimas en las parcelas comprendidas en las repeticiones 1 y 2, todas diferentes.

Las diferencias encontradas entre todas las repeticiones, no permiten afirmar que existan diferencias en los contenidos de magnesio cambiable del suelo para los distintos tratamientos.

Finalmente, la evolución del contenido de magnesio cambiable del suelo a lo largo del desarrollo de la experiencia, sigue la misma pauta observada con el calcio, presentando aumentos puntuales tras las aplicaciones de purín, descensos por absorción de la planta y niveles finales similares a los iniciales. Además, no se detecta ninguna acumulación ni descenso progresivo en el suelo.

Sodio

La única diferencia significativa observada en los contenidos de sodio cambiable en el suelo, se produce entre las parcelas que han recibido un tratamiento de sólo purín (T-1) o sólo fertilizante mineral (T-5) y las que combinan purín y fertilización mineral, éste último en proporciones de nitrógeno del 25 por ciento (T-2) y del 75 por ciento (T-4), correspondiendo a éstas últimas el contenido máximo.

Al contrario del resto de elementos analizados, no se detectan diferencias significativas entre las repeticiones. Además, los picos de aumento del contenido de sodio en el suelo se compensan posteriormente volviendo a los niveles iniciales.

Cobre, cinc, hierro y manganeso

Cobre y **cinc** se comportan de manera similar: los mayores contenidos corresponden a las parcelas que han sido fertilizadas con purín sin diferencias significativas respecto a las que sólo han recibido fertilización mineral.

Las repeticiones también se comportan de forma diferente: mayores contenidos en las repeticiones 1, 3 y 4 respecto a la 2, la cual presenta niveles significativamente más bajos en cobre y cinc.

La evolución de estos elementos en el suelo tampoco presenta una tendencia acumulativa: los aumentos son puntuales y los contenidos del suelo después de la cosecha no presentan diferencias con los anteriores a la aplicación del purín.

Por lo que respecta al **hierro** y **manganeso**, no se observa ninguna diferencia significativa entre las parcelas que reciben distinto tratamiento. Sin embargo, en el caso del hierro, se aprecian diferencias entre repeticiones; el valor mínimo corresponde a las parcelas incluidas en la repetición 1.

Tampoco se detectan acumulaciones ni pérdidas de ambos elementos durante el período de seguimiento de la experiencia.

Conductividad y pH

La única diferencia de pH entre las parcelas que han recibido distintos sistemas de fertilización se presenta en los tratamientos T-1 y T-2: ambos corresponden a los valores extremos encontrados y, entre ellos, sólo difieren en una décima. Por tanto, es posible concluir que la adición continuada de purines de ganado porcino en dosis agronómicas, no provoca acidificación del suelo, tal y como sostienen algunos autores.

En cuanto a los valores medios de las distintas repeticiones, se observa una mayor acidez en las parcelas englobadas en las repeticiones 3 y 4, lo que puede favorecer la solubilización de los oligoelementos estudiados anteriormente y que, además, concuerda con el contenido superior encontrado para dichos oligoelementos en las repeticiones mencionadas.

En el caso de la conductividad, relacionada a su vez con la salinidad del suelo, se observan valores superiores en las parcelas que han recibido tratamientos con aplicaciones de purín, aunque únicamente las diferencias son significativas entre las parcelas a las que se ha aplicado fertilización exclusivamente mineral (T-5) y las que combinan purín y fertilizante mineral, este último en proporción del 50 y el 75% del nitrógeno necesario para el cultivo (T-3 y T-4). Sin embargo, de nuevo aparecen diferencias entre repeticiones.

En efecto: los valores medios de conductividad entre las parcelas incluidas en un mismo bloque (repetición), evidencian diferencias con los otros bloques. Las repeticiones 1 y 2, entre las que no existen diferencias significativas, presentan valores menores que las repeticiones 3 y 4. Este hecho concuerda con los mayores niveles de cationes obtenidos en estas mismas repeticiones.

Por último, cabe mencionar que no se ha observado una variación significativa del pH y la conductividad a lo largo de la experiencia que pueda considerarse importante, y sobre todo, causada por la aplicación de purines en los sistemas de fertilización.

Materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico

Ambas variables se estudian conjuntamente por su incidencia directa sobre el complejo de cambio y, por tanto, también sobre la reserva de nutrientes del suelo.

En el caso del contenido en **materia orgánica oxidable** del suelo, la influencia de los tratamientos aplicados es clara; las parcelas que han sido fertilizadas con mineral solamente, presentan valores significativamente más bajos que las que han recibido purín, entre las que no se presentan diferencias.

Como en la mayor parte de los casos considerados, vuelven a apreciarse diferencias entre todas las repeticiones, y también, como viene siendo habitual, las repeticiones 3 y 4 presentan los mayores valores. Probablemente la causa sea debida a una deficiente homogeneización del purín contenido en la fosa antes de proceder a su aplicación.

Tampoco se observan variaciones importantes a lo largo de estos años de experiencia; los contenidos en materia orgánica del suelo no se modifican significativamente por las aplicaciones de purín. Este hecho concuerda con que el purín de ganado porcino no debe ser considerado como una enmienda orgánica.

Estas diferencias observadas en los contenidos de materia orgánica de las parcelas a las que se ha aplicado purín, no se corresponden con diferencias en la **capacidad de intercambio catiónico**, donde la influencia de los tratamientos es mínima y no da lugar a diferencias significativas. Sin embargo, vuelven a mostrarse diferencias entre repeticiones: está claro que las parcelas incluidas en las repeticiones 3 y 4, para las que los valores de capacidad de intercambio catiónico son más elevados, han recibido mayor cantidad de materia orgánica y por tanto, también, de todos aquellos nutrientes que van asociados a ella.

Por último, señalar que los valores de capacidad de intercambio catiónico del suelo se mantienen sin variaciones significativas a lo largo de la experiencia, aunque con altibajos comentados en diversas ocasiones para el resto de variables, es decir, aumentos tras la aplicación de purín y disminución hasta niveles anteriores en la muestra de suelo tomada tras la cosecha del cultivo.

En definitiva, la aplicación continuada de purines en dosis agronómicas no ejerce ningún efecto sobre el suelo distinto del que ejercen los fertilizantes minerales. Los purines deben ser vistos como fertilizantes nitrogenados y fosfatados, cuya composición hay que conocer lo mejor posible para poder ser incluidos en un plan de fertilización al mismo nivel que cualquier otro fertilizante.

4.3 BASES PARA EL DISEÑO DE UN ÓPTIMO PLAN DE FERTILIZACIÓN

Siguiendo las costumbres de la zona donde se realiza la experiencia de campo (aplicación del purín en otoño tras recoger la cosecha anterior), y habiendo diseñado un sistema de aplicación de purín al suelo en trayectoria baja y posterior enterramiento con una labor superficial, los mejores resultados en cuanto a rendimientos de los cultivos ensayados se obtienen estableciendo un plan de fertilización que, partiendo de la producción que se prevee obtener, y teniendo en cuenta las condiciones de suelo y clima habituales y las exigencias del cultivo, añadir la cantidad de purín de ganado porcino necesara para cubrir las necesidades de nitrógeno de la planta.

El purín contiene un exceso de fósforo y por tanto, no será necesario ningún complemento de fertilizante mineral. Por el contrario, los contenidos de potasio del purín no serán suficientes para cubrir las necesidades del cultivo y se precisará un complemento de fertilizante mineral potásico.

El nitrógeno contenido en el purín no ha mostrado la misma eficacia para todos los cultivos y, por tanto, será necesario añadir una cantidad de fertilizante mineral nitrogenado según el siguiente plan:

- Para el cultivo de girasol, una dosis equivalente al 25 por ciento de la cantidad de nitrógeno necesaria para cubrir las necesidades del cultivo.

- Para el cultivo de cebada, una dosis equivalente al 75 por ciento de la cantidad de nitrógeno necesaria para cubrir las necesidades del cultivo.

- Para el cultivo de trigo, será suficiente con el nitrógeno contenido en el purín o bien añadir una dosis de fertilizante mineral equivalente al 25 por ciento de la cantidad de nitrógeno necesaria para cubrir las necesidades del cultivo.

En el plan de fertilización anterior no se ha considerado la utilización del nitrógeno residual del purín para el cultivo siguiente, puesto que el análisis de suelo realizado tras la cosecha no muestra un aumento del contenido de nitrógeno, respecto al que poseía antes de la aplicación, en las parcelas que solo han recibido purín. En suelos con textura arenosa el nitrógeno aplicado que no es aprovechado el cultivo se pierde.

Teniendo en cuenta la conveniencia de fraccionar la fertilización nitrogenada de los cereales en dos partes, el complemento de fertilizante mineral debería añadirse a la salida del invierno.

Ahora bien, de acuerdo con la mayoría de los autores, ANON (1976); VETTER y STEFFENS (1979); LECOMTE (1979); SMITH y col. (1984); DESTAIN y col. (1984) y LIMBOURG y col. (1986), la aplicación del purín en otoño posee una efectividad diferente según el tipo de suelo, pero en todos los casos es muy baja para los requerimientos del cultivo en primavera. Por tanto, si la aplicación se realizara en primavera, seguramente podrían reducirse las dosis complementarias de fertilizante mineral nitrogenado al conseguirse una mayor eficacia del nitrógeno contenido en el purín y en consecuencia, unos ahorros importantes de fertilizante mineral.

Además, aunque el sistema diseñado para la aplicación del purín consigue disminuir las pérdidas de nitrógeno con respecto al sistema de proyección, la inyección poco profunda del purín mejorará el aprovechamiento del nitrógeno por parte del cultivo, BALSARI y col. (1998), y permitirá un ahorro suplementario de fertilizante mineral.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

I. Relacionadas con la caracterización del purín de ganado porcino.

1. El purín de ganado porcino tiene interesantes cantidades de elementos fertilizantes: nitrógeno y fósforo, fundamentalmente.

2. La relación entre los elementos nutrientes principales (N, P_2O_5, K_2O) se mantiene constante en el total de muestras y en los tres tipos de explotación, cuando se refieren al purín tal como sale de la explotación.

3. La división de las explotaciones en tres categorías (maternidad, ciclo cerrado y engorde) queda avalada por el análisis cluster.

4. Se ha observado la existencia de una correlación positiva entre la densidad y los contenidos en materia seca, cenizas y materia orgánica.

5. También existe una buena correlación entre los contenidos en materia seca y las concentraciones de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y la mayor parte de iones metálicos.

6. En consonancia con lo anterior, es posible establecer la forma de determinar, con una razonable exactitud, la concentración de nitrógeno y fósforo en un purín de ganado porcino midiendo su densidad.

7. Se observa que las concentraciones de nitrógeno amoniacal e ión potasio están correctamente correlacionadas con la conductividad del purín.

8. Un análisis de factores lleva a la conclusión de que los contenidos en elementos fertilizantes de los purines podrían determinarse a partir del conocimiento de la densidad, conductividad y pH. No obstante, la exactitud que proporciona la utilización de los correspondientes aparatos de medida no mejora sustancialmente los resultados obtenidos mediante la utilización de sólo el densímetro. Por ello, desde el punto de vista de la inclusión de los purines en un plan de fertilización, serían suficientes los datos sobre nitrógeno y fósforo que proporciona el densímetro, aparato robusto de fácil uso para el agricultor.

II. Correspondientes a las experiencias de campo.

1. En el caso de girasol, la máxima producción en kg de semilla y en kg de grasa por unidad de superficie se obtiene en las parcelas que han recibido el tratamiento T-2 (purín y una dosis de fertilizante mineral). En este caso, el incremento medio de peso de grano (kg) por hectárea, respecto a la producción, empleando una fertilización exclusivamente mineral es del 13,4% y en producción de grasa 14,9% (incremento medio en 4 años de experiencia)

   Los análisis foliares, realizados en distintos estadios de la planta, indican ausencia de deficiencias de cualquier elemento fertilizante a lo largo del desarrollo del cultivo.

2. Para la cebada se observa un cierto paralelismo entre rendimientos y contenidos en macro y micronutrientes en planta; las máximas concentraciones de los elementos y los máximos rendimientos se obtienen con el tratamiento T-4 (purín y tres dosis de fertilizante mineral) y los mínimos con el T-5 (fertilización mineral exclusivamente). El incremento medio obtenido en la producción de grano ha sido un 23,4% superior con el tratamiento T-4 respecto al T-5.

   Igual que en el caso del girasol, los análisis foliares no señalan diferencias entre el sistema de fertilización a base de fertilizantes minerales y cualquier combinación mineral-purín.

3. Los resultados son ligeramente diferentes en el caso del trigo: los máximos rendimientos se obtienen con los tratamientos T-1 y T-2, cuyos rendimientos son superiores, con relación al T-5, en un 17,5% y 15,8% respectivamente.

4. De cara a diseñar un óptimo plan de fertilización en el que se incluyen los purines, según los resultados anteriores se aconseja:

- Para el girasol, una cantidad de purín que contenga el nitrógeno que la planta necesita completada con un 25 por ciento de nitrógeno en forma de fertilizante mineral, nada de fósforo y la cantidad de potasio en forma mineral necesaria para completar la aportada por el purín.

- Para la cebada, una cantidad de purín que contenga el nitrógeno que la planta necesita completada con un 75 por ciento de nitrógeno en forma de fertilizante mineral, nada de fósforo y la cantidad de potasio en forma mineral necesaria para completar la aportada por el purín.

- Para el trigo será sufiente con añadir el nitrógeno necesario por la planta en forma de purín o, en todo caso completado con con un 25 por ciento de nitrógeno en forma de fertilizante mineral, nada de fósforo y la cantidad de potasio en forma mineral necesaria para completar la aportada por el purín.

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

6. RESUMEN

6. RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivos principales:

1. Primer objetivo: estudiar la composición del purín de ganado porcino procedente de 83 explotaciones de la región castellano-leonesa y establecer las relaciones entre los parámetros de composición de este material; estas relaciones permitirán disponer de un método rápido de determinación del valor fertilizante del purín, antes de su aplicación al campo, mediante la utilización por parte del agricultor de aparatos de manejo sencillo.

Se han recogido 151 muestras clasificadas en tres tipos de unidades de producción: maternidad, ciclo cerrado y engorde. El análisis Cluster realizado a la totalidad de las muestras analizadas, muestra su agrupamiento en clases. Las tres clases mayoritarias obtenidas coinciden casi totalmente con la división efectuada inicialmente (maternidad, ciclo cerrado y engorde), avalando la hipótesis inicial.

Se ha observado que las explotaciones de ciclo cerrado presentan valores intermedios entre las de maternidad y engorde para la mayoría de los parámetros de composición analizados.

La medida de la densidad permite disponer de un método rápido para obtener el valor fertilizante del purín, por correlacionarse bien con los contenidos de nitrógeno y fósforo totales. Para otros parámetros (nitrógeno amoniacal y potasio), también importantes y no bien correlacionados con la densidad, se intentan otro tipo de medidas relativamente fáciles (conductividad y pH) obtenidas a partir del análisis de componentes principales. La utilización de tres variables (densidad, conductividad y pH) mejora sensiblemente las correlaciones con el resto de parámetros de composición del purín de ganado porcino, pero el manejo de tres aparatos distintos por el agricultor dificulta su utilización, aunque sería muy útil de cara a una automatización con sensores.

2. Segundo objetivo: determinar la combinación purín-fertilizante mineral nitrogenado que puede conducir a los mejores rendimientos del cultivo, realizando una experiencia de campo, durante siete años, en una parcela situada en la provincia de Segovia.

Se han ensayado tres tipos de cultivos según la rotación habitual de la zona: girasol (años 1992, 1994, 1996 y 1998), cebada (años 1993 y 1997) y trigo (año 1999). Se han realizado cinco tratamientos, con cuatro repeticiones cada uno. El testigo sólo recibe fertilización mineral necesaria para cubrir las exigencias del cultivo según la producción esperada. Al resto de tratamientos se aporta la dosis de purín de ganado porcino necesaria para cubrir las necesidades de nitrógeno del cultivo, así como una cantidad fija de potasio y nada de fósforo. Se han añadido dosis crecientes de nitrógeno en forma de nitrato amónico a las parcelas con purín.

Los análisis foliares, realizados en distintos estadios de la planta, indican ausencia de deficiencias de cualquier elemento fertilizante a lo largo del desarrollo del cultivo.

En el caso del girasol, las parcelas que han sido fertilizadas con purín solamente o combinación de purín y fertilizante mineral, consiguen mayor producción de semilla y grasa que las parcelas que reciben sólo fertilizante mineral. Estos tratamientos permiten obtener también los máximos rendimientos en los cultivos de cereales (cebada y trigo).

La aplicación continuada de purines de ganado porcino en dosis agronómicas no ejerce ningún efecto sobre el suelo distinto del que ejercen los fertilizantes minerales; los purines deben considerarse como fertilizantes nitrogenados y fosfatados.

3. Tercer objetivo: diseñar el óptimo sistema de fertilización en el que estuvieran incluidos los purines, este sistema podrá ser aplicado para los cultivos y suelo ensayados y la climatología de la zona.

En el cultivo de girasol, la fertilización más adecuada será:

- aplicación de purín y una dosis de fertilizante mineral equivalente al 25 por ciento de la cantidad de nitrógeno necesaria para cubrir las necesidades del cultivo,
- el potasio contenido en el purín se complementará con fertilizante mineral potásico,
- no será necesario aplicar nada de fósforo.

Para el cultivo de cebada, la fertilización consitirá en:

- aplicación de purín y tres dosis de fertilizante mineral equivalente al 75 por ciento de la cantidad de nitrógeno necesaria para cubrir las exigencias del cultivo,
- complemento de fertilizante mineral potásico al que contiene el purín,
- no aplicar nada de fósforo.

Por último, en el trigo se aplicará:

- sólo purín o purín complementado con una dosis de fertilizante mineral (25%),
- fertilizante mineral potásico para compensar el déficit del purín en este elemento,
- nada de fósforo.

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

7. BIBLIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA

AARNINK, A. J. A.; VAN OUWERKERK, E. N. J. y VERSTEGEN, M. W. A. (1992): A mathematical model for estimating the amount and composition of slurry from fattening pigs. Lives. Prod. Sci., (31). Pp 133-147.

ABD-ELNAIM (1982): Effects of different organic materials on certain properties of the calcareous, sandy and alluvial soils of Egypt and on crop yield. FAO Soils Bull., nº 45. Pp 211-220.

ABDEL-GHAFFAR, A.S. (1982): The significance of organic materials to egyptian agriculture and mantenance of soil productivity. FAO Soils Bull. nº 45. Pp 15-21.

ACEA, M. J. y CARBALLAS, T. (1983): Caracterización de la población microbiana del purín de vacuno. Anales de Edafología y Agrobiología. Tomo XLII, n°s 1-2. Pp 150-159.

ACEA, M. J.; DÍAZ-RAVIÑA, M. y CARBALLAS, T. (1986): Evolución de la microflora total y de los microorganismos nitrificantes de un suelo abonado con purín de vacuno, en un período de 33 meses. Anales de Edafología y Agrobiología. Pp 721-727.

A.E.C. (1987): Digestibilities of amino acids in foodstuffs for poutry and pigs. Rhone Poulenc Nutritionist Laboratoires, 03600 Commentry, France. Citado por PIVA y col. (1993).

ADRIANO, D.C.; CHANG, A.C. y SHARPLESS, R. (1974): Nitrogen from Manure as Influenced by Moisture and Temperature. Journal of Environmental Quality, vol. 3, nº 3. Pp 258-261.

ALBA ORDÓÑEZ, A. y LLANOS COMPANY, M. (1990): El cultivo del girasol. Agroguías Mundiprensa. Madrid. 158 pp.

ALCYON (1998a): Surveillez vos calendriers. Porc Magazine, nº 307. Pp 71-73.

ALCYON (1998b): Quelles solutions pour réduire les odeurs?. Porc Magazine, nº 309. Pp 72-73.

ALCYON (1998c): Plans d`épandage: des plafonds à géométrie variable. Porc Magazine, nº 311. Pp 96-97.

ALCYON (1998d): Contrat de maîtise des pollutions: la marche à suivre. Porc Magazine, nº 314. Pp 241-242.

AMBERGER (1982): citado por CASTILLÓN (1993)

ANDREUX, F.G.; CERRI, C.C.; DE P. EDUARDO, B. y CHONÉ, T. (1990): Humus contents and transformations in native and cultivated soils. The Science of the Total Environment, nº 90. Pp 249-265.

ANON (1976): En "Studies on Farm Livestock Wastes". Agricultural Research Council, London. Citado por KIELY (1976).

APEL, B. (2000): Slurry use in populated areas: smell is not a problem under good practice. Mais, nº 2. Pp 56-58.

ARCARA, P. G.; GAMBA, C.; BIDINI, D. y MARCHETTI, R. (1999): The effect of urea and pig slurry fertilization on denitrificacion, direct nitrous oxide emission, volatile fatty acids, water-soluble carbon and anthrone-reactive carbon in maize-cropped soil from to the Po plain (Modena. Italy). Biol. Fertil. Soils, 29 (3). Pp 270-276.

AROGO, J.; ZHANG, R. H.; RISKOWSKI, G. L. y DAY, D. L. (1999): Mass transfer coefficient for hydrogen sulfide emission from aqueous solutions and liquid swine manure. Transactions of the ASAE, 42 (5). Pp 1455-1462.

ASHOUR, N. I. y KABESH, M. O. (1970): Agrochimica, 14, 5-6. Pp 462-468. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

ATALLAH, T. (1993): Conditions de valorisation du fumier et risques de lixiviation de l'azote. Cahiers Agricultures, vol. 2, nº 1. Pp 26-35.

BAKER, D.H. (1989): Amino and nutrition of pigs and poultry. Recents Advances in Animal Nutrition. Ed. Haresign, Butterworths. Pp 245-260. Citado por PIVA y col. (1993).

BALLESTER, A. (1993): Tratamientos de los subproductos y explotaciones ganaderas. Separación de sólidos y líquidos. En: Residuos ganaderos. Fundación "La Caixa". Barcelona. Pp 142-148.

BALSARI, P.; AIROLDI, G. y FERRERO, A. (1998): Comparasion among different techniques for the application of swine slurry on grassland. Revista di Agronomia, 32 (4). Pp 271-276.

BASCOMB, C. L. (1964): Rapid method for the determination of cation exchange capacity of calcareus and no calcareus soils. J. Sci. Food. Agric., 15. Pp 821-823.

BATLLÓ, M. (1993): La problemática atmosférica de los residuos ganaderos. En: Residuos ganaderos. Fundación "La Caixa". Barcelona. Pp 59-73.

BELL, J. C. (1982): Wild animal health problems resulting from agricultural wastes. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 47-60.

BERNAL CALDERÓN, M. P.; ROIG GARCIA-FERNÁNDEZ, A.; LAX MUÑOZ, A. y MADRID VICENTE, R. (1987) : Fertilización con purines de cerdo. Resúmenes de Comunicaciones, VII Congreso Nacional de Química. Química Agraria y Alimentaria. Sevilla, 12-16 de Octubre.

BERNAL, M.P.; ROIG, A. y CEGARRA, J. (1991): Effect of Pig Slurry Additions on the Organic Carbon of Calcareous Soils. Bioresource Technology, nº 37. Pp 223-228.

BERNAL, M.P.; ROIG, A.; MADRID, R. y NAVARRO, A.F. (1992): Salinity risks on calcareous soils following pig slurry applications. Soil use and management, vol. 8, nº 3. Pp 125-130.

BERTOLO, A.; DI VITTORIO, G.; LAZZARI, M.; SANGIORGI, F. y VIANELLI, L. (1984): La depurazioni dei liquami suini con impianti ad alternanza di fasi: aspetti tecnici ed economici. Riv. Di Ing. Agr., nº 4. Pp 201-210.

BERTRAND, M. (1985): Méthode d'estimation de la valeur fertilisante des lisiers de porcs. CEMAGREF-REND.

BERTRAND, M. (1993). Caracterización y gestión de los estiércoles sólidos y licuados. En: Residuos ganaderos. Fundación "La Caixa". Barcelona. Pp 177-190.

BERTRAND, M. y ARROYO, G. (1984): Methode rapide d'appreciation de la valeur fertilisante des lisiers de porcs. CEMAGREF, BI nº321. Pp 21-33. Citado por SOLIVA (1993).

BERTRAND, M. y SMAGGHE, D. (1985): Mise au point de méthodes rapides d´apréciation de la valeur fertilisante azotée et potassique des lisiers de porcs. Suivi de l´évolution en fosse de stockage. Journées Rech. Porcine en France, nº 17. Pp 327-338.

BERTRAND, M.; GENUEL, F. y GUIZIOU, F. (1988): Quantofix. Un nouvel appareil de terrain pour la mesure de l'azote ammoniacales lisiers. CEMAGREF, BTMEA, nº 29. Pp 23-29. Citado por SOLIVA (1993).

BESNARD, C. (1979): Balance and evolution of nitrogen compounds during the treatment of slurry. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 496-506.

BHAT, K.K.S.; FLOWERS, T.H. y O'CALLAGHAN, J.R. (1979): A model for the simulation of the fate of nitrogen in farm wastes on land application. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 459-477.

BIDDLESTONE, A. J.; GRAY, K.H. y COOPER (1986): Straw-based techniques for composting. Biocycle, march. Pp 40-44.

BIGERIEGO, M. (2000): Marco legal para la gestión de purines. Real Decreto 324/2000, sobre normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas, y tendencias. Residua 2000. IV Conferencia Internacional sobre gestión de residuos. Valladolid, 20-21 noviembre. P 11.

BILTEANU, G. y col. (1962): St. si cerc. biol. Biol. Veget., 14, 3. Pp 287-297. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

BILTEANU, G. y VOICA RADA (1962): Lucrari stiint. I. A. N. B., B, 6. Pp 103-117. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

BISAILLON, J. G.; BEAUDET, R.; SYLVESTRE, M.; ISHAQUE, M.; MORIN, A.; DI FRANCO, E. y GUERIN, A. M. (1984): Aspects microbiologiques du lisier de porc. Sci. Tech. Eau, 17. Pp 397-400. Citado por DAUDÍN IBAÑEZ (1995).

BITZER, C.C. y SIMS, J.T. (1998): Estimating the Availability of Nitrogen in Poultry Manure trough Laboratory and Field Studies. Jounal of Environmental Quality, vol. 17, nº 1. Pp 47-54.

BLAHA, K. (1977): Solid Separation and Dewatering. En Animal Wastes. Ed. by E. Paul Taiganides. Applied Science Publishers LTD. 429 págs. Pp 183-195.

BLANCHON, J.; BURBAU, R.; GACHON, L. y DE MONTARD, F. (1974): Étude de la valeur fertilisante azotée du lisier de bovins sur une prairie des monts d´Auvergne. Évolution botanique de la prairie. Ann. Agron., nº 25 (2-3). Pp 439-463.

BONMATÍ, A.; FLOTATS, X.; MATEU, L. y CAMPUS, E. (2000): Study of thermal hydrolysis as a pretreatment to mesophilic anaerobic digestion of pig slurry. VI Seminario Latinoamericano de digestión anaerobia. Recife, Brasil, 5-9 de noviembre de 2000. Citado por FLOTATS y col. (2000b).

BOOPATHY, R. (1998): Biological treatment of swine waste using anaerobic baffed reactors. Bioresource Technology, nº 64. Pp 1-6.

BORODULINA y col. (1972): S-h, Biol.,2. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

BREMNER, J. M. (1965): Nitrogen availability indexes. En: methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monogr. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp 1324-1345.

BREMNER, J. M. y KEENEY, D. R. (1965): Steam destillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. Anal. Chim. Acta, nº 32. Pp 485-495.

BROOKES, P.C.y Mc GRATH, S.P. (1984). Journal of Soil Science, nº 35. Pp 341-346. Citado por MEEUS-VERDINNE, K. y DESTAIN, J. P. (1993).

BUNTING, A.H. (1963): Experiments on organic manures, 1942-49. Journal of Agricultural Science, nº 60. Pp 121-140.

BUSINELLI, M.; ALTIERI, R.; GIUSQUIANI, P.L. y GIGLIOTTI, G. (1999): Complexation capacity of dissolved organic matter from pig slurry: A gel filtration and dialysis study. Water, Air and Soil Pollution, nº 113. Pp 385-394.

BUZINOV y col. (1968): Agrot. masl. kultur. Pp 312-325. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

BYRNE, E. y POWER, T. (1974): Determination of ammonium nitrogen in animal slurries by ammonia electrode. Comm. In Soil Science and Plant Analysis, 5(1). Pp 51-65.

CABANEIRO, A.; DÍAZ-FIERROS, F.; GIL, F.; GOMEZ, C.; LEIROS, M. C.; VILLAR, M. C. y CARBALLAS, T. (1985): Factores que afectan a la composición del purín de vacuno en Galicia. Anales del INIA. Serie Ganadera, vol. 22 (3). Pp 39-57.

CABANEIRO, A.; VILLAR, M. C.; DIAZ-FIERROS, F.; GIL SOTRES, F.; LEIROS, M. C., CARBALLAS, M. y CARBALLAS, T. (1983): An evaluation of cattle slurry fertilizer in a humic cambisol in Galicia (N. W. Spain). En prensa en "Studies about Humus". Transactions of the International Symposium Humus et Planta VIII.

CALVO DE ANTA, R. M. y DÍAZ-FIERROS, F. (1982): Mineralización del carbono y del nitrógeno en suelos forestales de Galicia. Anales de Edafología y Agrobiología, Tomo XLI, núm. 1-2. Pp 1-10.

CALVO, M.; BAGUER, A. J. y BASCUAS, J. A. (1999): Metal enrichment of soils watered with pig slurry. Evaluating a mathematical model. Agrochimica, Vol. XLIII, nº 3-4. Pp 166-172.

CALVO, M.; BAGUER, A. J. y BASCUAS, J. A. (2000): Contenido en componentes metálicos y no metálicos de los purines en una explotación intensiva de ganado porcino. Anaporc, Enero, nº 196. Pp 5-14.

CALVO IRUEGA, M. (1996): Estudio analítico de los residuos de una explotación intensiva de ganado porcino. Tesis Doctoral. Zaragoza.

CANN, C. (1993): La polución producida por los compuestos azoados. Alteraciones del medio ambiente por los desechos zootécnicos. En: Residuos ganaderos. Fundación "La Caixa". Barcelona. Pp 40-45.

CARBALLAS FERNÁNDEZ, T. (1991): Utilización de residuos ganaderos en Galicia. Seminario de Residuos Ganaderos. Segovia, diciembre 1991. Ed. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Castilla y León y Fundación "La Caixa". Pp 155-169.

CARBALLAS, M.; CARBALLAS, T.; GIL SOTRES, F.; VILLAR, M. C.; CABANEIRO, A.; LEIROS, M. C. y DIAZ-FIERROS, F. (1983): Biodegradation and humification of cattle slurry in the soil. En "Studies about Humus". Transactions of the International Symposium Humus et Planta VIII.

CARBALLAS, T.; CARBALLAS, M.; GIL SOTRES, F.; LEIROS, M. C.; CABANEIRO, A.; DIAZ-FIERROS, F. y VILLAR, M. C. (1984): Caracterización de la fracción orgánica del purín de vacuno. I. Distribución del carbono. Anales de Edafología y Agrobiología, 1984, Tomo XLIII, Núm. 1-2. Pp 205- 214.

CASTAING, J. y GROSJEAN, F. (1988): Acides amines chez le porc charcutier: interet dans regimes riches en cereals et en pois. Table ronde ITCF-AFS, SIMAVIP: "Les acids amines pour les porc. Evolutions recentes", 29 september. Pp 47-55. Citado por PIVA y col. (1993).

CASTELLANOS, J. Z. y PRATT, P. F. (1981): Mineralization of manure nitrogen. Correlation with Laboratory Indexes. Soil Sci. Soc. Am. Journal, (45). Pp 354-357.

CASTILLÓN, P. (1993): Valoración agronómica de las deyecciones animales. En: Residuos ganaderos. Fundación "La Caixa". Barcelona. Pp 131-140.

CECCHERINI, M.T.; CASTALDINI, M.; PIOVANELLI, C.; HASTINGS, R.C.; McCARTHY, A.J.; BAZZICALUPO, M. y MICLAUS, N. (1998): Effects of swine manure fertilization on autotrophic ammonia oxidizing bacteria in soil. Applied Soil Ecology, nº 7. Pp 149-157.

CEE (1978): L'épandage des effluents d'élevage sur les sols agricoles dans le CE. I.Bases scientifiques pour une limitation des épandages et critères pour des dispositions réglementaires. CB.NA. 78-047-FR-c. 178 pp.

CEMAGREF (1988): Bilan de l'azote à l'explotation. Ministère de l'Agriculture et de la Fôret. Ministère de l'Environnement (France). Programme d'action en Bretagne por le réduction de la pollution des eaux par les nitrates provenant des activités agricoles.

CEMAGREF (1990): Valoriser les déjections animales. Ministère de l'Agriculture et de la Fôret. Ministère de l'Environnement (France). Programme d'action en Bretagne por le réduction de la pollution des eaux par les nitrates provenant des activités agricoles.

CEMAGREF (1995): Diagnostic sur la production de déjections en fonction de l'alimentation et du stockage. Logicel. Citado por LEVASSEUR (1998).

CHAE, Y. M. y TABATABAI, M. A. (1986): Mineralization of Nitrogen in Soils Amended with Organic Wastes. Journal of Environmental Quality, vol. 15, nº 2. Pp 193-198.

CHAPMAN, H. D. y PRATT, P. F. (1981): Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Ed. Trillas. 195 pp.

CHARLES, C. y BORHER, E. (1998): Utilisation du lisier sur les terres louées. Porc Magazine, nº 315, octubre, p 102.

CHÂTILLON, G. (1998a): Désodoriser: à vous de juger! Porc Magazine, nº 311. Pp 62-63.

CHÂTILLON, G. (1998b): Une presse à lisier pour traiter à la ferme (Dossier). Porc Magazine, nº314. Pp 132-133.

CHEN, Y. y STEVENSON, F. J. (1986): Soil organic matter interactions with trace elements. "In the Role of Organic Matter in Modern Agriculture". Ruimelech. Y., cap 5. Ed. Lit.

CHESCHEIR, G. M. y WESTERMAN, P. W. (1984): Rapid methods for determining fertilizer value of livestock manures. En Summer Meeting American Society of Agricultural Engineers, nº 84-4082. 29 pp.

CHEUNG, Y.H. y WONG, M.H. (1983): Utilisation of Animal Manures and Sewage Sludges for Growing Vegetables. Agricultural Wastes, nº 5. Pp 63-81.

CLARKSON, C.R. y MISSELBROOK, T.H. (1990): Odour emisssions from broiler chickens. Actes del Symposium "Odour and ammonia emissions from livestock farming". Pp 26-28. Citado por BATLLÓ (1993).

COIC, Y. y col. (1972): C. R. 5º. Conf. Intern. Tournesol. Pp 77-80. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

COILLARD, J. y TEXIER, C. (1994): Le traitement à la ferme des lisiers de porcs excédentaires. Journées rech. porcine en France, nº 26. Pp 141-150.

COLE, D.J.A. y BONG, L. (1989): Ideal protein in pig nutrition with special reference to threonine. The Feed Compounder, 9 (9). Pp 24-27. Citado por PIVA y col. (1993).

COLL BATLLORI, C. (1993): La intensificación ganadera como proceso de producción de residuos. En: Residuos ganaderos. Fundación "La Caixa". Barcelona. Pp 5-16.

COLLINS, D.P. (1979): The use of animal manures on pasture for grazing. Effluents from Livestock. Ed. Grasser . Applied Science Publishers LTD (London). Pp 344-359.

COPPENET, M. (1974): L´épandage du lisier de porcherie. Ses consécuences agronomiques. Ann. Agron., 25 (2-3). Pp 403-423.

CURRY, J.P.; COTTON, D.C.F.; BOLGER, T. y O'BRIEN, V. (1979): Effects of landspread animal manures on the fauna of grassland. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 314-325.

DAGNALL, S.; HILL, J. y PEGG, D. (2000): Resource mapping and analysis of farm livestock manures- assessing the opportunities for biomass-to-energy schemes. Bioresource Technology, 71. Pp 225-234.

DAM KOFOED, A. y NEMMING, O. (1979): Experiments on heavy applications of animal manure to land. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 184-217.

DAMODAR REDDY, D.; SUBBA RAO, A. y RUPA, T. R. (2000): Effects of continous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. Bioresource Technology 75. Pp 113-118.

DAUDÍN IBAÑEZ, A. (1995): Estudio de la microflora bacteriana, aeróbica y fúngica, de interés sanitario y medioambiental, en los purines porcinos en la provincia de Teruel. Tesis Doctoral. Zaragoza.

DE BODE, M.J.C. (1990): Odour and ammonia emissions from amnure storage. Actes del Symposium "Odour and ammonia emissions from livestock farming". 26-28 març. Pp 59-66. Citado por BATLLÓ (1993).

DE GUIRAN, G.; BONNEL, L. y ABIRACHED, M. (1979): Landspreading of pig manures: IV. Effect on soil nematodes. Effluents from Livestock. Ed. Grasser 1980. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 109-119.

DEAN, D.M. y FORAN, M.E. (1992): The effect of farm liquid waste application on tile drainage. Journal of Soil and Water Conservation, 1992, vol. 47, nº 5. Pp 368-369.

DEANS, J.R.; MOLINA, J.A.E. y CLAPP, C.E. (1986): Models for Predicting Potentially Mineralizable Nitrogn and Descomposition Rate Constants. Soil Science Society American Journal, 1986, nº 50. Pp 323-326.

DELAS J. (1963). Agrochimica, 7. Pp 258-288. Citado por MEEUS-VERDINNE, K. y DESTAIN, J. P. (1993).

DELPUI, G. (1979):): Landspreading of liquid pig manure: V. Effect of soil microflora. Effluents from Livestock. Ed. Grasser 1980. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 120-137.

DEMYTTENAERE, O.; HOFMAN, G. y VULSTEKE, B. (1990): Plant nutrition-Physiology and applications. Van Beusichem, Wageningen (PB). P 747-752. Citado por MEEUS-VERDINNE, K. y DESTAIN, J. P. (1993).

DESTAIN, J. P.; RAIMOND, Y. y DARCHEVILLE, M. (1984): Long-term effects of sewage sludge and farm slurries applications, Williams-Guidi-L'Hermitage, CEC Pisa (I). Pp 108-123. Citado por MEEUS-VERDINNE, K. y DESTAIN, J. P. (1993).

DESTAIN, J. P.; RAIMOND, Y.; MEEUS-VERDINNE, K.; COUVREUR, L.; FRANKONET, M. y GUIOT, J. (1992): Colloque "La gestión des effluents d'élevage", R.E.D., Luxembourg (GD), 18 novembre. Citado por MEEUS-VERDINNE, K. y DESTAIN, J. P. (1993).

DEWES, T. (1999): Ammonia emissions during the initial phase of microbial degradation of solid and liquid cattle manure. Bioresource tchnology, 1999, nº 70. Pp 245-248.

DHULL, S.K.; SING, J.P. y KUMAR, V. (1998): Kinetics of Nitrogen Mineralization from Different Organic Material in Soils. Annals of Biology, 1998, 14 (1). Pp 113-117.

DI CHIO, D.; POTENZ, D. y RIGHETTI, E. (1999): Degradation of organic substances in the soil: proposal for a mathematical model. Bioresource Technology, 1999, nº 67. Pp 267-278.

DIAKOV, A. B. (1969): Vestnik s.-h. Nauki, 11. Pp 51-56. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

DIAZ-FIERROS, F.; CABANEIRO, A.; CARBALLAS, M.; LEIROS, M. C.; VILLAR, M. C.; CARBALLAS, T. y GIL, F. (1983): Modifications of the soil properties produced by treatment with cattle slurry. En prensa en "Studies about Humus". Transactions of the International Symposium Humus et Planta VIII, 1983.

DINESH, R. y DUBEY, R.P. (1999): Nitrogen mineralization rates and kinetics in soils amended with organic manures. Journal of the Indian Society of Science (1999) 47 (3). Pp 421-425.

DOMINGUEZ, L.; MORENO, M. A.; TESHAGER, T.; HERRERO, A. I. y PORRERO, M. C. (2000): Promotores del crecimiento en alimentación porcina. Repercusiones en la salud pública humana. Anaporc, 2000 (Septiembre), Nº 203. Pp 44-54.

DOMINGUEZ VIVANCOS, A. (1997): Tratado de fertilización. Mundi Prensa Libros, 3ª edición. Madrid. 631 pp.

DORFFER, M. (1998a): Les investissements démarrent. Porc Magazine, 1998 (Febrero), Nº308. Pp 71-74.

DORFFER, M. (1998b): Des bactéries pour diminuer son plan d´épandage (Dossier). Porc Magazine, 1998 (Septiembre), Nº314. Pp 135-136.

DORFFER, M. (1998c): Un pas de plus dans l'épuration et la capacité. Porc Magazine, 1998 (Septiembre), Nº314. Pp 138-139.

DORFFER, M. (1998d): Ils traitent le lisier et pas les excédents. Porc Magazine, 1998 (Octubre), Nº314. Pp 141-142.

DOURMAD, J. Y.; GUILLOU, D. y NOBLET, J. (1992): Development of a calculation model for predigting the amount of N excreted by the pig: effect of feeding, phisiolocal stage and performance. Lives. Prod. Sci., 31. Pp 95-107. Citado por LEVASSEUR (1998).

DOWNEY, N.E. y MOORE, J.F. (1979): The possible role of animal manures in the dissemination of livestock parasites. Effluents from Livestock. Ed. Grasser 1980. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 653-671.

DOWNEY, N. E. y MOORE, J. F. (1982): Slurry as a sorce of parasitic contamination of pasture herbage. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 175-192.

DU TOIT, A.J. (1987): Quantification of odour problems associated with liquid feedlot and poultry wastes. Walter Sciences Technics, vol. 19. Pp 31-41. Citado por BATLLÓ (1993).

DUFFERA, M.; ROBARGE, W.P. y MIKKELSEN, R.L. (1999): Estimating the availability of nutrients from processed swine lagoon solids through incubation studies. Bioresource Technology, nº 70. Pp 261-268.

DUMORTIER, J.; JEGOU, J. Y.; CALLAREC, J.; TOULARASTEL, P. y QUILLIEN, J. P. (1996): Volumes et rejets en azote, phosphore et potasse dans 4 élevages. Ed. ADE et Chambres d'Agriculture de Bretagne, Production Porcine. 68 pp.

DUTHION, C. (1979): Landpreading of liquid pig manure: I. Effects on yield and quality of crops. Effluents from Livestock. Ed. Grasser 1980. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 32-58.

DUTHION, C.; CATROUX, G. y GERMON, J. C. (1979): Landpreading of liquid pig manure: II. Nutrient balances and effects on drainage water. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 59-79.

DUTHION, C. y GERMON, J. C. (1979): Landpreading of pig manure. III.2. Pig manure composition- correlations between components. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 96-108.

DUXBURY, T. y BICKNELL, B. (1983). Soil Biology and Biochemistry, 15. Pp 243-250. Citado por MEEUS-VERDINNE, K. y DESTAIN, J. P. (1993).

EDEL, W. (1982): Hygienic assessment of slurry. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 251-255.

ELWELL, D.; KEENER, H. y STOWELL, R. (1999): The high route to managing hog manure. BioCycle (1999) 40 (10). Pp 36-38.

ENWEZOR, W.O. (1976): The mineralization of nitrogen and phosphorus in organic materials of varying C:N and C:P rations. Plant and Soil, nº 44. Pp 237-240.

ERNANI, P.R. (1984): Necessidade da adiçao de nitrogénio para o milho em solo fertilizado com esterco de suínos, cama de eves e adubos minerais. XVI Reuniao Brasileira de Fertilidade do Solo, vol. 8. Pp 313-317.

ERREBO LARSEN, H. y MUNCH, B. (1982): Occurrence and survival of pathogenic bacteria in cattle and pig slurry. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 161-174.

ESMAY, M. L. (1977) : Dehidration Systems for Feedlot Wastes. En Animal Wastes. Ed. by E. Paul Taiganides. Applied Science Publishers LTD. 429. Pp 197-211.

ESTEBAN TURZO, P. (1991): Consideraciones ambientales para el vertido de residuos ganaderos en los suelos. Seminario de Residuos Ganaderos. Segovia, diciembre 1991. Ed. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Castilla y León y Fundación "La Caixa". Pp 171-183.

ESTEBAN TURZO, P. (1993): Residuos ganaderos. Anaporc. Nº 120. Pp 68-72.

ESTEBAN TURZO, P. (2000): Los purines: Actuaciones en Castilla y León. Residua 2000. IV Conferencia Internacional sobre gestión de residuos. Valladolid (20-21 Noviembre) 2000. 9 pp.

ESTEBAN TURZO, P. y GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, A. (1986): Productivity study in anaerobic fermentation of pig slurry. Selected scientific papers from the Fifth Consultation of the FAO Cooperative Network on Animal Waste Utilization. Burgos, May 1986. Pp 159-166.

ESTEBAN TURZO, P. y GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, A. (1988): Corn fertilization with three tipes of slurries. Safe and Efficient Slurry Utilization. Commission of the European Communities. Pp 315-316.

ESTEBAN TURZO, P. y GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, A. (1988): Slurry acidification with different acids. ECC Workshop on “Odour Measurement”. Zurich (20-21 Abril), 1988.

ESTEBAN TURZO, P.; GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, A. y MORE HERRERO, A. (1986): How a crop reacts on being fertilized with a livestock residue whose amoniacal forms have been treated. Selected scientific papers from the Fifth Consultation of the FAO Cooperative Network on Animal Waste Utilization. Burgos, Spain, May 1986. Pp 153-157.

ESTEBAN TURZO, P.; GONZALEZ FERNÁNDEZ, A. y SALAS ANTÓN, A. (1987): Nitrogen mineralisation in different liquid pig manures. En “Management systems to reduce impact of nitrates”. Commission of the European Communities (VI/F4). Land and Water Use Management. Brussels (24-25 Septiembre), 1987.

ESTEBAN TURZO, P.; MORE, A.; ORTEGA, M.; SANZ, A. y GUTIERREZ, J. (1982). Mise en valeur energetique du lisier de porc. Food Industries and the Environment. Int. Symp., Budapest, Hungrary, 1982. Pp 117-125.

ESTEVAN BOLEA, M. T. (1991): El impacto ambiental de los residuos ganaderos. Seminario de Residuos Ganaderos. Segovia, diciembre 1991. Ed. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Castilla y León y Fundación "La Caixa". Pp 17-39.

FAO (1986): Report of the 1986 consultation of the European Cooperative Network on Animal Waste Utilization. Burgos, Spain.

FERM, M.; KASIMIR-KLEMEDTSSON, A.; WESLIEN, P. y KLEMEDTSSON, L. (1999): Emision of NH_3 and N_2O after spreading of pig slurry by broadcasting or band spreading. Soil Use and Management (1999), 15. Pp 27-33.

FERRER, M.; ORÚS, F. y MONGE, E. (2000): Determinación de formas nitrogenadas en estiércol fluido de porcino (EFP) por distintos métodos analíticos. Anaporc, Noviembre 2000, nº 205. Pp 86-101.

FERRER, P. J.; SANZ, J. B. y POMAR, J. (1981): Utilización agrícola del estiércol líquido de porcino (ELP). Full d´informació técnica (FIT) nº 14, 1981, 26 pp.

FERRER, P. J.; SANZ, J. B. y POMAR, J. (1983): Posibilidades de utilización agrícola del estiércol líquido de porcino (ELP) en relación con su valor fertilizante y su incidencia sobre el suelo. I. Composición y valor fertilizante del ELP. Anales del INIA, Serv. Agric. nº 23. Pp 35-57.

FILIPESCU y col. (1965): Analele I. C. C. P. T. Fundulea, 31, B. Pp 155-172. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

FISCHER, J.R.; OSBURN, D.D.; MEADOR, N.F. y FULHAGE, C.D. (1981): Economics of a Swine Manure Anaerobic Digester. Transactions of the ASAE, nº 24. Pp 1306-1310.

FLOTATS, X.; BONMATÍ, A.; CAMPOS, E. y TEIRA, M. R. (2000a): El proceso de secado de purines en el marco de una gestión integral de residuos gananderos. Residuos Nº 53. Pp 40-46.

FLOTATS, X.; BONMATÍ, A.; CAMPOS, E. y TEIRA, M. R. (2000b): Avances y perspectivas de la digestión anaerobia de los purines de cerdo. Residua 2000, IV Conferencia Internacional de Gestión de Residuos, Valladolid, 20-21 de noviembre de 2000.

FLOWERS, T. H. y ARNOLD, P. W. (1983): Inmobilization and mineralization of nitrogen in soils incubated with pig slurry or ammonium sulphate. Soil Biol. Biochem. Vol. 15. Nº 3. Pp 329-335.

FLOWERS, T. H. y O´CALLAGHAN, J. R. (1983): Nitrification in soils incubated with pig slurry or ammonium sulphate. Soil Biol. Biochem. Vol. 15. Nº 3. Pp 337-342.

FLÜCKIGER, E. (1988): Animal manure: nutrient content and aspects of its correct application with respect to the environment. Safe and efficient slurry utilization. Commission of the European Communities (1988). Pp 109-120.

FU, C.M.; CHEN, S.Y. y CHOW, H.M. (1991): Treatment and Application of Swine Waste. Taiwan Sugar, july-august 1991. Pp 25-29.

FULLER, M.F. y WANG, T.C. (1990): Digestible ideal protein. A mesure of dietary protein value. Pigs News and Inf., 11 (3). Pp 353-357. Citado por PIVA y col. (1993).

GARCÍA CIUDAD, A.; GARCÍA CRIADO, B. y GARCÍA CRIADO, L. (1982): Influencia del estado de madurez sobre la composición mineral de especies pratenses. III. Cultivares de dactylis y festuca. Anales de Edafología y Agrobiología, XL. Pp 1281-1296.

GARRAWAY, J. L. (1982): Investigations on the aerobic treatment of pig slurry. Agricultural Wastes , 1982, 4. Pp 131-142.

GARRET, M. K. y LOGAN, H. (1984): Conversion of liquid animal slurry to a stackable solid material. En Composting of agricultural and other wastes. Ed. Elsevier applied science publishers. 320 pp. Pp 305.

GERMON, J. C; DUTHION, C.; COUTON, Y.; GROSMAN, R.; GUENOT, L. y MORTIER, J. (1979): Landpreading of liquid pig manure. III.1. Survey of the pig farms in the "Bresse". . Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 80-95.

GERRITSE, K. J. (1977): Phosphorus compounds in pig slurry and their retention in the soil. En: J. H. Voorburg, 1977. Utilisation of manure by landspreading. Commission of the European Communities, Luxembourg. Pp. 257-266. . Citado por DUTHION y GERMON (1979) y por FERRER y col. (1983).

GEYPENS, M.; VANDENDRIESSCHE, H.; BRIES, J.; CARLIER, L. y BAERT, J. (1992): Déjections animales. Utilisation judicieuse des déjections animales. Revue d´Agriculture, 1992, 45-2. Pp 303-315.

GIL SOTRES, F.; DIAZ-FIERROS, F.; LEIROS, C.; CARBALLAS, T.; CABANEIRO, A.; VILLAR CELORIO, C. y CARBALLAS, T. (1985): El fósforo en los purines de vacuno gallegos: 1) Contenido y distribución de las formas del fósforo. Anales de Edafología y Agrobiología. Tomo XLIV. Nº 3-4. Marzo-Abril 1985. Pp 427-446.

GIL SOTRES, F.; LEIROS, M. C.; CABANEIRO, A.; VILLAR, M. C. DIAZ-FIERROS, F.; CARBALLAS, M.; CABANEIRO, T. y CARBALLAS, M. (1983): The soil dynamics of cattle slurry. 1. Phosphorus. En prensa en "Studies about Humus". Transactions of the International Symposium Humus et Planta VIII.

GINNIVAN, M. J. (1983): The effect of Aireation Rates on Odour and Solids of Pig Slurry. Agricultural Wastes 7. Pp 197-207.

GOH, K.M. (1983): Predicting nitrogen requirements for arable farming: a critical review and appraisal. Proceedings Agronomy Society of New Zealand, vol. 13. Pp 1-14.

GÓMEZ-IBARLUCEA SEMPERE, C. (1985): Valor fertilizante del purín de vacuno: eficacia del nitrógeno. Nuestra Cabaña. Mayo 1985. Pp 12-15.

GONZÁLEZ, C. M. (1992): Algunos datos sobre el purín. Anaporc, Nº 102. Pp 55-58.

GONZÁLEZ HURTADO, J. (1991): Vertido controlado. Bases técnicas. Seminario de Residuos Ganaderos. Segovia, diciembre 1991. Ed. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Castilla y León y Fundación "La Caixa". Pp 185-198.

GONZÁLEZ HURTADO, J.; MUÑOZ SASTRE, E.; RUIPÉREZ CANTERA, C. y SÁNCHEZ BÁSCONES, M. (1988): Búsqueda del mejor aprovechamiento agrícola de los residuos líquidos

propios de las explotaciones de ganado porcino. Comunicación a la 22 Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Química. Murcia, septiembre.

GONZÁLEZ HURTADO, J.; SÁNCHEZ BÁSCONES, M.; MULAS FERNÁNDEZ, R. y MUÑOZ SASTRE, E. (1990a): Caracterización del estiércol líquido de porcino en la región castellano-leonesa. Comunicación a la 23 Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Química. Salamanca, septiembre.

GONZÁLEZ HURTADO, J.; SÁNCHEZ BÁSCONES, M. y MUÑOZ SASTRE, E. (1990b): Posibilidades de la separación de fases y la cria de lombrices en el tratamiento del estiércol líquido de porcino. Comunicación al I Congreso Internacional de Química de la ANQUE. Residuos sólidos y líquidos, su mejor destino. Tenerife, diciembre.

GONZÁLEZ HURTADO, J.; SÁNCHEZ BÁSCONES, M.; MULAS FERNÁNDEZ, R. y RUIPÉREZ CANTERA, C. (1990c): Utilidad del análisis factorial en el estudio de la composición del estiércol líquido de porcino. Comunicación al I Congreso Internacional de Química de la ANQUE. Residuos sólidos y líquidos, su mejor destino. Tenerife, diciembre.

GONZÁLEZ HURTADO, J.; SÁNCHEZ BÁSCONES, M.; RUIPÉREZ CANTERA, C. y NUÑOZ SASTRE, E. (1990d): Método rápido para la determinación del valor fertilizante del ELP producido en la región castellano-leonesa. Comunicación a la 23 Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Química. Salamanca, septiembre.

GONZÁLEZ HURTADO, J.; SÁNCHEZ BÁSCONES, M.; MULAS FERNÁNDEZ, R. y LÓPEZ CARCELÉN, O. (1993): El purín de ganado porcino como aportador de micronutrientes. Comunicación al XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Salamanca, septiembre.

GONZÁLEZ HURTADO, J. y SÁNCHEZ BÁSCONES, M. (1992): Utilización agrícola de los purines de ganado porcino. Comunicación al Congreso de ganadería y medio ambiente. Salamanca, julio.

GONZÁLEZ HURTADO, J. y SÁNCHEZ BÁSCONES, M. (1999a): La materia orgánica es el factor más importante en la fertilidad. Tierras de Castilla y León. Suplemento Agricultura, nº 55. Pp 6-7.

GONZÁLEZ HURTADO, J. y SÁNCHEZ BÁSCONES, M. (1999b): El uso del purín consigue un ahorro importante de abono mineral. Tierras de Castilla y León. Suplemento Agricultura, nº 55. Pp 8-10.

GONZÁLEZ PRIETO, S. J.; CARBALLAS, M. y CARBALLAS, T. (1984): Characterization of the organic fraction of cattle slurry. II. Fundamental carbon-bearing compounds and distribution of nitrogen. Anales de Edafología y Agrobiología, Tomo XLIII, Nº 7-8. Pp 1223-1241.

GONZÁLEZ, J. L.; MEDINA, M. Y BENITEZ, I. C. (1989): Slurry composting options. Biocycle, vol. 30, nº 7. Pp 53-55.

GREEN, S.; BERTRAND, S.L.; DURON, M.J.C. y MAILLARD, R.A. (1987): Digestibiliyy of amino acids in maiza, wheat and barley meal, measured in pigs with oleo-rectal anastomosis and isolation of the large intestine. J. Sci., Food Agric., 41 (1). Pp 29-43. Citado por PIVA y col. (1993).

GREGORY, P. J.; CRAWFORD, D. V. y McGOWAN, M. (1979): Nutrient relations of wintewr wheat. 1. Accumulation and distribution of Na, K, Mg, P, S y N. J. Agric. Sci. Camb., 93. Pp 485-494.

GRIFFIN, G.F. y LAINE, A.F. (1983): Nitrogen Mineralization in Soils Previously Amended with Organic Wastes. Agronomy Journal, vol. 75, january-february, Pp 124-129.

GRUNDEY, K. (1982): El tratamiento de los residuos agrícolas y ganaderos. Ediciones Gea. 304 pp.

GUENZI, W. D.; BEARD, W. E.; WATANABE, F. S., OLSEN, S. R. y PORTER, L. K. (1978): Nitrificacion and Denitrification in Cattle Manure-Amended Soil. J. Environ. Qual., Vol. 7, Nº 2. Pp 196-202.

GUIJARRO LACASA, E. (1993): Explotación intensiva y extensiva de ganado porcino. Porci, 18. Pp 11-17. Citado por DAUDIN IBÁÑEZ (1995).

GUILLOU, D.; DOURMAD, J. y NOBLET, J. (1993): Influence de l'alimentation, du stade physiologique et des performances sur les rejets azotés du porc à l'engrais, de la truie et du porcelet. Jornées Rech. Porcine en France, 25. Pp 307-314. Citado por LEVASSEUR (1998).

GUIOT, J. y GOFFART, J.P. (1992): Colloque "Têtes de rotation-Azoe-Environnement", Louvain-La Neuve (B). Pp 93-103. Citado por MEEUS-VERDINNE, K. y DESTAIN, J. P. (1993).

GUPTA, V. K.; SINGH, C. P. y RELAN, P. S. (1992): Effect of Zn-Enriched Organic Manures on Zn Nutrition of Wheat and Residual Effect on Soyabean. Bioresource Technology, 42. Pp 155-157.

GUPTA, R. K.; RUDRA, R. P.; DICKINSON, W. T. y WALL, G. J. (1997): Surface water quality impacts of tillage practices under liquid swine manure application. Journal of the American Water Resources Association, Vol. 33, Nº 3. Pp 681-687.

HALVORSON, A. D.; ALLEY, M. M. y MURPHY, L. S. (1987): Nutrient requirements and fertilizer use. En: wheat and wheat improvement (Ed. E. G. Heyne). Agronomy nº 13. American Society of Agronomy. Publishers. Madison. Wisconsin. Pp 345-383. Citado por LOPEZ BELLIDO (1991).

HANNEKEN, H.; WITTMANN, M. M.; MACHMÜLER, A. y KREUZER, M. (1999): Nitrogen fertilizer value slurry from fattening pigs fed rations with elevated contents of bacterially fermentable substrates (BFS). Agrobiol. Research, 52,1. Pp 47-56.

HARTUNG, J. y HILLIGER, H.G. (1979): Odour Characterisation in animal houses by gas chromatographic analysis on the basis of low temperature sorption. Effluents from Livestock. Ed. Grasser 1980. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 561-578.

HARTUNG, J. (1990): Influence of housing and livestock on ammonia release from buildings. Actes del Symposium "Odour and ammonia emissions from livestock farming". Pp 26-28. Citado por BATLLÓ (1993).

HASSEN, A.; JEDIDI, N.; CHERIF, M.; M´HIRI, A.; BOUDABOUS, A. y VAN CLEEMPUT, O. (1998): Mineralization of nitrogen in a clayey loamy soil amended with organic wastes enriched with Zn, Cu and Cd. Bioresource Technology 64. Pp 39-45.

HATCH, D.J.; JARVIS, S.C. y REYNOLDS, S.E. (1991): An assessment of the contribution of net mineralization to N cycling in grass swards using a field incubation method. Plant and Soil, nº 138. Pp 23-32.

HEDUIT, M.; ROUSTAN, J. L.; AUMAITRE, A. y SEGUIN, M. (1977): Composition du lisier de porc: influence du mode d'explotation. Journes Rech. Porcine en France. Pp 305-320. Citado por DUTHION Y GERMON (1979).

HEDUIT, A. (1979): Transfer of oxygen in piggery wastes. Effluents from Livestock. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 481-495.

HENRY, Y. (1988): Signification de la protein equilibree pour le porc: interet et limites. INRA Prod. Porc., 1 (1). Pp 65-74. Citado por PIVA y col. (1993).

HERLIHY, P.D. (1979): The use of mathematical models in studying the landspreading of animal manures. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 446-458.

HERMANSON, R. E. (1993): Keys to Dairy Manure Management for Water Quality. http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/Agr.MANURE_MANAGEMENT_FOR_WATER_QUALITY.html

HERNÁNDEZ DE LEÓN, M. (1981): Aplicación de purines a las choperas. Bol. Estac. Cent. Ecol., vol. 20, nº 20. Pp 9-12.

HILLIGER, H. G. (1982): Animal health problems resulting from agricultural wastes. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 17-45.

HOBSON, P. N. y ROBERTSON, A. M. (1977): Waste Treatment in Agriculture. Applied Science publishers LTD. London. 257 pp.

HOFF, J.D.; NELSON, D.V. y SUTTON, A.L. (1981): Ammonia Volatilization from Liquid Swine Manure Applied to Cropland. Journal of Environmental Quality, vol. 10, nº1. Pp 90-95.

HOFNER, W. y HERWIG, K. (1966): Physiol. Pl., 19, 1. Pp 31-39. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

HOOK, P. B. y BURKE, I. C. (1995): Evaluation of Methods for Estimating Net Nitrogen Mineralization in a Semiarid Grassland. Soil Sci. Soc. Am. J., (1995), 59. Pp 831-837.

HUNTLEY, E. E.; BARKER, A. V. y STRATTON, M. L. (1997): Composition and uses of Organic Fertilizers. Agricultural uses of by-products and wastes . Cap. 9. Pp 120-139.

IMBEATH, M. (1998): Composting piggery waste: a review. Bioresource Technology 63. Pp 197-203.

INOT, R. (1989): Les table Eurolysine pour les aliments porcs. Revue de l'Alim. Anim., (430). Pp 32-35. Citado por PIVA y col. (1993).

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (INRA) (1989): L'alimentation dex animaux monogastriques: porc, lapin, vlailles, 2e edition, INRA, Paris. Citado por PIVA y col. (1993).

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) (1981): El cultivo del trigo. Colección principales cultivos de Argentina. 185 pp.

IRAÑETA, I.; PÉREZ DE CIRIZA, J. J.; SANTOS, A.; AMÉZQUETA, J.; CARRO, P; IÑIGO, J. A. y ABAIGAR, A. (1999): Purines de porcino (I). Valor agronómico. Navarra Agraria, Julio-Agosto-Septiembre. Pp 14-25.

ISERMANN, K. (1990): Ammonia emissions from agriculture as a comomponents of its nitrogen balance and some proposals for their adequate reduction. Actes del Symposium "Ammonia in the environment – cycles, effects, reduction", 10-12 octubre. Citado por BATLLÓ (1993).

ITCF (1982): Valeur fertilisante des engrais de ferme. Citado en MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT (1984).

ITP (1984): L'élevage porcin et l'environnement. Ed. Institut Technique du Porc et GIDA. 100 pp.

JACOBS, L. W. (1989): Utilizing manure is better than disposing of waste. Pigs-Misset, Nov/Dic 89, 2 pp.

JEWELL, W. J. (1998): Keeping Manure in a Closed Loop. Biocycle, 1998, 39.7. Pp 69-71.

JONES, C.A. (1984): Estimation of an active fraction of soil nitrogen. Commun. in Soil Sci. Plant Anal., 15(1). Pp 23-32.

JONES, J. (1982): A short of the most important pathogens found in farm animal wastes. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 139-147.

JONGBLOED, A.W.; KEMME, P.A. y DELLAERT, B. (1990a): Microbiel fytase in de voeding va varkens. In "Verslag van de themadag veevoeding & milieu lelystad", 19 april. Pp 51-57. Citado por PIVA y col. (1993).

JONGBLOED, A.W.; EVERTS, H. y KEMME P.A. (1990b): Phosphorus availability and requirements in pigs. In " Recents Advances in Animal Nutrition", ed. Haresign W, Cole D.J.A., Butterworks, London. Citado por PIVA y col. (1993).

JONGBLOED, A.W. y LENIS, N. P. (1991): Nutrition as a mean to reduce environmental pollution by pigs. Nutrition, management and pig production. 42nd Annual Meeting of EAAP, Berlin 8-12 September.

JONGBLOED, A.W. y LENIS, N. P. (1993): Excretion of nitrogen and some minerals by livestock. Proceedings of the 1rt international symposium on nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Wageningen, NL 8-11 June. EAAP Publication nº 69. Citado por LEVASSEUR (1998a).

JONGEBREUR, A.A. y KLARENBEEK, J.V. (1979): Odour measurement research in intensive livestock production units. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 627-631.

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN (1988): Análisis del Medio Físico de Segovia. 85 pp.

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN (1998): Código de Buenas Prácticas Agrarias. 46 pp.

JUSTE, C.; DUREAU, P. y LASSERRE, M. (1981): Influence de la digstion méthanique sur la valeur fertilisante de divers déchets organiques. C. R. Acad. Agric. Fr. (Paris). Pp 782-790.

KARASTAN, D. I. y BOSKANIAN, A. I. (1966): Agrohimiia, 3. Pp 139-141. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

KELLY, W.R. (1979): A study of the effects of animal effluents utilisation for grassland production on the levels of certain pathogenic bacteria in farm animals and their carcases. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 637-652.

KELLY, W. R. y COLLINS, J. D. (1982): Animal manure utilization in Ireland. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 117-126.

KIELY, P.V. (1979): Time and rate of application of animal manures. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 361-377.

KIRCHMANN, H. (1991): Carbon and Nitrogen Mineralization of Fresh, Aerobic and Anaerobic Animal Manures during Incubation with Soil. Swedish J. Agric. Res., 21. Pp165-173.

KJELLERUP, V. (1985): Agros Nitrogen Meter for estimation of ammonium nitrogen in slurry and liquid manure. En: Efficient land use of sludge and manure. Ed. by DAM KOFOED, A.; WILLIAMS, J. H. y L'HERMITE, P. Elsevier applied science publishers, 245 pp. Pp 216-223.

KLARENBEEK, J.V. y BRUINS, M.A. (1990): Ammonia emissions after land spreading livestock animal. Actes del Symposium "Odour and ammonia emissions from livestock farming". Pp 26-28. Citado por BATLLÓ (1993).

KOLENBRANDER, G. J. (1975): Efficiency of Organic Manure in Increasin Soil Organic Matter Content. Trans. 10 th Int. Soil, vol. 2. Pp 129-136.

KOSAKI, T. y JUO, A,S.R. (1989a): Multivariate approach to grouping soils in small fields. I: Extraction of factors causing soil variation by Principal Component Analysis. Soil Sci. Plant Nutr., 35 (3). Pp 469-477.

KOSAKI, T. y JUO, A,S.R. (1989b): Multivariate approach to grouping soils in small fields. II. Soil Grouping Technique by Cluster Analysis. Soil Sci. Plant Nutr., 35 (4). Pp 517-525.

KOWALEWSKY, H.H.; SCHEU, R. y VETTER, H. (1979): Measurement of odour emissions and imissions. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 609-625.

KOWALEWSKI, H.H. (1981): Messen and Bewerten von Geruschsemissiones. KTBL-Schrift, 260, Landwirtschaftsverlag GmbH, 4400 Münster-Hiltrup (Westf.). Citado por BATLLÓ (1993).

KRUPNIKOVA, T. A. y DAVIDOVA, V. N. (1972): Fiziol. Biochin. Kult. Rast., 4, 2. Pp 171-175. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

KUMAR, V.; YADAV, D. V. y YADAV, D. S. (1990): Effects of nitrogen sources and copper levels on yield, nitrogen and copper contents of wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant and soil, 126. Pp 79-83.

KYUNGHO, C. (1999): Optimal Operating parameters in the composting of swine manure with wastepaper. Journal of Environmental Science and Healt. Part B. Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes, 34 (6). Pp 975-987.

LAFONT, J. P.; GUILLOT, J. F. y CHASLUS-DANCLA, E. (1982): Health problems resulting from the presence of R-Plasmids in faecal bacteria of animal origin contaminating farmyard wastes. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 201-222.

LALOUX, R.; FALISSE, A. y POELAERT, J. (1980): Nutrition and fertilization of wheat. En wheat (Documenta ciba-Geigy). Ciba-Geigy. Ltd. Suiza. Pp 19-24. Citado por LOPEZ BELLIDO (1991).

LANCHA ZAPICO, A. (1990): La fertilización del girasol en Andalucía Occidental. Ed. por Fesa, nº 107. Pp 17-22.

LAUDELOT, H. y LAMBERT, R. (1979): Simulation of environmental pollution by landspreading of manure. Effluents from Livestock. Ed. Grasse. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 433-445.

LECOMTE, R. (1979): The influence of agronomic application of slurry on the yield and composition of arable crops and grassland and on changes in soil properties. Effluents from Livestock. Ed. Grasser 1980. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 139-180.

LEIBHOLZ, J. y KIRBY, A.C. (1985): The utilisation of methionine from five protein concentrates compared with syntetic methionine. Br. J. Nutr., 53. Pp 391- 398. Citado por PIVA y col. (1993).

LEIRÓS DE LA PEÑA, M. C.; DÍAZ-FIERROS, F.; CARBALLAS, M.; CABANEIRO, A.; CARBALLAS, T.; GIL SOTRES, F. y VILLAR, M.C. (1983): The soil dynamics of cattle slurry. 2. Nitrogen. En prensa en “Studies about Humus”. Transactions of the International Symposium Humus et Planta VIII.

LEIRÓS DE LA PEÑA, M.C.; VILLAR CELORIO, M.C.; CABANEIRO, A.; CARBALLAS, T.; DÍAZ-FIERROS, F.; GIL SOTRES, F. y GÓMEZ IBARLUCEA, C. (1983b): Caracterización y valor fertilizante de los purines de vacuno en Galicia. Anales de Edafología y Agrobiología. Tomo XLII, nº 5-6. Pp 753-768

LENIS, N.P. (1989): Lower nitrogen excretion in pig husbandry by feeding: current and future possibilities. Netherland J. Agric. Sci., 37 (1), 61-70. Citado por PIVA y col. (1993).

LEVASSEUR, P. (1998a): Composition des lisiers de porc, facteurs de variation et méthodes d'evaluation. Techni-Porc, vol. 21, nº 3. Pp 19-25.

LEVASSEUR, P. (1998b): Composition et volume de lisier produit par le porc. Techni-Porc, vol. 21, nº 4. Pp 17-24.

LEVASSEUR, P. (1998c): Echantillonage et méthodes d’évaluation de la composition des lisiers de porcs. Techni-Porc, vol 21, nº 6. Pp 19-25.

LEVASSEUR, P. (1999): Test d'échantillonnage du lisier en grande fosse de stockage. Techni-Porc, vol 22, nº 6. Pp 13-18.

LEVASSEUR, P.; BOYARD, C.; VAUDELET, J. C. y ROUSSEAU, P. (1999): Evolution in the fertilising value of pig slurry during storage pit emptying. Influence of mixing. En 31èmes Journées de la Recherche Porcine en France, Paris, France, 2,3 y 4 février 1999. Journées de la Recherche porcine en France, 31. Pp 85-90.

LEXMOND, TH.M. y DE HAAN, F.A.M. (1979): Toxicity of copper. Effluents from Livestock. Ed. Grasser 1980. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 410-418.

L'HERMITE, P. y DEHANDTSCHUTTER, J. (1979): 1975-1978: Research on effluents from intensive livestock in the European Communities. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 677-702.

LIMBOURG, P.; COUVREUR, L. y HERMAN, J.L. (1986): Ann. De Gembloux, 92 (3). Pp 247-267.

LINDSAY, W. L. y NORWELL, W. A. (1969): Development of a DTPA micronutrient soil test. Agron. Abs.: 84.

LINDSAY, W. L. y NORWELL, W. A. (1978): Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J., 42. Pp 421-428.

LÓPEZ BELLIDO, L. (1991): Cultivos herbáceos. Vol. 1 Cereales. Ed. Mundi Prensa. 539 pp.

LOUÉ, A. (1988): Los micronutrientes en la agricultura. Ed. Mundi Prensa. 354 pp.

LUND, E. (1982): The survival of enteric viruses in aireated and non-aireated cattle and pig slurry. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 149-156.

LUND, Z.F.; DOSS, B.D. y LOWRY, F.E. (1975): Dairy Cattle Manure – Its Effect on Yield and Quality of Coastal Bermudagrass. J. Environ. Qual, Vol. 4, nº 3, 1975.

MACHMÜLLER, A.; GERDEMANN, M.M. y KREUZER, M. (1999): Nitrogen fertilizer value of slurry from fattening pigs fed rations with elevated contents of bacterially fermentable substrates (BFS). Agrobiological Research, nº 52, 1. Pp 35-46.

MADHU, M.; SESHACHALAM, N.; NALATWADMATH, S.K. y NIMJE, P.M. (1997): Effect of organic and inorganic fertilisers on yield of crops and physico-chemical properties of soil in high hills of nilgiris. Indian J. Soil Cons., 25(3). Pp 241-245.

MAGDOFF, F.R. y AMADON, J.F. (1980): Yield Trends and Soil Chemical Changes Resulting from N and Manure Application to Continuous Corn. Agronomy Journal, vol.72, january-february 1980. Pp 161-164.

MANDAL, L. N. y HALDAR, M. (1980): Influence of phosphorus and zinc application on the availability of zinc, copper, iron, manganese and phosphorus in waterlogged rice soils. Soil Sci., 130. Pp 251-257.

MAPA (1994): Métodos oficiales de análisis, tomo III. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación. 662 pp.

MARINARI, S.; MASCIANDARO, G.; CECCANTI, B. y GREGO, S. (2000): Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and phisical properties. Bioresource Technology 72. Pp 9-17.

MARTI, E. y DEBROIZE, D. (1999): Tonnes à lisier: En pente douce vers la précision! Perspectives Agricoles nº 248, juillet-août. Pp 32-38.

MBAGWU, J.S.C. y BAZZOFFI, P. (1988): Stability os microaggregates as influenced by antecedent moisture content, organic waste amendment and wetting and drying cycles. Catena, vol. 15. Pp 565-576.

McCLURE, J. y MUNSTER, C. (1997): Use of poultry manure/paper pellets as a soil amendment. Paper American Society of Agricultural Engineers. 972101.

McGECHAN, M.B.; LEWIS, D.R. y PROVOLO, G. (1998): Liquid Manure Management to maximize its Fertilizer Value and minimize Pollution. 7th International Conference on Computers in Agriculture. Orlando, Florida. Pp 41-53.

McGECHAN, M.B. y WU, L. (1998): Environmental and Economic Implications of some Slurry Management Options. Journal of Agricultural Engineering Research, nº 71. Pp 273-283.

McGRATH, D.; POOLE, D.B.R. y FLEMING, G.A. (1979): Hazards arising from application to grassland of copper-rich pig faecal slurry. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 420-431.

MEEUS-VERDINNE, K. y DESTAIN, J. P. (1993): Contaminación de los suelos por los desechos de la cría de ganado. En: Residuos ganaderos. Fundación "La Caixa". Barcelona. Pp 26-38.

MEEUS-VERDINNE, K.; NEIRINCKX, G.; MONSEUR, X. y DE BORGER, R. (1979): Real or potential risk of pollution of soils, crops, surface and groundwater due to landspreading of liquid manure. Effluents from Livestock. Ed. Grasser 1980. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 399-408.

MEEUS-VERDINNE, K.; SCOKART, P.O. y DE BORGER, R. (1986). Revue de l'Agriculture, 39(4). Pp 801-816. Citado por MEEUS-VERDINNE y DESTAIN (1993).

MEEUS-VERDINNE, K.; VAN ELSEN, Y. y DE BORGER, R. (1988): Revue de l'Agriculture, 41(4). Pp 981-987. Citado por MEEUS-VERDINNE Y DESTAIN (1993).

MIGNOLET, C.; BENOÎT, M. y SAINTÔT, D. (1997): Systèmes d'élevage et risque de pollution azotée. Construction d'un indicateur de risque et application dans la plaine des Vosges. INRA Production Animal. 10 (4). Pp 275-285.

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT (1984): L'élevage porcin et l'environnement. Cahiers Techniques de la Direction de la Prévention des Pollutions, nº 16.

MOHAEMEN, B. (1978): Evolution dans le soil de l'azote des lisiers. Sa disponibilité à l'égard des végétaux. DEA Biochimie appliquée, Université de Dijon. 70 pp. Citado por DUTHION (1979).

MOORE, J.A. y GAMROTH, M.J. (1993): Calculating the fertilizer value of manure from livestock. http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/Agr...Collection: Water Quality/Waste Management. Oregon State University.

MOROT-GAUDRY, J.F. (1998): Mécanismes d'assimilation de l'azote chez les plantes. PHM Revue Horticole nº 391. Pp 14-16.

MORSE, D. (1993): Water Quality: The animal component. http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/Agr.. Collection: Water Quality/Waste Management. North Dakota State University.

MURPHY, L. S.; ELLIS, R. y ADRIANO, D. C. (1981): Phosphorus-micronutrient interaction effects on crop production. J. Plant. Nutr. 3 (1-4). Pp 593-613.

MUSMECI, L. y GUCCI, P.M.B. (1997): Aspetti igienico-sanitari per la produzione di compost di elevata qualità. Annali dell Istituto Superiore di sanità, vol 33, nº 4. Pp 595-603.

NAVAROTTO, P. (1982): Origin and nature of agricultural wastes. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 1- 6.

NEBREDA CONESA, A.M. (1982): Aspectos generales de la contaminación por residuos ganaderos y posibles soluciones. Nuestra Cabaña nº 107, junio. Pp 35-39.

NELSON, T.S.; SHIEK, R.J. y WOODZINSKI, R.J. (1968): Influence of train of chicken and dietary fat on egg production traits. Poultry Sci., 47. Pp 1289-1293. Citado por PIVA y col. (1993).

NICHOLSON, F.A.; CHAMBERS, B.J.; WILLIAMS, J.R. y UNWIN, R.J. (1999): Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. Bioresource Technology, nº 70. Pp 23-31.

NODAR, R.; ACEA, M.J. y CARBALLAS, T. (1992): Poultry Slurry Microbial Population: Composition and Evolution during Storage. Bioresource Technology, nº 40. Pp 29-34.

NOÜE, J. DE LA; SEVRIN-REYSSAC, J.; MARIOJOULS, C.; MARCEL, J. y SYLVESTRE, S. (1994): Biotreatment of swine manure by intensive lagooning during winter. Bioresource Tchnology, nº 50. Pp. 213-219.

NOVOTNY, V. (1999): Diffuse pollution from agriculture – a worldwide outlook. Wat. Sci. Tech., vol. 39, nº 3. Pp 1-13.

OOSTHOEK, J.; KROODSMA, W. y HOEKSMA, P. (1990): Ammonia emission from daity and pig housing systems. Actes del Symposium "Odour and ammonia emisions fromlivestock farming". Pp 26-28. Citado por BATLLÓ (1993).

ORÚS, P. F. (1993): El estiércol fluido de porcino (partes I y II). Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes. D.G.A. Zaragoza.

OSBORNE, L. E. (1982): Current methods of storage and treatment of agricultural wastes. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 7-16.

OVER, H. J. (1982): Epidemiological consequences of slurry application in the Netherlands. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 101-115.

PAIN, B.F. y SANDERS, L.T. (1979): Effluents from intensive livestock units fertiliser equivalents of cattle slurry for grass and forage maize. Effluents from Livestock. Ed. Grasse. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 300-311.

PAIN, B.F.; PHILLIPS, V.R.; CLARKSON, C.R. y KLARENBEEK, J.V. (1989): Loss of Nitrogen through Ammonia Volatilisation during and following the Application of Pig or Cattle Slurry to Grassland. J. Sci. Food Agric., nº 47. Pp 1-12.

PANDEYA, S.B. (1992): Characterization of Fulvic Acids Extracted from Some Organic Manures and Wastes by Potentiometric Titration. Bioresource Technology nº39. Pp 77-83.

P.A.G.V. (1989). Themaboekje 10. Pp 11-19. Citado por MEEUS-VERDINNE, K. y DESTAIN, J. P. (1993).

PEREZ, J. M. (1979): L'alimentation mineral des porcins. Synthese: Conduite d'élevage et alimentation 2, I. T. P. Citado por FERRER y col. (1983).

PERMUY VILA, D. (1999): El sistema STC de secado térmico de lodos a baja temperatura: un nuevo enfoque. Química e Industria (Quibal), enero. Pp 23-27.

PETEK, M. (1982). Situation in Italy. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 127-128.

PFUNDTNER, E. (2000): Less smell – more yield. Effect of biogas liquid manure in maize cultivation. Mais, nº 3. Pp 120-121.

PICCININI, S. y BORTONE, G. (1991): The Fertilizer Value of Agricultural Manure: Simple Rapid Methods of Assessment. J. Agric. Engng. Res., 49. Pp 197-208.

PICCOLO, A.; ZACCHEO, P. y GENEVINI, P.G. (1992): Chemical Characterization of Humic Substances Extracted from Organic-Waste-Amended Soils. Bioresource Technology, nº 40. Pp 275-282.

PINTEA, C. y col. (1961): Problème agricole, 6. Pp 13-20. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

PIVA, G.; FERRARINI, F.; MORLACCHINI, M.; VARINI, G. y PRANDINI, A. (1990): Razioni a basso titolo proteico. Effetti sulle performances productive e sulla ritenzione di azoto. Opuscolo edito dall'Instituto Superiore Lattiero Cesario Mantova. Citado por PIVA y col. (1993).

PIVA, G.; PRANDINI, A. y MORTIACCHINI, M. (1993): La alimentación como medio para reducir la acción contaminante de las deyecciones porcinas. En: Residuos ganaderos. Fundación "La Caixa". Barcelona. Pp 119-129.

POOLE, D.B. y McGRATH, D. (1980): A study of the hazards to pasture and animal health arising from land spreading of copper containing pig manure. En prensa. Citado por KELLY y COLLINS (1982).

POMAR GOMÁ, J. (1984): Estudio del comportamiento y evolución del nitrógeeno mineral del estiércol líquido porcino en el suelo y su disponibilidad para los cultivos (Tesis doctoral). Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.

POMAR GOMÁ, J.; FERRER TALÓN, P.J.; FRANCH MASIP, C.; GISPER FOLCH, J.R.; BRUNA GALLEGO, A. y ROMEU FARRÉ, J. (1984): Utilizatiò agrícola del F.L.P. F.I.T. nº 34, novembre.

POMARES-GARCÍA, F, y PRATT, P.F. (1978): Value of manure and sewage slude as N fertilizer. Agron. Journal, nº 70. Pp 1065-1069.

POWERS, W.L.; WALLINGFORD, G.W. y MURPHY, L.S. (1975): Formulas for applying organic wastes to land. Journal of soil and water conservation, novembre-december. Pp 286-289.

PRATT, P. F.; DAVIS, S. y SHARPLESS, R.G. (1976): A four year field trial with animal manures. 2. Mineralisation of nitrogen. Hilgardia 44. Pp 113-125.

PRIEM, R. y MATON, A. (1979): The influence of the content of trace elements in the feed on the composition of liquid manure of pigs. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 9-20.

R. A. L. (1992): Diccionario de la Real Academia de la Lengua.

RANKIN, J. D. y TAYLOR, R. J. (1969): A study of some disease hazards which could be associated with the system of applying cattle slurry to pasture. Vet. Rec., 85. Pp 578-581. Citado por EDEL (1982).

RAO BHAMIDIMARRI, S. M. y PANDEY, S. P. (1996): Aerobic thermophilic composting of piggery solid wastes. Water Science and Technology, 33(8). Pp 89-94.

REBOLLAR, P. G. y MATEOS, G. G. (2000a): El fósforo en la nutrición animal. Necesidades, valoración de materias primas y mejora de la disponibilidad (I). Anaporc, septiembre, nº 203. Pp 90-112.

REBOLLAR, P. G. y MATEOS, G. G. (2000b): El fósforo en la nutrición animal. Necesidades, valoración de materias primas y mejora de la disponibilidad (II). Anaporc, octubre, nº 204. Pp 26-34.

REBOLLAR, P. G. y MATEOS, G. G. (2000c): El fósforo en la nutrición animal. Necesidades, valoración de materias primas y mejora de la disponibilidad (III). Anaporc, noviembre, nº 205. Pp 27-46.

REID, R.; DOUGLAS, L.A. y CHALK, P.M. (1984): Application of piggery waste to soils in pots: effect on dy matter yield and uptake of nitrogen, potassium, calcium and magnesium by ryegrass and white clover. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry. Vol. 24, august. Pp 354-359.

REISENAUER, H. M.; WALSH, L. M. y HOEFT, R.G. (1973). In "Soil testing and plant analysis". Soil Sci. Soc. Am. J., Madison. Pp 173-200. Citado por MEEUS-VERDINNE, K. y DESTAIN, J. P. (1993).

ROBIN, D. y BIRLING, J.P. (1998): Prédire la libération de l'azote des fertilisants organiques. PHM Revue Horticole, nº 391. Pp 20-23.

ROBINSON, R. G. (1970): Agron. J., 62, 5. Pp 665-666. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

RODRIGUEZ FERRI, E. F. (1993): Control de excretas en las granjas. Aspectos sanitarios de la contaminación por sus residuos. Porci, 18. Pp 19-28. Citado por DAUDIN IBÁÑEZ (1995).

RODRIGUEZ GIL, A. (2000): La evaporación en el proceso de tratamiento de los purines de cerdo. Residuos, nº 53. Pp 37-38.

ROLLIER, M. (1972): Boulletin CETION, 46. Pp 3-9. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

ROMER, W. y SCHILLING (1986): Phosphorus requerements of the wheat plant in various stages of its life cycle. Plant and soil, 91. Pp 221-229.

ROSSI, G. (1998): Fertilization with pig slurry and urea: effect on N dynamics in a clay-loam soil. Terra e Sole, 53 (667/668). Pp 80-84.

ROUSTAN, J.L.; AUMAITRE, A. y BERNARD, C. (1979): Tentative measurements of animal manure odour. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 536-559.

SABATER, J. y LOBO, J. (2000): Tratamiento, reducción y valorización de purines de cerdo. Proceso Valpuren de Sener/SGT. Residuos, nº 53. Pp 48-50.

SAHU, S. K.; MITRA, G. N. y MISRA, U. K. (1990): Relationship between available micronutrients status of soils growing rice and micronutrient contents of rice plants. Journal of the Indian Soc. of Soil Sci., 38 (1). Pp 82-88.

SAINZ, L. (1990): Diccionario Tecnológico de Salud Pública Veterinaria. Ed. Tebar Flores. Albacete.

SÁNCHEZ BÁSCONES, M.; MULAS FERNÁNDEZ, R.; MUÑOZ SASTRE, E. y GONZÁLEZ HURTADO, J. (1993): Estudio del valor fertilizante del purín de ganado porcino (N, P y K). Comunicación al XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Salamanca, septiembre.

SAPEK, A (1986). The needs and development of chemical analysis of organic manure. Selected scientific papers from the Fifth Consultation of the FAO Cooperative Network on Animal Waste Utilization. Burgos, Spain, (13-16 may). Pp 57-69.

SAUER, W.; JORGENS, H. y MISIR, R. (1982): Determining amino acid availabilities in feedstuffs for swine ileal and fecal analysis. Feedstuffs, 54 (52). Pp 12-15. Citado por PIVA y col. (1993).

SAUMELL, H. (1980): Girasol. Técnicas actualizadas para su mejoramiento y cultivo. 2ª edición. Ed. Hemisferio Sur. 161 pp.

SCHAEFER, J. (1979): Development of instrumental methods for measuring odour levels in intensive livestock buildings. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 513-534.

SCHELLENBERG, P. (1982): Diseases transmissible through animal wastes. The situation in France. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 91-100.

SCHÜRER, E. (2000): Adding water to slurry: an efficient measure for reducing emissions?. Landtechnik, 55 (2). Pp 126-127.

SCOKART, P.O.; MEEUS-VERDINNE, K.; HOEING, M. y DE BORGER, R. (1984). Revue de l'Agriculture, 37 (4). Pp 1029-1042. Citado por MEEUS-VERDINNE, K. y DESTAIN, J. P. (1993).

SCOTFORD, I.M.; CUMBY, T.R.; WHITE, R.P.; CARTON, O.T.; LORENZ, F.; HATTERMAN, U. y PROVOLO, G. (1999): Estimation of the Nutrient Value of Agricultural Slurries by Measurement of Physical and Chemical Properties. Journal of Agricultural Engineering Research, nº 71. Pp 291-305.

SEDIYAMA, M. A. N.; VIDIGAL, S. M.; PEREIRA, P. R. G.; GARCÍA, N. C. P. y DE LIMA, P. C. (1998): Yield and mineral composition of carrots fertilized with organic residues. Bragantia, 57 (2). Pp 379-386.

SELLERS, R. F. (1982): Absolute safety. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 239-250.

SHAH , S. M.; KHAN, N. H. y IQBAL, M. M. (1989): Phosphoru-copper interaction studies in maize under field conditions. Sarhab Journal of Agriculture, 5(3). Pp 311-313.

SHERWOOD, M.T. (1979): The effects of landspreading of animal manures on water quality. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 379-390.

SHIELD, R.G.; MAHAN, D.C. y GRAHAM, P.L. (1983): Changes in swine body composition from birth to 145 Kg. J. Anim. Sci., 57. Pp 43-54. Citado por PIVA y col. (1993).

SIBBALD, I.R. (1987): Estimation of biovailable amino acids in feedingdtuffs for poultry and pigs: a review with emphasis on balance experiments. Can. J. Amin. Sci., 67 (2). Pp 211-300. Citado por PIVA y col. (1993).

SIELING, K.; GÜNTER-BORSTEL, O.; TEEBKEN, T. y HANUS, H. (1999): Soil mineral N and N net mineralization during autumn and winter under an oilseed rape-winter wheat- winter barley rotation in different crop management systems. Journal of Agricultural Science, Cambridge, nº132. Pp 127-137.

SIMONS, P.C.M.; VERSTEEG, H.A.J.; JONGBLOED, A.W.; KEMME, P.A.; SLUMP, P.; BOS, K.O.; BOLTERS, M.G.E.; BEUDEKER, R.F. y VERSCHOOR, G.J. (1990): Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broiler and pigs. Br. J. Nutr., 64. Pp 525-540. Citado por PIVA y col. (1993).

SKARDA M. (1977): Utilization of Animal Wastes for Crop Production. En Animal Wastes. Ed. by E. Paul Taiganides. Applied Science Publishers LTD. 429 págs. Pp 315- 327.

SKJEMSTAD, J.O.; VALLIS, I. y MYERS, R.J.K. (1987): Descomposition of soil organic nitrogen. Proc. Symp. Advances in N Cycing in Agricultural Ecosystems. Brisban.

SLUJIJMANS, C. M. J. y KOLENBRANDER, G. J. (1977): The significance of animal manure as a source of nitrogen in soil. Proceedings of Seminar on soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture, Tokyo. Pp 403-411.

SMELL, M. (1991): Feed and foot application of phytase. En Bioconversion of plant raw materials biotechnology of advancement. Ed. Marja-Leena Niku-Paavola. Pp 145-161. Technical research centre of Finland, Espoo. Citado por PIVA y col. (1993).

SMILDE, K. W. (1979): Effects of landspreading of large amounts of livestock excreta on crop yield and crop and water quality. . Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 23-29.

SMITH, K.A.; CHAMBERS, B.J. y JACKSON, D.R. (1994): Solid manures and animal waste slurries as a source of nitrogen in arable crop rotations. III Congreso internacional de Química de la ANQUE. Puerto de la Cruz. Tenerife. 5-7 didiembre 1994.

SMITH, K.A.; CHARLES, D.R. y MOORHOUSE, D. (2000): Nitrogen excretion by farm livestock with respect to land spreading requirements and controlling nitrogen losses to ground and surface waters. Part 2: pigs and poultry. Bioresource Technology, 71 (2). Pp 183-194.

SMITH, M.P.W. y EVANS, M.R. (1982): The effects of low dissolved oxigen tension during the aerobic treatment of piggery slurry in completely mixed reactors. Journal of Applied Bacteriology, nº53. Pp 117-126.

SMITH, S. J. y STANFORD, G. (1971): Evaluation of a chemical index of soil nitrogen availability. Soil Sci. 111. Pp 228-232.

SMITH, S. J.; YOUNG, L. B. y MILLER, G. E. (1977): Evaluation of soil nitrogen mineralization potential under modified field conditions. Soil Science Society America Journal, 41. Pp 74-76.

SOLIVA TORRENTÓ, M. (1993): Metodología analítica y expresión de resultados. En: Residuos ganaderos. Fundación "La Caixa". Barcelona. Pp 106-117.

SOMMER, S.G. y JACOBSEN, O.H. (1999): Infiltration of slurry liquid and volatilization of amonia from surface applied pig slurry as affected by soil water content. Journal of Agricultural Science, Cambridge, nº132. Pp 297-303.

SOON, Y. K. (1988): Nutrient uptake by barley roots under field conditions. Plant and Soil, 109. Pp 171-179.

SPALLACCI, P. y BOSCHI, V. (1979): Spreading of pig and cattle slurries on arable land: Lysimeter and field experiments. Effluents from Livestock. Ed. Grasser. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 241-274.

SRI- Silsoe Research Institute (2000): Inactividad patógena en purines de ganadería. Anaporc, noviembre, nº 205. Pp 146-147.

STAFFORD, D.A. (1993): Tratamiento de las deyecciones líquidas (orines) para la obtención de biogás y para conseguir, posteriormente, un líquido fertilizante y agua de calidad fluvial. En: Residuos ganaderos. Fundación "La Caixa". Barcelona. Pp 150-156.

STANFORD, G. (1978): Evaluation of ammonium release by alkaline permanganate extraction as an index of soil nitrogen availability. Soil Science, vol. 126, nº 4. Pp 244-253.

STANFORD, G.; CARTER, J. N. y SMITH, S. J. (1974): Estimates of potentially mineralizable soil nitrogen based on short-term incubations. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38. Pp 99-102.

STANFORD, G.; CARTER, J. N. y WESTERMANN, D. T. (1977): Residual nitrate and mineralizable soil nitrogen uptake by irrigated sugar beets. Agronomy Journal 69. Pp 303-308.

STANFORD, G.; LEGG, J. O. y SMITH, S. J. (1973): Soil nitrogen availability evaluations based on nitrogen mineralization potentials of soils and uptake of labeled nitrogen by plants. Plant Soil, 39. Pp 113-124.

STANFORD, G. y SMITH, S.J. (1972): Nitrogen Mineralization Potentials of Soils. Soil Sci. Soc. Amer, nº 36. Pp 465-472.

STANFORD, G. y SMITH, S.J. (1976): Estimating potentially mineralizable soil nitrogen from a chemical index of soil nitrogen availability. Soil Science, vol. 122, nº 2. Pp 71-76.

STANFORD, G. y SMITH, S.J. (1978): Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraction. Soil Science, vol. 126, nº 4. Pp 210-218.

STEWART, T.A. (1968): A rapid method for estimating the soluble nitrogen content of animal slurries. Record of the Ministry of Agriculture, 17. Pp 91-96.

STOIANOV, D. V. (1973): Dokl. S.-h. Akad. G. Dimitrov, 6, 2. Pp 117-153. Citado por VIROEL VRÂNCEANU (1977).

STRAUCH, D. (1982a): The situation in the Federal Republic of Germany. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 81-89.

STRAUCH, D. (1982b): Effects of methods of slurry treatment on microbiological safety. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 223-237.

SUMMERS RIVERO, P. (1981): La nutrición y fertilización del girasol. Revista Fertilización, nº 90. Pp 13-29.

SUTTON, A.L.; MAYROSE, V.B.; NYE, J.C. y NELSON, D.W. (1976): Effect of dietary salt level and liquid handling systems on swine waste composition. Journal of animal Science, vol. 43, nº 6. Pp 1129-1134.

SWERTS, M.; DENDOOVEN, L.; MERCK, R. y VLASSAK, K. (1992): Dejections animales. 2.1. Volatilisation de l'ammoniac après application de lisier. Rev. De l'Agriculture, vol. 45, nº 2. Pp 265-274. Citado por BATLLÓ (1993).

TAIGANIDES, E. P. (1977): Composting of Feedlot Wastes. En Animal Wastes. Ed. by E. Paul Taiganides. Applied Science Publishers LTD. 429 págs. Pp 241-251.

TAM, N.F.Y. y WONG, Y.S. (1995): Spent pig litter as fertilizer for growing vegetables. Bioresource Technology, nº 53. Pp 151-155.

TARRE, S.; RAVIV, M. y SHELEF, G. (1987): Composting of Fibrous Solids from Low Manure and Anaerobically Digested Manure. Biological Wastes, 19 (4). Pp 299-308.

THIBAUDEAU, S. (1997): Fumier solide ou liquide: quelle est la différence?. En Soil/Fumier, octubre, nº18. Pp 32-35.

THOMPSON, L. M. y TROEH, F. R. (1988): Los suelos y su fertilidad. 4ª edición. Ed. Reverté. 649 pp.

THORNE, G. N.; DARBY, R.J.; DAY, W.; LANE, P. W.; WELBANK, P. J. y WIDDOWSON, F. V. (1988): Variation between years in growht and nutrient uptake after anthesis of winter wheat on Broadbalk field at Rothamsted, 1969-1984. J. Agric. Sci Camb. 110. Pp 543-559.

TITULAER, H.H.. (1999): Phosphate utilization of animal manure. PAV-Bulletin Akkerbouw, october, Netherlands. Pp 18-20.

TORRES FERNANDEZ, E. (1993): Plan de tratamiento de residuos ganaderos. Experiencia en Cataluña. En: Residuos ganaderos. Fundación "La Caixa". Barcelona. Pp 75-97.

TUNNEY, H. (1977): Animal Manures. Johnstomn Castle. Res. Centre. (intern. Repp.). 4 págs. Citado por LEIROS y col. (1983).

TUNNEY, H. (1979): Dry matter, specific gravity, and nutrient relationships of cattle and pig slurry. En: Engineering problems with effluents from livestock. Ed. J. C. Hawkins. Proc. C. E. C. Seminar, Cambridge, England Publ. C. E. C. Luxembourg. Pp 430-447. Citado por TUNNEY (1986), KELLY y COLLINS (1982) y LEIROS y col. (1983).

TUNNEY, H. (1985): Slurry Meter: rapid field test for estimating dry matter and fertiliser value of slurry. En: Efficient land use of sludge and manure. Ed. by DAM KOFOED, A.; WILLIAMS, J. H. y L'HERMITE, P. Elsevier applied science publishers, 245 pp. Pp 206-215.

TUNNEY, H. (1986): Manure nutrient composition: rapid methods of assessment. Selected scientific papers from the Fifth Consultation of the FAO Cooperative Network on Animal Waste Utilization. Burgos, Spain, may. Pp 131-143.

TUNNEY, H. y MOLLOY, S. (1975a): Variations between farms in N, P, K, Mg and dry matter composition of cattle, pig and poultry manures. Iris Journal of Agricultural Research, 14. Pp 71-79.

TUNNEY, H, y MOLLOY, S. (1975b): Fiels test for estimating dry matter and fertiliser value of slurry. Preliminary report. Irish Journal of Agricultural Research, vol. 14, nº 1. Pp 84-86.

TUNNEY, H.; MOLLOY, S. y CODD, F. (1979): Effects of cattle slurry, pig slurry and fertiliser on yield and quality of grass silage. Effluents from Livestock. Ed. Grasser 1980. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 327-343.

TYLOR, R. J. y BURROWS, M. R. (1971): The survival og *Escherichia coli* and *Salmonella dublin* in Slurry on Pasture and the Infectivity of *S. dublin* for Grazing Calves. Brit. Vet. J., 127. Pp 536-543. Citado por KELLY y COLLINS (1982).

TYLOR, R. J. (1973): A Further Assesment of the Potential Hazard for Calvea Allowed to Graze Pasture Contaminated with *Salmonella dublin* in Slurry. Brit. Vet. J., 129. Pp 354-359. Citado por KELLY y COLLINS (1982).

UNWIN, R.J. (1980). In: Copper in Animal Wastes and sewage sludge, Proc. EEC Workshop, Bordeaux (F). Pp 102-116. Citado por MEEUS-VERDINNE, K. Y DESTAIN, J. P. (1993).

URBANO TERRÓN, P. (1985): Aplicación de estiércol fluido mediante riego por aspersión. Agricultura, año LIV, nº 632, marzo. Pp 180-182.

VAN DE MAELE, F. y COTTENIE, A. (1979): Comparison of the leaching patterns of nutrient elements from mineral fertilisers and liquid manure. Effluents from Livestock. Ed. Grasser 1980. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 287-297.

VAN DEN ABBEL, R.; PAULUS, D.; RUYSSCHER, C. y VLASSAK, K. (1989): Gaseous N losses after the application of slurry important or not?. Actes del Symposium "Fertilization and environment", 27-30 agost. Citado por BATLLÓ (1993).

VAN DER ZEE, A. (1988): De mestproblematiek in Vlaanderen, OVAM, Mechelen (B). Citado por MEEUS-VERDINNE, K. y DESTAIN, J. P. (1993).

VAN FAASSEN, H.G. y VAN DIJK, H. (1987): Manure as a source of nitrogen and phosphorus in soils. Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Pp 27-44.

VAN STAPPEN, R.; HUYSMAN, F. y VERSTRAETE, W. (1990). Fertilization and the Environment. Ed. by Merckx-Vereecken-Vlassak. Pp 264-274. Citado por MEEUS-VERDINNE, K. y DESTAIN, J. P. (1993).

VELTHOF, G. L.; ERP, P. J.; VAN, P. J. y STEEVENS, J. C. A. (1999): Meststoffen, nº 1999. Pp 33-43.

VENGLOVSKÝ, J.; PACAJOVÁ, Z.; SASÁKOVÁ, N.; VUCEMILO, M. y TOFANT, A. (1999): Adsorption properties of natural zeolite and bentonit in pig slurry from the microbiological point of view. Veterinari Medicine, nº 11. Pp 339-344.

VERGER, J. M. (1982): Prevalence and survival of Brucella species in manures. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 157-160.

VERMES, L. (1980): Recommended analytical methods for the first priority components of liquid manure. Intermediate report of subnetwork 4 on “Collection and evaluation of different liquid manure sampling and analysing methods in order to get comparable results”, FAO European network on animal waste utilization. Budapest. 29 pp.

VETTER, H. (1979): Summary of session I. Effluents from Livestock. Ed. Grasser 1980. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 276-283.

VETTER, H. y STEFFENS, G. (1979): Influence of different slurry dressings on the yield and quality of plants, and the nutrient contents of the shallow groundwater and of the soil. Effluents from Livestock. Ed. Grasser 1980. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 219-240.

VETTER, H. y STEFFENS, G. (1986): Economical use of slurry on arable land without causing damages on soil, water and plants and with small odour emissions. Selected scientific papers from the Fifth Consultation of the FAO Cooperative Network on Animal Waste Utilization. Burgos, Spain, May. Pp 99-117.

VETTER, R. y RÜPRICH, W. (1979): Investigations into the treatment of animal excrements by aeration to reduce smell, aid disinfection and reduce volume. Effluents from Livestock. Ed. Grasser 1980. Applied Science Publishers LTD (London). Pp 580-607.

VILAIN, M. (1997): La production végetale. “La maîtrise technique de la production”. Agriculture d’aujourd’hui. Vol. 2, 2e édition. Ed. Lavaisier Tec&Doc. 449 pp.

VILLAR CELORIO, M. C.; DIAZ FIERROS, F.; CABANEIRO, A.; LEIROS, M. C.; GIL SOSTRES, F.; CARBALLAS, M. y CARBALLAS, T. (1985): Métodos rápidos para la caracterización del purín de vacuno. Anales de Edafología y Agrobiología. Pp 195-204.

VILLENEUVE, F. (1997): Matière organique & production intégrée. Infos (París) nº 134. Pp 28-33.

VIROEL VRÂNCEANU, A. (1977): El girasol. Ed. Mundi Prensa. 379 pp.

VOERMANS, J.A.M. (1998): Últimas tecnologías en la eliminación de purines en Holanda. Anaporc, nº 176 (marzo). Pp 77-83.

VOORBURG, J. H. (1991): Utilisation of animal manure to avoid pollution. The Fertiliser Society, 304. Pp 1-16.

VOURINEN, A.H. y SAHARINEN, M.H. (1999): Cattle and pig manure and peat composting in a drum composting system: microbiological and chemical parameters. Compost Science & Utilization, 7 (3). Pp 54-65.

WALLACE, A.; MUELLER, R. T. y ALEXANDER, G. V. (1978): Influence of phosphorus on zinc, iron, manganese and copper uptake by plants. Soil Sci., 126 (6). Pp 336-341.

WALTON, J. R. (1982): Communicble diseases of farm animals associated with manures: the U.K. situation. Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsprearing of manures. Commission of the European Communities. Pp 129-136.

WANG, T.C. (1988): The ideal protein for growing pigs. PhD thesis, University of Aberdeen, Scotland. Citado por PIVA y col. (1993).

WARMAN, P.R. (1986): Effects of Fertilizer, Pig Manure, nd Sewage Sludge on Timothy and Soils. Journal of Environmental Quality, vol. 15, nº 2 (april-june). Pp 95-99.

WARNEMUENDE, E. A.; BAKER, J. L.; KANWAR, R. S.; LORIMOR, J. C.; MICHELSON, S. y MELVIN, S.W. (1999): The effects of swine manure application systems on surface and groundwater quality. In ASAE/CASAE_SCGR Annual International Meeting, Toronto, Ontario, Canada, 18-21 July.

WESTEMAN, P.W. y BICUDO, J.R. (2000): Tangential separation and chemical enhancement to recover swine manure solids, nutrients and metals. Bioresource Technology, nº 73. Pp 1-11.

WHALEN, J. K.; CHANG CHI; CLAYTON, G. W. y CAREFOOT, J. P. (2000): Cattle manure amendments can increase the pH of acid solils. Soil Science Society of America Journal, 64 (3). Pp 962-966.

WHITE, R. K. (1977): Lagoon Systems for Abimal Wastes. En Animal Wastes. Ed. by E. Paul Taiganides. Applied Science Publishers LTD. 429 págs. Pp 213-232.

WHITEHEAD, D. C. (1981): An improved chemical extraction method for predicting the supply of available soil nitrogen. Journal of Science, Food and Agriculture, 32. Pp 359-365.

WHITTEMORE, C.T. (1977): The prediction of growth response in pigs. Recents Advances in Animal Nutrition. Ed. Haresign, Butterworths. Pp 158-166. Citado por PIVA y col. (1993).

WILLERS, H.C.; DERIKX, P.J.L.; TEN HAVE, P.J.W. y VIJN, T.K. (1998): Nitrification limitation in animal slurries at higt temperatures. Bioresource Technology, nº 64. Pp 47-54.

WILLIAMS, A. G. y STREADER, W. V. (1990): A Comparison of Models for predigting Slurry production on a Pig Farm. Biological Wastes, 31. Pp 187-197.

WINKLER, W. (1991): Le lisier excédentaire. Comptes rendues de l'Académie d'Agriculture de France, vol. 77, nº 1. Pp 127-135.

WOLT, J.D.; SAFLEY, L.M., Jr.; LESSMAN, G.M. y SMITH, M.C. (1984): Influence of Time of Injection of Liquid Swine Waste on Silage Yield and Nutrient Content of Corn. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, vol 27, nº 4. Pp 1135-1139.

WRAY, C. (1975): Survival and spread of pathogenic bacteria of veterinary importance within the environment. Vet. Bull, 45. Pp 543-550. Citado por EDEL (1982).

WRIGHT, W.R. (1978): Laboratory and Field Mineralization of Nitrogen from Fermentation Residues. Journal of Environmental Quality, vol. 7, nº 3. Pp 343-346.

YANG, P.Y.; NAGANO, S.Y.; LIN, J.K. y WONG, U.T. (1982): Integrated Swine Waste Management System- A Preliminary study. 36th Industrial Waste Conference. Ann. Arbor Science. Pp 405-413.

YANG, P.Y. y NAGANO, S.Y. (1984): Integrating Anaerobic Digestion and Algal-biomass Treatment Processes for Swine Wastewater. 38th Industrial Waste Conference. Ann. Arbor Science. Pp 141-161.

YANG, P.Y. y WANG, Z. (1999): Integrating an intermittent aerator in a swine wastewater treatment system for land-limited conditions. Bioresource Technology, nº 69. Pp 191-198.

YE, Z.H.; WONG, J.W.C.; WONG, M.H.; LAN, C.Y. y BAKER, A.J.M. (1999): Lime and pig manure as ameliorants for revegtating lead/zinc mine tailings: a greenhouse study. Bioresource Technology, nº 69. Pp 35-43.

YUN, S.-I. y OHTA, Y. (1997): Some Physiological Properties of Microorganisms Capable of deodorizing Farm Animal Feces. Bioresource Technology, nº 60. Pp 21-26.

ZHU, J. y JACOBSON, L.D. (1999): Correlating Microbes to Major Odorous Compounds in Swine Manure. Journal of Environmental Quality, vol. 28, nº 3 (may-june). Pp 737-744.

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

APÉNDICE 1: ANÁLISIS DE LOS PURINES

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

APÉNDICE 1: ANÁLISIS DE LOS PURINES

Tabla AP1.1: Análisis de las 151 muestras de purín.

- Los datos se dan sobre material húmedo.
- Tipos de explotación:

  1 Maternidad
  2 Ciclo cerrado
  3 Engorde

Tabla AP1.1: Análisis de los purines de ganado porcino.

Mues (nº)	Tipo expl.	Cond. (S m^{-1})	Densid. (g cm^{-3})	pH (1:2)	M. seca (g kg^{-1})	Ceniz. (g kg^{-1})	M. org (g kg^{-1})	Clor. (g kg^{-1})	NH_4-N (g kg^{-1})	Inor-N (g kg^{-1})	Or -N (g kg^{-1})	Tot-N (g kg^{-1})	Inor-P (g kg^{-1})	Or - P (g kg^{-1})	Tot -P (g kg^{-1})
1	3	1,763	1,028	7,51	62,40	17,55	44,90	1,031	3,42	4,81	1,67	6,48			1,539
2	2	1,973	1,013	7,63	37,70	11,65	25,95	1,287	2,73	4,19	0,24	4,43	0,670		0,708
3	2	1,296	1,013	7,48	29,80	11,11	18,76	0,906	2,06	2,62	0,52	3,14	0,724		0,913
4	2	0,201	1,001	7,76	4,30	1,35	3,07	0,144	0,12	0,41	0,80	1,21			0,080
5	2	0,831	1,035	7,32	84,88	14,70	70,19	0,556	1,44	3,56	0,81	4,37			1,337
6	2	0,942	1,007	8,06	10,69	3,40	7,28	0,473	0,88	1,69	0,42	2,11			0,210
7	3	1,490	1,011	7,60	22,47	7,36	15,11	0,706	1,98	3,02	1,02	4,04	0,428		0,612
8	1	1,155	1,007	8,00	16,97	5,25	11,72	0,655	1,45	1,82	0,67	2,49	0,526		
9	3	2,502	1,008	7,62	18,11	7,12	10,98	0,998	2,33	3,26	0,41	3,67			0,340
10	3	2,824	1,009	7,44	20,23	8,49	12,01	1,208	2,85	3,63	0,52	4,15	0,398		0,549
11	2	0,962	1,052	7,33	124,17	42,69	81,50	0,750	2,46	6,28	2,51	8,79	3,210		3,860
12	1	1,367	1,006	7,32	7,64	3,26	4,38	0,566	1,49	2,41	1,06	3,47	0,432		
13	1	1,469	1,010	6,79	16,15	5,49	10,66	0,821	2,10	2,35	1,35	3,70	0,615		0,643
14	3	1,365	1,007	7,01	10,32	3,83	7,39	0,644	1,32	1,87	1,50	3,37	0,393		
15	1	0,944	1,007	7,49	14,02	4,57	9,46	0,588	0,78	1,82	1,55	3,37	0,520		0,585
16	3	1,157	1,041	6,59	117,53	25,71	91,82	0,963	2,45	5,77	2,27	8,04			2,503
17	1	1,302	1,008	7,40	12,12	4,38	7,74	0,741	1,32	1,53	0,50	2,03			0,376
18	3	1,704	1,012	7,43	27,12	10,04	17,09	0,829	2,02	2,65	0,39	3,04			0,830
19	2	0,737	1,006	7,26	14,26	4,14	10,12	0,377	0,98	1,08	0,34	1,42	0,350		0,389
20	2	0,536	1,032	6,84	127,95	19,69	108,26	0,359	0,82	0,91	1,58	2,49	1,343		1,358
21	2	0,954	1,004	7,37	4,71	2,16	2,57	0,389	1,06	1,38	0,44	1,82	0,170		0,197
22	2	1,938	1,012	6,86	15,52	6,62	8,90	1,170	2,09	2,65	1,07	3,72			0,312
23	1	0,906	1,060	7,48	132,20	45,73	86,47	0,501	2,42	4,40	1,77	6,17			3,541
24	3	1,565	1,008	7,26	13,54	6,20	7,34	0,722	1,67	1,95	1,31	3,26	0,273		0,332
25	1	0,984	1,033	7,22	76,48	14,72	61,77	0,617	1,16	2,10	0,49	2,59			1,189
26	2	0,939	1,008	7,41	10,21	3,64	6,57	0,369	0,55	1,34	0,34	1,68	0,227		
27	1	0,552	1,005	7,30	3,65	2,25	1,40	0,698	0,10	1,22	0,76	1,98	0,047		0,057
28	1	1,109	1,007	7,63	7,63	2,76	4,87	0,506	0,82	2,04	0,70	2,74	0,110		0,110
29	1	2,810	1,012	7,42	13,58	5,47	8,11	1,023	1,92	2,99	2,13	5,12			0,338
30	3	2,664	1,012	7,23	18,82	5,44	12,06	0,819	1,93	2,34	1,01	3,35	0,230		0,250
31	2	1,630	1,012	7,40	23,38	7,44	15,94	0,739	1,91	3,22	0,94	4,16	0,807		0,853
32	3	1,339	1,007	7,01	8,24	4,96	7,81	0,696	1,13	1,95	0,44	2,39			0,303
33	1	1,757	1,007	8,00	7,00	4,91	2,09	1,161	0,98	1,73	1,14	2,87			0,095
34	2	1,519	1,007	7,57	12,72	4,83	7,89	0,675	1,58	1,96	1,36	3,32	0,240		0,251
35	3	1,411	1,004	7,33	9,72	3,87	5,84	0,681	1,59	2,29	0,91	3,20	0,161		0,169
36	3	1,499	1,007	7,00	13,21	5,08	7,63	0,700	1,11	1,88	0,27	2,16			0,269
37	1	1,323	1,011	7,57	16,78	5,37	10,49	0,685	1,04	1,73	0,66	2,39			0,530
38	2	1,233	1,011	7,59	17,59	6,92	10,67	0,670	1,28	2,25	0,40	2,65			1,011
39	3	1,850	1,094	6,55	199,50	38,89	160,66	1,824	3,00	4,39	6,82	11,21	3,313		3,322
40	3	1,800	1,044	6,94	171,29	29,05	132,24	1,531	2,52	4,23	2,47	6,70	2,673		2,703
41	1	0,725	1,008	7,26	14,04	4,49	9,55	0,428	0,96	1,53	0,51	2,04	1,327		
42	1	0,833	1,009	7,39	13,93	5,06	8,86	0,534	1,06	1,60	0,45	2,05	1,325		1,422
43	3	1,312	1,011	7,38	34,45	4,86	31,10	0,775	0,81	1,67	0,62	2,29			0,558
44	2	1,388	1,009	7,26	13,64	4,94	8,69	0,856	0,69	1,35	0,61	1,96	0,313		0,315
45	3	0,798	1,057	7,09	99,72	20,72	79,00	0,681	1,27	2,99	0,59	3,58	1,600		1,711
46	1	1,235	1,009	7,57	12,67	3,48	10,46	0,506	1,35	2,27	0,71	2,98	0,477		
47	1	1,168	1,017	7,32	39,75	12,27	27,49	0,703	1,13	1,77	0,89	2,66			1,134
48	1	0,587	1,005	6,23	10,37	3,19	7,18	0,526	0,65	1,44	0,94	2,38	0,332		0,349
49	3	0,770	1,005	7,70	5,73	2,27	3,46	0,261	0,65	1,50	0,40	1,90	0,203		0,231
50	1	1,378	1,006	6,82	5,39	2,75	2,67	0,775	1,12	1,40	0,89	2,29	0,102		0,102

Mues (nº)	Tipo expl.	Cond. (S m^{-1})	Densid. (g cm^{-3})	pH (1:2)	M. seca (g kg^{-1})	Ceniz. (g kg^{-1})	M. org (g kg^{-1})	Clor. (g kg^{-1})	NH_4-N (g kg^{-1})	Inor-N (g kg^{-1})	Or -N (g kg^{-1})	Tot-N (g kg^{-1})	Inor-P (g kg^{-1})	Or - P (g kg^{-1})	Tot -P (g kg^{-1})
51	1	1,140	1,006	7,68	5,37	2,93	2,44	0,659	0,65	1,37	0,42	1,79			0,193
52	3	2,020	1,010	7,89	1,71	5,61	6,09	1,175	1,45	1,72	1,20	2,92	0,253		0,254
53	1	1,750	1,011	7,56	17,74	6,97	10,61	0,789	0,76	1,56	1,40	2,96	0,183	0,053	0,237
54	1	1,458	1,012	7,62	6,26	2,92	3,33	0,642	0,61	1,40	0,68	2,08	0,171	0,036	0,207
55	2	1,207	1,000	7,60	9,51	3,94	5,56	0,672	0,46	1,26	0,35	1,61	0,110	0,043	0,153
56	3	1,682	1,028	7,31	57,22	15,65	41,57	0,456	1,62	2,64	1,28	3,92	1,397	0,143	1,540
57	2	1,484	1,046	7,37	122,89	16,73	106,16	0,753	0,92	1,63	1,17	2,80	1,099	0,295	1,393
58	2	1,437	1,010	8,10	9,83	4,58	5,25	0,751	2,00	2,28	0,72	3,00	0,368	0,072	0,440
59	3	1,116	1,009	7,52	10,86	4,80	6,05	0,787	0,66	1,63	0,40	2,03	0,159	0,051	0,210
60	3	1,955	1,028	7,83	115,87	26,62	89,24	1,670	5,62	6,15	1,86	8,01	1,706	0,477	2,183
61	1	0,566	1,003	8,40	2,29	1,19	1,12	0,386	0,26	0,88	0,64	1,52	0,039	0,007	0,047
62	2	1,230	1,006	7,42	7,64	3,51	4,12	0,630	1,00	1,21	0,37	1,58	0,185	0,032	0,217
63	1	1,012	1,010	7,34	8,30	3,20	5,10	0,606	0,96	1,59	0,51	2,10	0,131	0,039	0,170
64	1	1,046	1,013	7,36	24,00	5,85	18,15	0,615	1,07	1,38	0,43	1,81	0,313	0,092	0,405
65	1	1,130	1,009	7,49	14,10	4,28	9,81	0,754	0,84	1,40	0,39	1,79	0,265	0,062	0,327
66	3	3,038	1,017	7,33	43,65	13,00	30,85	1,115	3,41	4,17	0,84	5,01	0,776	0,219	0,995
67	3	1,550	1,008	7,43	14,05	4,36	9,69	0,867	1,71	1,96	0,37	2,33	0,198	0,047	0,245
68	3	1,187	1,050	6,91	135,86	25,41	110,39	0,797	3,36	4,50	2,14	6,64	2,230	0,570	2,800
69	1	3,310	1,014	7,92	11,67	4,90	6,77	1,253	2,41	2,84	0,94	3,78	0,245	0,057	0,302
70	1	1,011	1,009	7,66	27,87	7,61	20,26	0,511	2,04	2,52	1,15	3,67	0,637	0,170	0,807
71	1	2,026	1,008	7,39	15,85	4,96	10,89	0,850	2,27	2,46	1,15	3,61	0,281	0,059	0,340
72	1	0,712	1,001	7,36	5,77	2,95	2,80	1,000	0,36	0,84	0,78	1,62	0,089	0,021	0,110
73	3	2,210	1,012	7,24	19,42	6,52	12,90	1,104	2,76	3,25	0,57	3,82	0,221	0,059	0,280
74	2	1,232	1,008	7,36	6,56	2,91	3,64	0,555	1,02	1,62	0,81	2,43	0,115	0,028	0,143
75	1	1,143	1,004	7,68	8,20	3,25	4,95	0,695	0,65	0,91	1,38	2,29	0,140	0,037	0,177
76	1	1,703	1,007	7,35	14,37	4,44	10,92	0,812	2,17	2,69	0,20	2,49	0,226	0,057	0,283
77	2	1,208	1,019	7,61	60,06	12,42	49,30	0,979	3,61	3,80	0,47	4,27	1,138	0,025	1,163
78	2	1,686	1,012	8,50	19,26	6,37	12,89	0,890	2,65	2,89	0,38	3,27	0,448	0,022	0,470
79	1	1,885	1,008	7,55	17,55	6,34	11,20	0,831	2,70			3,01	0,325	0,114	0,439
80	1	1,306	1,008	8,65	13,70	4,21	9,49	0,719	1,14			1,48	0,278	0,035	0,313
81	2	1,450	1,024	7,70	43,07	12,02	31,05	0,819	2,41	3,28	0,36	3,64	1,095	0,130	1,225
82	2	1,834	1,032	7,85	59,11	14,77	44,34	1,262	3,51	4,07	0,71	4,78	1,398	0,125	1,523
83	3	3,630	1,040	8,00	52,93	24,40	28,53	5,476	10,26	10,78	1,41	12,19	1,442	0,032	1,474
84	1	0,827	1,012	7,96	3,93	1,83	2,10	0,531	0,57			1,01	0,040	0,003	0,043
85	2	1,692	1,013	7,85	19,34	6,03	13,31	1,075	2,03	2,52	0,34	2,86	0,467	0,040	0,507
86	3	1,870	1,023	7,83	46,90	10,68	36,22	1,218	2,67	3,84	0,30	4,13	0,956	0,064	1,019
87	1	1,500	1,019	7,83	41,97	11,08	30,89	1,027	2,31			3,77	0,902	0,155	1,057
88	1	1,940	1,008	8,50	7,23	3,61	3,62	1,272	2,55			2,71	0,076	0,011	0,087
89	1	1,250	1,007	8,05	20,24	5,74	14,50	0,809	1,61			2,30	0,386	0,115	0,500
90	1	1,230	1,007	8,05	4,47	2,58	1,89	0,737	1,28	1,30	0,19	1,49	0,093		
91	1	1,624	1,019	7,96	10,56	4,47	6,14	0,840	1,83	2,05	0,08	2,14	0,247		
92	1	0,595	1,004	7,76	4,33	1,96	2,36	0,297	0,44	0,61	0,46	1,08	0,120		
93	3	0,907	1,011	7,99	75,54	26,96	48,58	0,890	2,77			4,14	2,135	0,427	2,562
94	3	1,938	1,011	8,00	8,24	4,40	3,84	1,037	2,32			2,83	0,148		
95	1	1,240	1,007	7,95	5,63	2,78	2,85	0,650	1,64	1,66	0,15	1,81	0,173		
96	1	1,254	1,010	7,87	11,84	4,73	7,11	0,637	1,64	1,73	0,05	1,78	0,303	0,006	0,309
97	3	1,740	1,013	7,84	24,16	8,24	15,94	0,846	2,53	2,74	0,21	2,95	0,367	0,114	0,480
98	3	1,620	1,012	7,81	34,54	10,71	23,83	1,047	2,56	2,83	0,30	3,12	0,663	0,047	0,710
99	3	1,877	1,012	7,89	12,38	5,56	7,16	1,106	1,88			2,42	0,232	0,039	0,270
100	1	1,682	1,008	7,95	6,08	2,95	3,13	1,056	1,57			1,93	0,072		

Mues (nº)	Tipo expl.	Cond. (S m^{-1})	Densid. (g cm^{-3})	pH (1:2)	M. seca (g kg^{-1})	Ceniz. (g kg^{-1})	M. org (g kg^{-1})	Clor. (g kg^{-1})	NH_4-N (g kg^{-1})	Inor-N (g kg^{-1})	Or -N (g kg^{-1})	Tot-N (g kg^{-1})	Inor-P (g kg^{-1})	Or - P (g kg^{-1})	Tot -P (g kg^{-1})
101	2	1,624	1,033	7,13	81,89	18,68	63,24	0,928	2,88	4,39	0,17	4,56	1,653	0,082	1,736
102	1	1,224	1,007	8,20	7,25	3,15	4,11	0,769	1,17	1,57	0,06	1,63	0,122	0,045	0,167
103	2	1,842	1,015	7,56	45,40	15,61	29,79	1,131	2,87	2,87	1,01	3,88	0,867	0,468	1,335
104	1	1,031	1,022	7,82	88,30	23,74	64,56	0,981	2,01	3,43	0,21	3,64	1,922	0,403	2,324
105	1	1,640	1,013	8,15	16,82	7,88	8,95	1,134	1,71			2,42	0,943		
106	3	1,548	1,028	8,00	62,07	15,28	46,79	1,159	2,73	4,12	0,92	5,04	1,183	0,327	1,510
107	1	1,378	1,008	7,95	8,71	3,85	4,86	0,896	1,35	1,94	0,10	2,04	0,262		
108	3	1,719	1,011	7,93	15,06	6,41	8,65	1,378	1,59	2,24	0,15	2,39	0,417		
109	1	0,931	1,007	8,15	12,53	6,60	5,92	1,550	0,04			0,67	0,290		
110	3	1,813	1,017	7,96	28,35	9,07	19,28	1,037	2,03	3,05	0,47	3,52	0,535	0,162	0,697
111	3	1,684	1,015	7,15	101,13	26,22	74,91	0,984	3,22	4,79	0,49	5,28	1,992	0,521	2,513
112	3	1,974	1,017	8,05	23,98	12,04	11,94	1,350	2,33	3,17	0,13	3,30	0,860	0,018	0,878
113	3	1,306	1,020	7,60	110,25	26,04	84,30	0,956	2,33	4,25	0,45	4,70	1,675	0,479	2,154
114	3	1,565	1,012	8,05	15,40	8,22	7,18	1,247	1,20	1,77	0,26	2,03	0,332		
115	2	1,093	1,007	7,83	8,31	3,02	5,28	0,690	1,31			1,69	0,133	0,019	0,152
116	1	1,832	1,010	8,00	11,74	5,84	5,90	1,303	2,16	2,26	0,29	2,55	0,162		
117	1	1,134	1,019	8,15	100,86	22,10	78,76	1,068	2,61	4,08	0,53	4,61	2,087	0,372	2,458
118	1	1,208	1,019	7,53	12,94	6,29	6,83	1,265	2,39			2,76	0,225		
119	3	1,558	1,015	7,76	34,13	8,65	25,48	0,875	2,27	3,03	0,30	3,32	0,805	0,104	0,909
120	3	1,127	1,020	7,90	33,94	12,24	21,69	1,181	3,31	3,95	0,63	4,58	0,774		
121	1	1,790	1,029	7,70	58,38	16,66	41,70	1,115	2,98	3,61	0,97	4,57	1,237	0,189	1,426
122	1	0,963	1,013	8,00	12,17	6,06	6,11	1,734	2,68	3,05	0,09	3,15	0,105		
123	1	0,578	1,005	7,90	5,10	2,97	2,13	0,315	0,47			0,69	0,039	0,017	0,056
124	3	0,700	1,020	7,40	57,74	8,57	49,12	0,444	1,63	2,75	0,58	3,33	0,770	0,152	0,922
125	3	1,355	1,010	8,35	10,61	3,95	6,66	0,885	2,13	2,61	0,26	2,87	0,133	0,038	0,171
126	2	0,533	1,011	7,13	17,97	2,59	8,95	0,373	0,70	1,11	0,26	1,37	0,178	0,014	0,192
127	1	0,658	1,008	7,52	12,95	3,98	8,97	0,444	0,87	1,18	0,18	1,36	0,353	0,048	0,401
128	3	0,550	1,010	7,70	14,06	5,85	8,21	0,752	1,55	1,67	0,17	1,84	0,310	0,061	0,371
129	3	5,166	1,032	7,61	50,00	16,80	33,17	1,556	5,33	6,47	0,33	6,80	1,417	0,291	1,708
130	1	1,782	1,011	7,62	10,77	5,00	5,77	1,431	2,38	2,43	0,12	2,55	0,223	0,048	2,710
131	2	0,850	1,007	7,44	6,88	2,73	4,15	0,685	1,13			1,28	0,183	0,049	0,232
132	2	3,906	1,014	8,40	14,98	5,70	9,27	1,327	3,43	3,69	0,42	4,11	0,447	0,152	0,599
133	1	0,453	1,005	6,66	4,68	1,10	3,58	0,314	0,36	0,53	0,08	0,61	0,103	0,027	0,130
134	1	7,518	1,032	7,49	90,55	24,33	66,22	3,088	6,28	7,21	1,10	8,31	2,233	0,362	2,595
135	2	1,268	1,007	7,40	8,56	3,96	4,61	0,789	0,95	1,03	0,85	1,88	0,553	0,110	0,663
136	1	1,088	1,007	8,30	5,35	3,66	1,69	0,827	0,65	0,69	0,08	0,77	0,053	0,014	0,067
137	1	1,457	1,017	7,69	29,38	9,81	19,57	0,727	1,92	2,19	0,60	2,79	0,603	0,222	0,826
138	2	1,678	1,042	5,85	99,96	15,05	84,36	0,967	2,82	4,46	0,66	5,12	0,747	0,194	0,941
139	3	4,125	1,036	7,52	96,33	16,74	78,63	1,663	4,08	4,92	0,93	5,85	0,929	0,382	1,311
140	3	1,547	1,014	7,11	23,78	6,92	16,86	0,857	1,82	2,07	0,67	2,74	0,509	0,153	0,661
141	1	4,704	1,037	8,30	68,51	20,11	48,40	1,315	3,73	4,71	1,05	5,76	1,190	0,905	2,095
142	3	4,113	1,013	6,80	22,53	6,33	15,53	1,052	2,91	2,94	0,63	3,57	0,345	0,090	0,435
143	1	1,559	1,014	8,10	5,72	3,73	1,99	0,897	1,38	1,56	0,43	1,99	0,070	0,015	0,085
144	1	1,930	1,023	7,52	52,08	18,88	33,19	2,485	1,26	1,76	0,72	2,48	0,663	0,124	0,787
145	3	1,718	1,010	7,99	9,15	4,18	4,97	0,952	1,76	2,05	0,67	2,72	0,112	0,032	0,144
146	3	0,738	1,005	7,99	4,17	1,56	2,61	0,431	0,84	0,89	0,18	1,07	0,096	0,023	0,118
147	3	4,770	1,022	8,00	27,11	10,34	16,77	1,502	4,06	5,84	0,36	6,20	0,551	0,115	0,665
148	3	1,324	1,008	7,45	7,83	3,67	4,16	0,835	1,41			1,87	0,152	0,019	0,171
149	2	1,267	1,035	7,44	85,75	16,26	69,49	0,994	2,25	3,57	0,75	4,32	0,896	0,324	1,220
150	1	1,418	1,015	7,88	22,81	8,30	14,51	0,789	1,28	2,07	0,53	2,60	0,703	0,178	0,882
151	2	1,023	1,007	7,66	5,99	2,26	3,72	0,539	0,73	0,82	0,82	1,64	0,166	0,016	0,181

Mues (nº)	Tipo expl.	C/N_{Tot}	C/N_{Org}	K (g kg^{-1})	Mg (g kg^{-1})	Ca (g kg^{-1})	Na (g kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	Pb (mg kg^{-1})	Mo (mg kg^{-1})	Al (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})
1	3	4,02	15,59	2,524	0,625	2,531	0,263	55,5	26,9	1,02	1,05	42,9	30,0	177,3
2	2	3,40	62,71	1,754	0,302	1,561	1,482	29,1	4,2	0,63	0,61	6,9	11,4	70,5
3	2	3,47	20,92	1,233	0,485	1,285	1,016	23,0	9,7	0,26	0,20	25,6	17,0	72,3
4	2	1,47	2,23	0,132	0,038	0,233	0,033	6,5	4,7	0,06	0,02	2,4	1,8	19,8
5	2	9,32	50,26	0,916	0,394	2,470	0,154	40,8	18,2	0,35	0,38	50,5	20,6	187,2
6	2	2,00	10,05	0,673	0,067	0,389	0,094	11,5	2,9	0,07	0,07	10,1	3,5	34,6
7	3	2,17	8,59	1,185	0,261	1,021	0,158	19,5	12,6	0,20	0,16	23,1	9,6	63,9
8	1	2,73	10,15	0,721	0,160	0,733	0,177	10,5	1,6	0,11	0,50	8,9	7,8	31,4
9	3	1,74	15,53	1,671	0,115	0,729	0,218	5,9	3,2	0,09	0,40	7,8	0,4	17,3
10	3	1,68	13,40	2,326	0,134	1,033	0,394	8,4	4,4	0,10	0,18	9,6	6,3	23,5
11	2	5,38	18,83	0,844	0,986	7,442	0,387	174,0	105,6	0,98	3,03	128,1	90,9	701,5
12	1	0,73	2,40	0,701	0,059	0,340	0,108	6,6	1,7	0,13	0,37	3,7	1,8	15,0
13	1	1,67	4,58	1,292	0,128	0,668	0,326	19,0	7,1	0,15	0,14	10,8	5,5	39,0
14	3	1,27	2,86	0,920	0,067	0,388	0,140	5,1	3,8	0,06	0,62	2,9	2,5	11,9
15	1	1,63	3,54	0,655	0,097	0,719	0,168	17,2	3,0	0,22	0,14	5,0	5,0	43,2
16	3	6,62	23,46	1,191	0,452	4,208	0,235	67,7	43,7	1,65	1,29	46,3	37,7	275,1
17	1	2,21	8,98	0,822	0,104	0,588	0,172	12,6	6,0	0,16	0,22	12,3	4,9	32,5
18	3	3,26	25,42	1,392	0,414	1,452	0,185	22,4	18,1	0,33	0,30	37,2	19,2	86,0
19	2	4,13	17,26	0,395	0,109	0,682	0,075	11,6	8,3	0,21	0,37	18,4	5,9	44,0
20	2	25,22	39,74	0,369	0,510	3,072	0,145	34,0	29,0	0,99	1,18	67,0	26,4	235,6
21	2	0,82	3,39	0,497	0,035	0,206	0,062	2,9	1,2	0,08	0,17	1,7	1,4	9,3
22	2	1,39	4,82	1,039	0,103	0,631	0,808	5,6	3,0	0,09	0,40	4,0	3,0	15,8
23	1	8,13	28,33	0,633	1,704	7,576	0,561	260,7	125,0	1,01	2,74	155,5	91,1	809,4
24	3	1,31	3,25	0,835	0,097	0,554	0,903	5,2	4,7	0,15	0,28	6,2	3,5	21,5
25	1	13,83	73,12	0,583	0,384	2,601	0,161	65,3	22,6	0,59	0,74	32,4	29,6	163,9
26	2	2,27	11,21	0,460	0,121	0,487	0,076	10,7	6,0	0,01	0,23	6,9	4,1	31,4
27	1	0,41	1,07	0,214	0,054	0,265	0,329	1,3	0,2	0,01	0,05	0,8	0,4	3,0
28	1	1,03	4,04	0,629	0,048	0,297	0,053	3,4	2,6	0,02	0,10	1,6	1,4	6,3
29	1	0,92	2,21	1,453	0,043	0,458	0,199	2,0	0,5	0,02	0,11	1,4	1,5	7,4
30	3	2,09	6,93	1,316	0,094	0,664	0,102	5,3	3,9	0,07	0,11	8,9	4,0	20,4
31	2	2,22	9,84	1,205	0,204	1,064	0,196	19,1	12,5	0,02	0,30	13,2	12,1	57,4
32	3	1,90	10,30	1,043	0,081	0,516	0,236	2,4	1,1	0,01	0,00	2,6	1,9	8,7
33	1	0,42	1,06	1,254	0,020	0,286	0,283	0,9	0,3	0,01	0,00	1,9	0,6	5,5
34	2	1,38	3,36	1,130	0,091	0,626	0,151	8,1	4,4	0,01	0,10	7,6	4,9	21,0
35	3	1,06	3,72	1,134	0,059	0,350	0,147	1,3	0,6	0,02	0,00	0,7	0,6	3,2
36	3	2,05	16,39	1,285	0,080	0,537	0,180	4,5	2,7	0,02	0,00	4,2	2,1	10,8
37	1	2,55	9,22	0,938	0,083	0,754	0,192	10,0	1,5	0,04	0,11	8,4	8,1	31,7
38	2	2,34	15,47	0,930	0,159	0,911	0,129	30,0	14,0	0,24	0,14	37,4	8,8	65,4
39	3	8,31	13,66	2,683	0,722	5,911	0,670	125,7	70,9	0,39	0,78	72,0	56,7	389,3
40	3	11,45	31,05	1,968	0,618	4,290	0,487	117,2	71,2	0,64	0,58	59,3	49,7	297,8
41	1	2,72	10,86	0,373	0,145	0,786	0,085	14,1	10,8	0,26	0,09	17,7	7,7	37,6
42	1	2,51	11,42	0,541	0,161	0,772	0,107	25,1	2,4	0,19	0,10	11,4	7,1	49,1
43	3	7,88	29,09	0,834	0,091	0,535	0,143	10,4	7,1	0,14	0,15	10,8	5,1	22,9
44	2	2,57	8,26	0,169	0,093	0,781	0,042	15,2	15,3	0,08	0,05	5,3	7,7	47,4
45	3	12,80	77,66	0,733	0,370	3,177	0,186	65,6	67,0	0,35	0,62	38,1	30,0	194,1
46	1	2,04	8,54	0,529	0,081	0,458	0,098	8,4	1,8	0,05	0,07	7,4	3,1	25,0
47	1	5,99	17,91	0,702	0,333	1,902	0,158	55,6	32,7	0,32	0,61	83,4	21,3	240,1
48	1	1,75	4,43	0,497	0,076	0,415	0,113	19,9	2,8	0,12	0,00	18,9	4,0	28,0
49	3	1,06	5,02	0,490	0,071	0,300	0,049	1,9	0,4	0,02	0,00	2,5	1,6	11,6
50	1	0,68	1,74	0,778	0,013	0,185	0,130	0,4	0,1	0,03	0,00	0,5	0,5	1,7

Mues (nº)	Tipo expl.	C/N_{Tot}	C/N_{Org}	K (g kg^{-1})	Mg (g kg^{-1})	Ca (g kg^{-1})	Na (g kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	Pb (mg kg^{-1})	Mo (mg kg^{-1})	Al (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})
51	1	0,79	3,37	0,730	0,032	0,273	0,142	2,2	0,3	0,04	0,00	1,7	1,0	7,2
52	3	1,21	2,94	1,535	0,024	0,340	0,175	0,8	0,3	0,07	0,00	1,9	0,6	2,4
53	1	2,08	4,40	1,371	0,078	0,771	0,576	6,5	1,3	0,00	0,00	6,8	3,1	13,1
54	1	0,93	2,84	0,689	0,025	0,266	0,109	1,6	0,3	0,06	0,00	1,8	1,4	5,2
55	2	2,00	9,21	0,088	0,060	0,450	0,098	7,0	1,8	0,13	0,00	9,5	3,0	19,2
56	3	6,15	18,84	1,365	0,466	2,285	0,158	31,7	10,4	1,02	0,00	47,0	28,6	154,6
57	2	21,99	52,63	0,410	0,186	2,749	0,134	68,8	12,0	0,82	0,52	107,4	29,1	223,1
58	2	1,01	4,23	0,640	0,063	0,514	0,169	9,2	1,5	0,06	0,20	13,8	4,1	28,4
59	3	1,73	8,77	1,058	0,039	0,456	0,216	2,5	1,4	0,06	0,09	3,2	1,8	7,2
60	3	6,46	27,83	2,733	0,561	4,108	0,598	53,1	38,3	1,07	0,96	52,2	39,7	165,9
61	1	0,43	1,01	0,283	0,006	0,080	0,071	0,3	0,1	0,02	0,09	1,5	0,3	3,3
62	2	1,51	6,46	0,736	0,036	0,352	0,185	1,9	1,0	0,04	0,11	2,0	1,6	5,6
63	1	1,41	5,80	0,615	0,050	0,389	0,133	5,8	2,6	0,03	0,28	4,9	2,5	13,6
64	1	5,82	24,48	0,671	0,144	0,825	0,142	25,9	8,2	0,17	0,25	19,1	8,6	54,8
65	1	3,18	14,59	0,846	0,082	0,546	0,177	13,5	3,1	0,09	0,10	8,6	3,6	21,2
66	3	3,57	21,30	1,872	0,462	1,855	0,354	44,9	18,8	0,52	0,40	53,3	16,2	85,5
67	3	2,41	15,19	1,009	0,029	0,498	0,193	3,8	2,4	0,09	0,09	2,6	1,7	7,7
68	3	9,64	29,92	1,189	0,609	4,489	0,245	158,2	39,6	0,64	1,65	73,1	45,2	282,7
69	1	1,04	4,18	1,155	0,018	0,438	0,240	4,4	0,9	0,00	0,00	2,5	1,7	8,0
70	1	3,20	10,22	0,733	0,230	1,451	0,145	38,4	18,6	0,38	0,00	22,8	16,0	74,0
71	1	1,75	5,49	1,096	0,052	0,551	0,226	4,4	1,6	0,00	0,00	5,0	2,9	15,0
72	1	1,00	2,08	0,328	0,045	0,318	0,449	0,4	0,2	0,00	0,00	1,5	0,6	2,7
73	3	1,96	13,13	1,552	0,045	0,667	0,303	2,8	1,6	0,16	0,00	3,3	2,0	9,5
74	2	0,87	2,61	0,665	0,031	0,307	0,133	1,1	0,5	0,00	0,00	1,5	0,9	3,4
75	1	1,25	2,08	0,819	0,025	0,275	0,199	2,7	0,5	0,16	0,00	1,6	0,9	7,9
76	1	2,54	31,67	1,063	0,048	0,477	0,185	9,6	4,5	0,11	0,17	14,4	3,3	13,8
77	2	6,70	60,84	0,098	0,340	1,830	0,174	32,7	2,9	0,61	0,50	41,7	22,1	91,3
78	2	2,29	19,67	0,832	0,110	0,807	0,183	11,6	9,8	0,12	0,13	10,2	6,4	33,8
79	1	2,16		1,025	0,111	0,773	0,171	7,9	8,1	0,11	0,13	12,1	5,1	23,0
80	1	3,72		0,486	0,056	0,525	0,156	5,3	1,3	0,08	0,08	6,3	3,8	18,5
81	2	4,95	50,03	1,030	0,377	1,673	0,150	42,9	31,9	0,46	0,36	30,1	22,5	106,7
82	2	5,38	36,22	1,319	0,397	1,733	0,195	52,4	37,7	2,44	1,48	421,0	27,4	136,7
83	3	1,36	11,74	5,218	0,289	1,314	0,701	26,3	26,6	0,63	0,00	24,4	15,1	46,7
84	1	1,21		0,492	0,049	0,128	0,098	2,1	0,2	0,03	0,00	1,3	0,4	1,5
85	2	2,70	22,71	1,036	0,185	0,626	0,151	19,7	13,5	0,33	0,24	26,5	9,3	48,9
86	3	5,09	70,03	1,337	0,398	1,120	0,120	31,8	21,7	0,68	0,32	29,9	20,9	72,9
87	1	4,75		0,984	0,380	1,302	0,143	81,2	54,8	0,69	0,89	158,4	26,1	408,6
88	1	0,77		1,086	0,022	0,125	0,229	1,2	0,4	0,05	0,07	1,8	0,4	3,1
89	1	3,66		0,814	0,190	0,715	0,123	17,9	13,5	0,21	0,23	25,8	9,5	47,4
90	1	0,74	5,77	0,682	0,021	0,199	0,172	2,2	0,8	0,10	0,00	1,7	0,8	6,5
91	1	1,66	44,52	1,065	0,085	0,484	0,247	13,7	7,8	0,09	0,11	10,1	4,2	32,8
92	1	1,27	2,98	0,214	0,099	0,236	0,061	1,9	1,1	0,04	0,00	3,3	1,0	7,8
93	3	6,81		1,348	0,962	4,044	0,350	113,2	69,3	0,84	1,08	70,1	52,6	335,2
94	3	0,79		0,848	0,041	0,383	0,242	3,5	2,6	0,04	0,00	4,4	1,6	13,0
95	1	0,91	11,02	0,626	0,037	0,251	0,146	5,7	3,4	0,10	0,00	6,3	1,5	13,5
96	1	2,32	82,48	0,517	0,121	0,550	0,132	10,3	6,2	0,10	0,00	12,6	4,4	29,0
97	3	3,13	44,02	0,816	0,302	1,195	0,256	25,0	17,1	0,70	0,82	247,2	95,3	65,0
98	3	4,43	46,07	0,782	0,393	1,710	0,297	19,5	15,2	0,86	1,07	257,0	12,4	69,6
99	3	1,72		1,190	0,110	0,402	0,256	17,4	12,2	0,08	0,14	18,4	6,0	39,5
100	1	0,94		0,739	0,011	0,121	0,228	1,1	0,3	0,02	0,02	0,6	0,4	4,7

Mues(nº)	Tipo expl.	C/N_{Tot}	C/N_{Org}	K (g kg^{-1})	Mg (g kg^{-1})	Ca (g kg^{-1})	Na (g kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	Pb (mg kg^{-1})	Mo (mg kg^{-1})	Al (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})
101	2	8,04	215,76	1,220	0,871	2,391	0,235	57,2	39,6	0,26	0,75	85,9	30,5	210,7
102	1	1,46	39,73	0,768	0,030	0,362	0,134	2,4	2,6	0,04	0,08	4,4	1,2	12,3
103	2	4,45	17,11	1,145	0,676	2,347	0,347	46,4	31,2	0,27	0,53	54,6	21,3	123,2
104	1	10,29	178,31	1,179	1,004	3,426	0,286	67,8	34,6	0,50	0,81	80,7	36,2	217,9
105	1	2,15		1,014	0,168	0,707	0,282	20,7	4,0	0,15	0,19	20,5	8,9	49,5
106	3	5,38	29,50	1,233	0,598	1,864	0,247	48,4	29,8	0,40	0,35	52,0	28,8	190,3
107	1	1,38	28,19	0,579	0,056	0,196	0,104	7,8	6,0	0,07	0,11	9,2	2,5	20,4
108	3	2,10	33,45	1,248	0,079	0,447	0,366	19,3	9,2	0,19	0,21	12,8	6,2	37,3
109	1	5,12		1,448	0,039	0,394	0,522	14,1	2,8	0,12	0,08	9,9	3,1	25,4
110	3	3,18	23,79	1,116	0,022	1,028	0,258	28,0	21,4	0,14	0,23	41,7	16,4	78,2
111	3	8,23	88,67	1,250	0,836	3,479	0,232	78,5	58,3	0,47	0,66	104,9	57,9	316,9
112	3	2,10	53,27	1,569	0,392	0,911	0,364	27,5	23,5	0,22	0,33	86,7	17,6	110,8
113	3	10,40	108,65	1,484	0,857	3,081	0,224	93,6	64,1	3,26	2,60	846,3	55,9	378,7
114	3	2,05	16,02	1,817	0,125	0,474	0,389	15,2	13,8	0,37	0,00	258,9	6,8	63,5
115	2	1,81		0,633	0,096	0,185	0,112	6,2	5,5	0,09	0,00	9,1	2,9	15,1
116	1	1,34	11,80	1,271	0,032	0,214	0,213	6,3	1,8	0,13	0,00	4,7	3,0	12,5
117	1	9,91	86,19	1,068	0,546	2,630	0,158	79,1	14,8	0,84	0,00	39,8	46,4	157,6
118	1	1,44		1,487	0,043	0,268	0,273	2,4	1,9	0,15	0,00	1,3	2,2	4,6
119	3	4,45	49,26	1,125	0,240	0,822	0,208	30,2	24,8	0,31	0,00	12,1	21,0	52,5
120	3	2,75	19,97	1,559	0,425	1,106	0,031	28,6	26,2	0,48	0,37	42,8	14,7	92,6
121	1	5,29	24,93	1,444	0,706	1,894	0,301	45,2	38,4	0,80	0,00	60,0	25,3	146,6
122	1	1,13	39,38	1,836	0,028	0,230	0,424	2,5	0,5	0,16	0,00	1,2	1,2	7,5
123	1	1,79		0,319	0,141	0,326	0,053	1,0	1,0	0,09	0,00	1,5	0,7	4,4
124	3	8,56	49,12	0,411	0,268	1,049	0,077	38,2	2,7	0,19	0,51	27,4	9,6	56,3
125	3	1,35	14,86	0,734	0,023	0,165	0,128	2,8	0,1	0,02	0,00	2,4	0,9	4,0
126	2	3,79	19,97	0,238	0,067	0,246	0,049	5,9	0,5	0,05	0,00	4,9	1,7	12,9
127	1	3,83	28,90	0,386	0,111	0,598	0,143	33,1	0,8	0,12	0,00	7,6	3,2	15,5
128	3	2,59	28,01	0,844	0,089	0,431	0,215	12,2	2,6	0,16	0,00	30,4	3,7	34,5
129	3	2,83	58,30	1,936	0,324	1,647	0,314	18,8	20,2	0,39	0,34	79,0	10,5	69,4
130	1	1,31	27,89	0,858	0,052	0,287	0,269	9,2	0,6	0,03	0,00	3,0	1,4	10,7
131	2	1,88		0,565	0,040	0,115	0,143	4,5	3,6	0,06	0,00	5,5	1,2	5,0
132	2	1,31	12,80	0,796	0,122	0,383	0,192	6,8	8,2	0,15	0,11	5,7	2,7	15,2
133	1	3,40	25,96	0,155	0,058	0,096	0,017	2,4	0,3	0,02	0,00	1,1	0,7	7,8
134	1	4,62	34,92	2,653	0,567	2,049	0,835	35,9	16,6	0,85	0,00	65,7	21,2	89,2
135	2	1,42	3,15	0,618	0,084	0,370	0,157	7,2	2,0	0,12	0,00	19,4	2,3	23,9
136	1	1,27	12,25	0,825	0,005	0,039	0,149	0,9	0,6	0,03	0,00	0,7	0,2	2,7
137	1	4,07	18,92	0,723	0,408	0,861	0,118	32,4	26,6	0,34	0,88	23,5	13,0	96,8
138	2	9,56	74,13	1,129	0,255	1,597	0,216	36,2	3,4	0,72	0,00	21,1	14,2	57,6
139	3	7,80	49,04	1,518	0,474	1,363	0,329	54,2	34,3	0,80	1,34	25,1	15,3	65,2
140	3	3,57	14,60	0,708	0,184	0,600	0,141	17,8	2,9	0,31	0,14	13,8	7,2	39,4
141	1	4,87	26,74	1,536	0,857	2,341	0,302	53,1	42,6	0,66	0,80	38,2	30,6	182,3
142	3	2,52	14,30	1,034	0,143	0,421	0,211	6,9	9,9	0,17	0,00	7,0	3,6	14,1
143	1	0,58	2,68	0,824	0,004	0,049	0,133	1,5	0,8	0,03	0,00	1,2	0,4	3,6
144	1	7,76	26,74	1,524	0,245	1,802	0,749	25,4	6,5	0,83	0,00	94,4	18,2	307,7
145	3	1,06	4,30	0,854	0,037	0,182	0,160	1,8	1,2	0,10	0,04	3,8	1,3	6,5
146	3	1,41	8,41	0,337	0,016	0,041	0,057	1,2	1,3	0,02	0,00	0,8	0,6	3,0
147	3	1,57	27,02	2,058	0,136	0,814	0,334	9,5	2,7	0,30	0,21	17,6	6,0	38,9
148	3	1,29		0,800	0,044	0,184	0,166	2,8	1,6	0,08	0,00	2,2	1,0	5,5
149	2	9,33	53,74	0,797	0,352	1,741	0,168	31,2	17,7	0,31	0,00	34,2	22,3	74,9
150	1	3,24	15,88	0,819	0,326	0,372	0,144	20,0	7,1	0,36	0,33	25,7	7,4	48,6
151	2	1,32	2,63	0,385	0,052	0,128	0,066	2,5	1,9	0,06	0,00	2,3	1,2	5,4

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

APÉNDICE 2: ANÁLISIS DE LAS PLANTAS

APÉNDICE 2: ANÁLISIS DE PLANTAS

1. CULTIVO: GIRASOL

1.1 CONTENIDOS DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN PLANTA

1.1.1 Girasol (año 1992)

Tabla AP2.1 Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en planta (Girasol, año 1992)

Trata	Estadio 1			Estadio 2			Estadio 3			Estadio 4		
	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
1	5,60	6950	65000	5,77	3700	46250	5,12	5150	34375	3,55	2475	40000
1	5,03	5850	65000	5,86	4175	41875	4,51	4475	38750	3,24	2000	41875
1	5,12	5525	63125	5,80	3350	49375	4,56	3575	36875	3,21	2625	40000
1	5,31	5600	63125	5,75	3150	45000	4,37	3975	36250	2,95	2775	48750
2	4,41	5925	63125	6,01	4050	47500	4,63	4550	38750	3,40	2175	38750
2	5,76	6250	63750	5,62	4300	50625	4,51	3900	36250	2,95	2975	44375
2	6,10	6075	60625	5,76	3250	42500	5,08	4375	35000	3,41	3175	38125
2	5,41	4950	64375	5,61	2725	45625	4,87	4375	35625	3,47	3125	38125
3	5,23	6000	63125	6,23	3825	42500	4,55	4150	31875	3,54	3225	40625
3	5,79	6075	74375	5,58	2550	45625	5,24	4225	36250	3,81	2075	43125
3	5,39	6975	70625	5,69	3275	47500	5,41	4375	38125	3,65	2800	36875
3	5,25	6200	68750	6,38	3525	49375	5,31	5075	39375	3,04	2900	43125
4	5,70	7350	62500	6,05	4300	43750	4,52	4100	38750	3,42	2300	39375
4	5,72	5075	62500	5,46	3375	47500	4,52	4375	36875	3,22	2325	41875
4	5,46	6650	63750	5,76	3300	43750	4,38	4775	33750	3,13	3375	46875
4	5,55	5150	61250	5,46	3000	43125	4,50	4225	35000	3,03	2725	39375
5	5,22	5025	62500	5,34	3375	40000	4,48	3425	33750	3,01	2450	38750
5	5,32	5050	62500	5,63	3275	43125	4,61	4025	33125	3,32	1950	36875
5	5,43	4925	63125	5,84	2600	44375	5,17	4600	31875	2,82	2950	42500
5	5,24	4450	65625	5,00	2975	43750	5,30	3975	33125	2,98	3100	43125

1.1.2 Girasol (año 1994)

Tabla AP2.2: Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en planta (Girasol, año 1994)

Trata.	Estadio 1			Estadio 2			Estadio 3		
	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
1	4.53	4200	36250	3.47	2650	38125	2.55	1325	36875
1	4.00	3575	42500	3.73	3125	36250	2.20	1275	35625
1	4.37	2775	39375	3.81	2900	31875	2.18	1050	33750
1	4.34	2825	46250	3.35	2875	31875	2.40	1350	36250
2	3.89	3675	36875	3.62	2900	34375	1.95	1225	34375
2	3.89	3075	45000	3.67	2950	39375	2.32	1100	35625
2	4.24	3875	43125	3.86	3175	34375	2.67	1350	34375
2	4.40	3400	41875	3.71	2800	32500	2.48	1400	38750
3	3.84	3300	38125	3.45	3050	33750	1.78	1200	39500
3	3.72	2600	38750	3.24	2625	35000	2.32	1525	40000
3	4.11	3000	40000	3.90	3625	31250	2.10	1425	36875
3	4.30	2775	48125	3.73	2825	33750	2.37	1425	41250
4	4.25	3825	38125	3.44	2775	31250	1.93	1200	33125
4	3.87	3575	43125	3.80	3125	37500	2.76	1425	40625
4	4.15	3625	40000	3.47	3500	29375	2.40	1725	34375
4	3.43	2975	42500	3.84	3350	31875	2.25	1425	32500
5	4.32	4100	38750	4.26	3850	28750	2.43	1125	33750
5	4.12	3150	38750	3.52	2600	33750	2.36	1300	32500
5	4.08	3500	41250	3.11	3250	33750	2.31	1825	40625
5	4.46	3600	40000	2.65	3475	33750	2.22	1625	40000

1.1.3 Girasol (año 1996)

Tabla AP2.3: Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en planta (Girasol, año 1996)

Trata	Estadio 1			Estadio 2			Estadio 3			Estadio 4		
	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
1	3,97	4562	56500	3,06	4007	40200	3,08	3129	41500	3,61	2762	36250
1	3,53	4688	63400	3,25	4586	37700	2,52	3227	44250	3,75	2735	40500
1	5,08	4531	54300	3,6	4531	34900	3,88	3786	37250	3,46	3168	35500
1	4,32	3891	57700	3,63	3945	37400	3,39	3403	38500	3,02	2455	35750
2	3,71	3562	58400	3,23	5015	38400	3,02	3749		3,45	2945	37250
2	3,04	2961	56500	3,2	4336	36500	3,56	2918	39000	3,44	2806	39000
2	3,27	3546	55200	3,33	4640	29600	3,24	3477	36250	3,67	3161	37750
2	4,64	3797	53100	3,6	4594	34000	3,93	3703		3,13	3078	33000
3	4,32	4672	55200	2,73	4734	35200	3,12			3,52	3431	40250
3	3,58	4117	57400	3,37	3781	34000	2,96	3275	41250	3,7	2938	44750
3	4,62	4265	60200	3,19	4187	34300	3,62	3691	35750	2,91	3043	34750
3	4,03	3578	63100	4,03	4422	36500	3,52	3502	38500	3,6	2838	38000
4	4,17	4414	56200	2,68	4468	37400	3,46	3663	36750	3,5	2633	38000
4	2,71	2500	50200	3,5	3843	36800	3,25	2978	42500	3,09	2909	38250
4	3,2	3953	45500	3,25	4796	31800	3,23	4020	35750	3,56	3586	36000
4	4,69	3804	51500	3,37	4969	31800	3,47	3539	33750	3,38	3285	32750
5	3,05	3719	67100	3,06	3546	33100	2,23	3258	32500	3,65	2835	30500
5	3,42	3016	53400	3,24	3609	34000	2,48	3046	39250	3,81	2404	40250
5	4,1	2711	56500	3,67	4375	32400	3,48	3396	35750	3,26	3033	35000
5	4,14	2961	59000	3,71	4297	38100	3,79	3599	37000	3,4	3003	35250

1.1.4 Girasol (año 1998)

Tabla AP2.4: Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en planta (Girasol, año 1998)

Trata	Estadio 1			Estadio 2			Estadio 3			Estadio 4		
	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
1	4,26	4041	61712	4,44	2778	32437	3,47	2762	34762	3,41	2469	32925
1	4,43	3647	58169	4,27	2475	34475	3,53	2009	31969	3,03	1784	35612
1	4,36	3756	54175	3,59	2625	33594	3,39	2550	32875	3,02	2284	32862
1	4,15	3441	57950	4,02	2847	33887	3,49	2475	28437	2,89	2231	35656
2	4,63	4356	62894	4,16	2228	31431	3,19	2184	31319	3,38	1891	35206
2	4,42	3028	54837	4,06	2322	30837	3,37	2537	38781	2,91	1906	34969
2	4,41	4109	59775	4,18	2537	30887	3,61	2669	35262	3,00	2475	36612
2	4,38	3850	54975	3,98	2328	28181	3,62	2184	35000	3,02	2112	33137
3	4,24	4200	61525	4,27	2469	31194	3,35	2369	33944	3,00	2069	33350
3	4,28	3409	59987	4,03	2400	35369	3,92	2212	34775	3,34	2019	38887
3	4,62	3650	60650	3,9	2344	27794	3,96	2556	34544	3,26	2075	37087
3	4,42	3062	52162	4,04	2178	33725	3,63	2334	31356	3,45	2266	36544
4	4,41	3797	62231	4,47	2594	35700	3,27	2256	34894	3,11	1787	37469
4	4,32	3169	57737	4,18	2172	31937	3,88	2091	38556	3,21	1550	35606
4	4,33	3497	54125	4,08	2991	29644	3,35	2747	33975	2,86	2703	38319
4	4,38	3022	51981	3,98	2237	26100	3,88	2350	30850	3,53	2306	35244
5	4,22	3103	60437	4,29	2194	31600	3,72	2537	33512	3,34	1997	37462
5	4,23	2997	63094	4,64	2425	37256	3,95	2091	38900	2,29	1931	35312
5	4,25	2366	52700	4,02	2084	30200	3,17	2687	32462	3,18	1753	31106
5	4,17	2219	51700	4,04	2184	31681	3,62	2369	31600	3,58	1991	34400

1.2 CONTENIDOS EN CALCIO Y MAGNESIO EN PLANTA

1.2.1 Girasol (año 1992)

Tabla AP2.5: Contenidos de calcio y magnesio en planta (Girasol, año 1992)

Trata	Estadio 1		Estadio 2		Estadio 3		Estadio 4	
	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
1	21500	2475	26425	2375	16625	2825	36875	1150
1	20625	2475	20625	2575	17300	2650	28750	1325
1	20800	2475	20675	2525	17500	2750	31250	1150
1	21125	2475	21000	2525	14675	2800	31875	1275
2	20925	2475	21625	2500	14375	2775	32500	1250
2	21800	2450	19625	2600	15875	2750	25625	1375
2	20675	2550	20925	2525	19750	2625	37500	1175
2	21250	2475	16125	2800	15625	2825	38125	1175
3	21750	2450	19300	2675	16375	2800	36250	1225
3	16925	2625	21375	2500	16550	2725	27500	1375
3	20675	2425	19925	2625	17800	2750	33750	1250
3	19875	2450	20300	2600	17500	2750	33125	1225
4	23625	2400	17875	2725	16925	2775	32500	1250
4	17925	2575	18625	2675	15000	2775	38750	1250
4	22000	2450	18800	2750	15000	2875	30625	1725
4	23000	2425	21750	2500	16000	2875	32500	1250
5	21550	2475	20425	2600	16175	2875	33750	1250
5	21625	2475	16250	2825	17750	2725	26875	1350
5	21125	2500	18250	2775	15175	2925	73125	1225
5	23925	2425	19375	2700	14250	3000	32500	1250

1.2.2 Girasol (año 1994)

Tabla AP2.6: Contenidos de calcio y magnesio en planta (Girasol, año 1994)

Trata	Estadio 1		Estadio 2		Estadio 3	
	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
1	12650	1750	22260	1790	49100	1135
1	14025	1675	31635	1815	52225	1110
1	17250	1600	30385	1540	55975	1035
1	18075	1550	29100	1585	51600	1110
2	14075	1675	26010	1640	50975	1135
2	15150	1650	22260	1790	51600	1135
2	11400	1775	29135	1590	54100	1060
2	18100	1575	25350	1660	50350	1160
3	14675	1675	25385	1665	47225	1185
3	15025	1650	22260	1765	47850	1160
3	17050	1625	29135	1565	55350	1035
3	18075	1575	29725	1560	49100	1110
4	15200	1650	30385	1640	50975	1110
4	12900	1700	23510	1740	45350	1185
4	15650	1650	27260	1640	54725	1035
4	20250	1525	28510	1615	55350	1035
5	16875	1600	31635	1615	57850	1035
5	16450	1625	24760	1765	52850	1110
5	15950	1650	28475	1585	54100	1110
5	16250	1625	23475	1735	48475	1160

1.2.3 Girasol (año 1996)

Tabla AP2.7: Contenidos de calcio y magnesio en planta (Girasol, año 1996)

Trata	Estadio 1		Estadio 2		Estadio 3		Estadio 4	
	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
1	17400	4062	17300	3281	22825	5500	23575	5500
1	17900	2500	15900	3437	18075	3500	22575	5250
1	15800	3750	16000	5656	22575	7000	25325	7750
1	14900	3812	17200	6375	23075	7000	23075	7250
2	16600	3031	15700	2656			19075	7250
2	16800	2906	16600	3500	21825	5750	23325	5750
2	15500	3437	17000	4625	20825	5750	26825	7750
2	16200	3594	16100	5469			22075	6250
3	17300	2968	16600	3594			26825	7500
3	16500	2844	16700	3531	17575	4000	24825	5000
3	14700	2594	17300	6250	24825	7000	24075	7000
3	17300	2219	15700	4312	22575	5750	24075	6250
4	17200	3125	16700	3375	22325	6500	22325	6000
4	15800	2406	16600	3375	23825	6250	21325	6000
4	16500	3750	15600	4937	22075	6500	27575	9250
4	15900	3812	15800	6719	24825	8000	25575	8250
5	18600	2156	17700	5094	23575	7000	24325	8000
5	17000	3062	17000	4875	24325	6000	22575	7000
5	16000	3437	16100	5687	21325	6250	21825	7000
5	17200	3844	17200	4687	23075	6000	21825	7000

1.2.4 Girasol (año 1998)

Tabla AP2.8: Contenidos de calcio y magnesio en planta (Girasol, año 1998)

Trata	Estadio 1		Estadio 2		Estadio 3		Estadio 4	
	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
1	14265	4212	13800	4387	14587	4931	16830	5687
1	11227	3325	10357	3344	11572	3119	21165	5012
1	13065	3912	12172	5594	18270	6106	21840	6275
1	13725	3987	12562	4856	15660	5050	26055	5425
2	15480	4575	12202	3206	15847	4681	22830	6387
2	11647	4144	11970	3812	16027	4194	22065	6250
2	13620	4462	12412	4644	17115	5756	29205	8100
2	12570	3962	12420	4787	25920	7562	21270	7275
3	15615	4787	10972	4794	12562	4044	19455	5612
3	13230	4175	12532	3744	14467	4106	20850	4662
3	13020	4175	12390	4912	19155	6412	24210	6887
3	21960	6550	13522	4781	15097	4606	23790	5487
4	14055	3962	13282	3931	13012	4319	19050	4850
4	12712	3669	10387	4119	16252	7906	20250	4975
4	13080	4287	12547	5031	15772	5569	23940	6262
4	13410	4212	12615	5575	17010	6087	29160	9337
5	12720	3937	11287	4494	13297	4956	21570	5987
5	13425	4000	14460	5631	14602	5956	20010	5250
5	12265	3962	14032	6331	14805	5387	21600	6187
5	12405	3725	12862	5231	11895	5025	23175	6225

1.3 CONTENIDOS DE MICRONUTRIENTES EN PLANTA

1.3.1 Girasol (año 1992)

Tabla AP2.9: Contenido de micronutrientes en planta (Girasol, año 1992)

Tra	Estadio 1					Estadio 2					Estadio 3					Estadio 4				
	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na
1	17,0	84,8	181	953	441	18,0	50,8	115	1105	425	21,3	48,8	130	455	133	15,0	54,5	0	500	200
1	15,5	71,3	183	773	415	14,0	55,0	110	1225	410	14,8	46,5	148	790	238	15,8	44,0	172	675	175
1	15,8	93,5	211	1368	674	16,8	36,5	79	998	55	24,3	46,8	117	328	70	16,8	46,5	172	665	200
1	16,0	62,5	198	485	449	13,8	70,8	79	223	78	17,8	46,8	157	108	330	16,3	31,3	207	217	125
2	16,3	45,5	139	480	445	15,5	38,0	91	860	90	18,0	42,3	143	653	95	11,5	49,8	150	713	250
2	18,0	58,3	234	693	774	22,0	44,0	97	378	375	19,0	46,8	121	174	273	15,8	38,0	170	348	175
2	15,0	68,3	162	810	191	15,8	47,5	90	473	395	24,0	51,0	157	238	310	22,3	49,3	148	508	375
2	15,0	51,3	270	685	390	13,5	48,0	81	510	45	18,0	45,5	135	210	303	25,0	42,3	142	463	100
3	16,5	85,3	192	918	439	19,0	41,3	87	390	208	17,8	42,5	147	260	490	13,3	55,8	157	1620	150
3	19,8	77,0	272	973	899	15,0	58,3	100	665	638	20,5	46,0	137	393	53	15,5	40,8	139	953	250
3	25,0	122,3	231	1448	175	16,5	47,0	93	685	63	25,0	44,5	126	655	78	16,8	53,0	118	855	150
3	17,3	81,3	246	908	465	14,5	53,3	83	463	53	24,3	50,0	144	210	318	20,5	37,0	261	278	225
4	17,8	118,0	208	1468	420	18,5	36,8	89	843	205	20,8	41,5	163	448	515	13,3	56,0	165	883	275
4	23,0	80,5	198	108	640	14,5	41,0	106	345	358	23,3	47,3	145	363	260	15,5	38,8	152	393	175
4	16,3	79,8	186	708	490	17,0	50,0	90	236	68	26,3	50,3	146	127	328	15,8	39,5	211	285	325
4	16,3	83,0	255	835	665	16,0	46,0	79	553	58	19,8	46,0	138	270	315	18,0	42,3	160	440	150
5	15,8	82,0	188	960	431	13,0	44,5	80	655	236	17,8	46,3	124	239	125	15,3	47,8	181	505	125
5	14,8	81,5	174	713	649	14,0	35,3	74	633	91	25,5	42,8	112	428	165	15,8	44,5	141	623	275
5	15,5	65,8	195	718	549	14,3	42,8	72	325	56	25,8	46,3	117	219	233	27,0	36,0	169	323	125
5	16,3	49,0	198	348	449	14	43	70	448	56	26	46	123	195	238	28,3	41,8	179	340	150

1.3.2 Girasol (año 1994)

Tabla AP2.10: Contenido de micronutrientes en planta (Girasol, año 1994)

Tra	Estadio 1					Estadio 2					Estadio 3				
	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na
1	17,0	58,2	185	425	112	15,0	52,7	159	269	140	13,7	36,7	178	365	402
1	17,7	46,7	167	440	355	17,0	46,7	139	234	230	18,5	28,5	128	210	435
1	15,7	53,0	150	382	190	17,7	51,2	104	322	112	15,5	31,0	1 08	225	210
1	14,7	31,7	265	112	167	22,7	36,0	100	87	85	17,0	34,5	113	95	185
2	19,0	49,5	177	212	362	16,0	53,5	124	244	267	14,0	29,0	188	192	157
2	13,5	46,5	162	242	157	14,5	43,0	124	142	142	10,5	24,7	183	212	510
2	25,0	47,0	125	117	310	22,5	45,2	114	189	405	21,2	31,2	110	207	435
2	20,2	50,2	175	205	457	21,2	41,7	93	152	105	18,0	28,2	113	180	185
3	17,2	40,2	160	170	175	20,0	39,0	146	118	347	9,0	29,2	190	240	195
3	14,7	39,5	180	182	345	24,0	41,5	124	117	362	16,7	30,2	200	205	210
3	16,0	45,5	150	200	227	20,7	51,2	101	219	130	20,5	37,2	140	355	460
3	14,5	34,5	137	215	110	23,2	47,7	98	115	115	17,0	26,2	115	205	110
4	19,0	55,5	192	340	407	14,2	45,2	121	194	270	20,0	31,5	155	200	585
4	17,5	43,5	167	290	265	19,0	37,2	124	144	300	23,7	35,5	155	245	460
4	25,0	47,2	150	117	95	14,7	49,5	101	107	45	45,5	30,2	113	180	485
4	17,0	46,7	150	210	62	20,7	53,5	101	217	60	17,5	30,5	163	250	235
5	20,0	57,5	202	400	342	22,7	56,7	104	327	195	20,0	40,7	123	465	427
5	17,5	54,0	155	435	275	20,7	48,7	109	379	247	17,0	33,7	165	435	180
5	19,5	39,5	147	105	130	24,7	45,0	105	103	210	23,0	31,2	103	137	160
5	20,7	43,2	130	92	97	22,7	47,2	108	102	77	46,7	47,0	153	162	185

1.3.3 Girasol (año 1996)

Tabla AP2.11: Contenido de micronutrientes en planta (Girasol, año 1996)

Tra	Estadio 1					Estadio 2					Estadio 3					Estadio 4				
	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na
1	16,4	50,0	75	300	155	18,9	46,3	100	613	120	20,0	55,0	145	443	223	17,5	60	215	310	113
1	18,9	46,9	79	363	229	17,9	40,0	271	275	96	30,0	62,5	208	465	943	17,5	37,5	148	323	298
1	10,4	46,9	69	363	75	19,7	42,5	61	216	140	20,0	60,0	173	295	378	20	55	135	380	245
1	9,3	37,5	59	226	63	21,1	38,8	58	114	86	30,0	52,5	190	180	455	25	40	173	190	290
2	6,0	42,5	210	325	64	19,8	45,0	116	196	44						17,5	50	153	248	93
2	16,2	32,5	63	275	264	21,1	40,0	240	338	138	17,5	50,0	143	245	145	20	42,5	143	365	155
2	14,7	38,8	64	224	206	20,9	40,0	68	149	328	22,5	45,0	155	203	460	20	47,5	125	288	90
2	9,6	43,8	56	211	45	20,9	41,3	64	229	53						25	47,5	150	263	135
3	9,8	46,9	63	300	56	17,1	47,5	115	250	46						20	67,5	168	440	110
3	18,1	42,5	94	250	316	19,7	36,3	109	246	99	30,0	45,0	188	228	968	20	37,5	135	285	90
3	16,4	50,0	54	275	170	25,7	42,5	74	231	274	30,0	67,5	183	650	718	20	52,5	133	378	240
3	10,0	43,8	53	288	180	21,7	40,0	65	250	83	30,0	87,5	725	325	493	27,5	45	143	398	165
4	17,4	50,0	68	463	159	18,9	43,8	99	375	65	20,0	45,0	148	433	370	17,5	50	155	418	60
4	20,4	35,0	56	588	318	19,9	38,8	149	275	95	25,0	50,0	163	315	268	22,5	57,5	150	355	88
4	16,7	36,3	113	223	120	20,8	40,0	96	150	104	25,0	65,0	173	268	543	25	47,5	135	288	93
4	10,1	37,5	70	231	55	22,5	41,3	71	150	106	32,5	50,0	235	220	415	32,5	42,5	148	268	210
5	20,9	78,1	143	713	966	13,9	42,5	84	425	41	22,5	70,0	153	650	360	25	65	140	950	493
5	15,1	62,5	94	800	324	17,9	37,5	189	513	165	20,0	57,5	168	775	518	32,5	52,5	138	113	350
5	9,9	26,3	70	300	165	21,8	38,8	54	151	51	25,0	55,0	178	255	518	27,5	47,5	205	413	325
5	12,4	31,3	64	613	118	22,4	42,5	58	154	69	27,5	42,5	180	223	288	30	45	133	368	468

1.3.4 Girasol (año 1998)

Tabla AP2.12: Contenido de micronutrientes en planta (Girasol, año 1998)

Tra	Estadio 1				Estadio 2				Estadio 3				Estadio 4			
	Cu	Zn	Fe	Na	Cu	Zn	Fe	Na	Cu	Zn	Fe	Na	Cu	Zn	Fe	Na
1	13,0	106,0	177	319	22,0	55,0	89	227	19,0	31,1	55	155	23,8	31,3		190
1	12,3	69,9	115	327	20,0	34,1	64	65	13,8	18,1	46	6	17,8	27,8	81	176
1	11,8	81,0	162	323	20,0	30,9	55	210	24,3	35,4	55		20,5	31,3	87	80
1	14,5	58,5	153	311	21,5	37,1	60	211	25,5	35,8	53	99	30,8	30,5	86	147
2	13,0	84,0	169	413	15,8	26,4	62	91	15,3	25,4	52	92	17,5	25,8	81	173
2	10,0	56,1	119	247	16,5	29,3	59	61	19,3	28,9	53	82	19,3	22,5	84	60
2	12,5	62,8	138	370	15,3	24,9	53	166	23,0	29,6	52	60	22,8	30,8	92	98
2	13,8	74,8	143	372	20,3	35,8	58	64	22,5	38,3	83	201	23,0	29,5	84	82
3	10,5	86,5	181	266	18,3	36,6	72	172	16,0	30,1	62	196	14,3	37,8	74	52
3	10,3	67,0	195	304	18,8	30,9	73	106	17,5	23,1	56	100	19,8	30,0	108	52
3	12,5	100,5	172	390	16,8	31,5	55	92	25,3	36,3	56		23,8	30,5	77	161
3	11,5	66,0	125	350	15,8	27,4	63	26	19,8	21,4	44	55	28,3	31,3	86	117
4	10,5	116,8	146	296	16,8	37,1	69	102	16,3	38,4	60	165	16,0	36,8	108	127
4	11,5	58,1	126	320	14,8	24,1	72	216	16,8	19,4	51	121	16,3	23,8	90	151
4	11,3	51,5	194	345	17,3	21,4	51	79	22,3	24,1	46	59	22,8	27,5	87	237
4	12,0	58,8	146	364	16,0	29,5	62	135	24,8	28,5	49	75	32,0	39,5	84	96
5	11,0	91,8	159	309	15,5	29,4	60	135	20,0	25,1	51	103	21,0	30,5	118	125
5	10,0	84,0	137	247	17,8	47,1	81	234	20,8	24,4	56	162	17,5	26,3	93	119
5	13,5	42,0	154	273	17,3	19,6	60	48	27,0	32,0	53	62	24,5	25,3	92	108
5	12,5	66,0	134	272	17,3	17,9	60	116	21,3	27,8	50	134	30,5	29,5	95	76

1.4 COMPOSICIÓN DEL GRANO Y PRODUCCIÓN

1.4.1 Girasol (año 1992)

Tabla AP2.13: Composición del grano (Girasol, año 1992)

Trata	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Grasa (%)	Prod (kg/pa)
1	3,55	1071	10000	110,0	2385	3150	17,0	78,8	153,3	74,3		46,0
1	3,31	780	6875	37,5	1560	2375	16,8	127,5	175,0	39,0	48,4	56,5
1												47,2
1	3,66	963	7500	15,0	1685	2425	21,8	54,3	83,3	27,5		44,2
2												58,5
2		920	7500	30,0	1735	2450	16,8	53,3	100,0	36,3	46,3	47,5
2	3,67	1048	7500	20,0	1560	2475	17,0	59,3	93,5	33,8	45,2	52,5
2	3,77	1100	8125	82,5	1635	2900	22,3	69,0	92,3	32,5	44,0	48,0
3	3,4	983	8125	25,0	2010	2875	16,8	67,0	112,5	56,8		53,5
3												48,5
3	3,38	1350	8750	17,5	1960	2900	17,8	132,5	182,0	45,0		49,5
3	3,93	1028	8125	30,0	1635	2700	18,0	59,8	98,3	29,5	44,9	48,0
4	3,42	1023	8750	155,0	2110	2825	21,3	71,0	117,8	67,0		48,7
4	3,36	883	8125	27,5	1860	2775	17,8	67,3	136,3	50,8	47,7	53,0
4												52,2
4	3,36	980	6875	40,0	1585	2550	17,5	59,3	73,3	31,0		49,5
5	3,37	925	8125	52,5	2085	2775	16,5	66,0	134,5	50,8		46,2
5	3,37	880	7500	82,5	1635	2825	26,3	61,5	83,3	25,5		40,7
5	3,57	1050	7500	37,5	1535	2350	20,8	55,0	72,8	23,8	46,3	41,0
5	3,73	782	8125	130,0	2135	2675	15,0	61,8	156,3	64,8	45,5	44,0

1.4.2 Girasol (año 1994)

Tabla AP2.14: Composición del grano (Girasol, año 1994)

Trata	P (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Grasa (%)	Prod (kg/par)
1	3695	6058	70,6	1576	2282	14,9	103,8	85,3	27,2	46,0	34,50
1	3740	6234	198,4	1814	2409	16,7	79,1	58,4	28,6	48,1	35,00
1	3958	6597	39,6	1979	2322	9,2	57,5	47,5	31,9	45,4	44,00
1	4215	6533	23,7	1765	2424	14,2	53,2	52,2	22,7	48,2	22,50
2	4323	6701	91,9	1891	2513	14,9	57,0	71,6	27,6	48,5	34,25
2	3678	5987	94,0	1664	2282	15,6	64,4	79,5	23,6	47,3	26,00
2	4327	6143	96,1	1763	2431	14,7	85,2	47,3	25,4	46,5	44,25
2	4944	7976	72,8	2214	2820	17,9	63,7	69,2	29,1	46,2	35,00
3	4525	7116	206,0	2216	2746	17,2	63,4	72,7	30,6	46,3	32,00
3	3521	5537	135,6	1643	2165	14,1	54,2	41,7	25,6	46,8	18,75
3	4278	6820	25,9	1867	2386	14,0	56,8	45,1	27,2	45,2	43,00
3	3848	6490	33,3	1796	2258	14,1	51,3	47,5	23,6	47,4	37,50
4	3535	5591	173,0	1655	2206	14,5	58,2	98,8	25,3	47,7	30,75
4	3301	5851	126,1	1691	2147	13,4	51,0	40,0	25,0	47,2	25,00
4	4518	6940	32,7	1851	2531	16,9	54,4	46,0	23,4	44,4	35,,50
4	4300	6593	36,5	1798	2502	15,6	56,8	44,0	25,3	45,4	36,50
5	4255	6356	78,8	1760	2574	16,6	59,6	47,3	28,6	47,4	32,00
5	4155	6316	119,1	1745	2493	16,6	58,2	49,0	31,9	46,8	31,75
5	4050	7227	23,8	1879	2488	14,3	54,3	45,5	21,2	44,7	28,50
5	4320	6902	17,9	1764	2326	14,3	53,9	43,2	22,2	45,6	31,50

1.4.3 Girasol (año 1996)

Tabla AP2.15: Composición del grano (Girasol, año 1996)

Trata	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Grasa (%)	Prod (kg/par)
1	2,52	3981	7750	45,0	1600	2450	15,0	70,0	75,0	25,0	25,6	53,5
1	2,94	3940	7500	57,5	1475	2250	12,5	60,0	60,0	25,0	26,1	51,5
1	3,23	5378	8750	55,0	1850	2950	17,5	72,5	87,5	22,5	27,1	59,5
1												
2	2,58	4361	7250	50,0	1650	2500	15,0	70,0	95,0	22,5	32,9	51,5
2	2,85	4233									29,8	50,5
2	3,04	5269	8500	72,5	2000	2875	15,0	65,0	72,5	22,5	26,5	61,5
2												
3	2,76	4406									29,0	53,5
3	2,62	4252	7750	55,0	1900	2550	15,0	60,0	67,5	25,0	27,0	49,5
3	3,14	5493	8750	52,5	1775	2925	17,5	72,5	82,5	22,5	30,5	60,5
3	3,26	5528	9250	82,5	2075	3000	17,5	72,5	82,5	22,5	28,0	36,5
4	2,81	4035	7500	125,0	1725	2375	15,0	70,0	77,5	25,0	26,5	55,5
4	2,88	4203	8000	65,0	1700	2425	15,0	62,5	65,0	25,0	28,1	45,5
4	3,11	5697	8500	42,5	2150	3125	15,0	70,0	75,0	22,5	29,7	49,5
4												
5	2,77	4376	8000	67,5	1875	2675	15,0	72,5	70,0	35,0	24,3	52,5
5	3,01	4656	7750	42,5	1550	2650	15,0	70,0	80,0	32,5	23,7	42,5
5	2,67	4802	8250	62,5	1675	2625	15,0	62,5	75,0	20,0	33,1	59,0
5	2,66	4766	8000	47,5	1575	2550	15,0	57,5	72,5	20,0	34,7	45,5

1.4.4 Girasol (año 1998)

Tabla AP2.16: Composición del grano (Girasol, año 1998)

Trata	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Grasa (%)	Prod (kg/par)
1	3,17	2837	7232	158,5	2231	2550	11,7	17,2	89,0	48,4	48,4
1	3,16	3105	5810	108,2	1687	2175	10,7	43,0	87,0	48,5	36,0
1	3,07	3427	6810	107,7	1650	2325	12,0	53,2	39,0	48,7	31,2
1	3,14	3152	5617	106,7	1500	2212	11,5	48,2	34,5	49,2	32,7
2	2,81	3120	6082	142,7	1687	2231	11,7	48,2	37,0	49,4	42,1
2	3,03	3015	5585	122,0	1575	2175	12,2	43,7	34,7	49,3	33,5
2	2,23	2772	5517	97,2	1350	2931	10,0	39,0	31,0	49,4	33,6
2	3,09	3072	6042	130,2	1650	2137	11,2	38,0	36,5	49,2	31,4
3	3,13	2645	6022	140,5	1650	1931	10,5	37,5	29,2	48,7	33,1
3	3	2410	4695	125,2	769	1669	9,5	35,0	29,0	49,3	36,8
3	3,27	3805	6705	57,0	1800	2494	11,7	39,5	40,7	47,5	42,9
3	3,2	3862	6395	71,5	1594	2475	11,7	38,7	35,7	48,1	43,3
4	3,33	3660	6615	104,0	1650	2437	11,7	42,7	36,7	47,8	46,0
4	3,3	3700	6180	89,2	1537	2381	12,2	44,5	36,2	48,2	42,1
4	3,25	3587	5850	109,2	1575	2344	13,0	43,7	36,2	47,5	43,3
4	3,08	3790	6257	157,7	1819	2569	14,2	41,2	42,2	45,4	42,1
5	3,33	3467	5862	42,5	1406	2250	11,5	40,5	32,0	47,9	40,2
5	3,24	3605	6177	85,5	1556	2325	11,7	39,0	35,2	48,8	34,0
5	3,17	3547	6802	27,5	1219	2344	12,2	38,0	36,2	48,8	32,3
5	3,13	3482	6245	69,7	1481	2306	14,0	42,2	39,7	48,8	28,2

2. CULTIVO DE CEREALES

2.1 CONTENIDOS DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN PLANTA.

2.1.1. Cebada (año 1993)

Tabla AP2.17: Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en planta (Cebada, año 1993)

Trata	Estadio 1			Estadio 2			Estadio 3		
	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
1	5,54	6525	43875	5,43	6275	50875	3,88	7500	43375
1	5,34	6325	42625	4,70	8600	49625	3,02	5900	40875
1	5,74	6050	50125	4,70	4925	51500	4,13	6325	40875
1	4,70	7125	58250	4,59	6025	47750	3,05	4875	39625
2	6,01	5425	44500	5,16	9675	52750	3,39	7625	40250
2	5,40	4975	53875	5,23	7575	52750	3,70	3850	44000
2	5,83	6000	46375	5,40	5400	52125	4,18	4275	38375
2	5,82	5475	49500	5,16	4775	52125	3,61	5225	40875
3	5,90	5075	37000	5,86	9275	52125	4,29	7800	38375
3	5,99	5725	47000	5,31	7825	52750	4,21	4900	44000
3	5,93	6325	48875	5,37	6825	48375	4,36	5500	37125
3	5,74	6050	50125	4,58	5475	50875	3,95	6525	43375
4	5,41	6575	53875	5,33	9025	51500	4,12	5700	45250
4	5,68	5250	42000	4,90	7900	51500	3,71	5525	43375
4	5,12	5975	45750	4,93	7750	50250	4,29	5775	38375
4	5,80	5850	47000	5,70	6350	48375	4,14	3900	38375
5	4,70	7125	58250	4,05	7525	46500	3,42	4525	39000
5	5,18	4975	43875	3,99	7525	43375	3,30	4600	38375
5	4,76	5060	47590	4,05	4875	43375	3,69	3800	41500
5	4,78	4375	47625	4,30	5925	45875	4,02	3425	46500

Tabla AP2.17. Continuación: Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en planta (Cebada, año 1993)

Trata	Estadio 4			Estadio 5			Estadio 6		
	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
1	1,99	3307	23425	1,35	2352	16825	1,09	2072	10525
1	1,82	3435	24050	0,85	2542	16825	0,90	2125	9275
1	2,83	3642	27175	1,32	3522	20575	1,08	2392	11775
1	2,33	3247	27800	1,31	3095	21825	1,20	2262	12400
2	2,10	4215	30300	0,94	2670	16825	1,19	2217	11150
2	1,99	3415	26550	1,21	2797	21200	0,94	2202	11775
2	2,39	4115	32800	1,64	3280	20575	1,37	2327	12400
2	2,79	3327	26550	1,20	2585	19325	1,29	2217	13025
3	2,83	4027	27175	1,49	3400	19325	1,02	2242	10525
3	1,49	3070	24675	1,11	2405	16825	1,29	2060	10525
3	2,11	3552	27175	1,26	3577	20575	1,37	2210	11775
3	2,52	3395	29050	1,46	2932	22450	0,95	2210	12400
4	2,12	3720	25925	1,33	3157	18700	1,15	2255	9900
4	1,25	3385	29050	1,44	2822	19950	1,22	2347	11775
4	1,70	3872	27800	1,82	3280	19950	1,20	2620	11150
4	2,24	3982	28425	1,67	3522	21200	0,93	2217	11150
5	2,43	3010	33425	1,53	3147	18700	0,98	1957	9900
5	2,20	3095	25300	1,36	3047	18625	1,17	1970	9275
5	2,23	2977	25925	1,51	2500	24325	1,44	1670	12400
5	2,20	1981	26550	1,00	1825	18075	0,83	1345	10525

2.1.2 Cebada (año 1997)

Tabla AP2.18: Contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en planta (Cebada, año 1997)

Trata	Estadio 1			Estadio 2			Estadio 3			Estadio 4		
	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
1	4,2	4929	48242	2,61	3642	31683	1,23	2975	19335	1,08	2489	15529
1	4,13	4145	43630	3,18	2888	29258	1,50	2841	22840	1,13	2133	13790
1	4,36	5037	50274	3,26	3356	29848	1,79	3365	30645	1,08	2289	15812
1	4,88	3688	55720	3,28	2426	31024	1,61	2133	23656	0,77	1801	15433
2	4,68	5312	50864	2,97	3205	30789	1,87	3710	23055	1,22	2474	15602
2	4,51	4202	50132	3,00	2267	27591	1,93	2351	23608	1,17	1962	15080
2	5,10	4375	49457	3,44	3029	32986	2,22	2896	22435	1,35	2783	18020
2	4,73	3588	47744	3,57	2318	25068	1,87	2788	24541	0,87	2297	17243
3	4,73	5625	54421	2,91	3438	27453	2,07	3003	20205	1,42	2605	15571
3	4,51	2650	45477	3,16	2233	27824	1,84	2609	24828	1,32	2338	17055
3	4,87	4796	57478	3,47	3436	36502	2,63	3986	26859	1,68	3263	21773
3	4,82	4118	52083	3,32	2830	32304	2,28	2804	24621	1,61	2666	20576
4	5,38	5424	58479	3,01	3114	32034	2,21	3416	26061	1,48	2775	16187
4	4,64	4325	54139	3,02	2181	29456	2,48	3061	31811	1,40	2358	17448
4	4,76	5062	56807	3,22	2670	27873	2,28	3783	31219	1,62	3189	21423
4	5,15	3921	53866	3,80	2818	28647	2,65	3131	22676	1,81	2792	20225
5	4,88	3749	46592	2,99	2542	29977	1,65	2489	22682	1,56	2211	16634
5	4,73	3554	40419	3,40	2165	30595	1,93	2521	23880	1,31	2453	15606
5	4,48	4626	59709	3,28	1710	29474	2,63	2361	30515	1,39	1981	18422
5	4,26	2520	46627	2,93	1770	29910	1,95	2048	2753	0,94	1929	15385

2.1.3 Trigo (año 1999)

Tabla AP2.19: Contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en planta (Trigo, año 1999)

Trata	Estadio 1			Estadio 2			Estadio 3			Estadio 4		
	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
1	3,63	6806	36238	2,21	6419	23950	2,20	2571	18581	1,45	1521	9313
1	3,72	5775	35788	1,68	5675	21594	1,54	2224	18138	1,11	1674	10838
1	4,60	6600	39694	2,05	6394	24119	1,63	2427	19281	1,46	1728	11925
1	5,10	6088	41863	1,46	4500	19244	1,70	1927	16388	1,23	1714	10081
2	4,44	6725	38769	2,87	3869	30263	1,59	2733	18294	1,30	2000	11713
2	4,22	6088	39125	2,11	4975	24781	1,73	2030	20663	1,48	1774	12100
2	4,80	6600	42456	2,42	5425	28200	1,84	2368	23006	1,46	1939	12413
2	5,10	6688	42038	2,00	4975	21681	1,79	2049	19431	1,33	1939	11381
3	4,36	6975	38038	2,67	5594	23694	1,90	2549	19338	1,23	1743	11869
3	4,39	6275	40313	2,10	5244	23144	1,93	1949	20981	1,39	1396	10869
3	4,92	6600	41888	2,41	6688	26581	2,06	2296	20588	1,25	1764	11519
3	5,47	6600	43744	2,37	5488	26619	2,06	1896	20038	1,36	1571	10665
4	4,32	6913	38675	2,56	6088	26500	2,06	2611	21806	1,32	1683	11169
4	4,94	6706	46400	2,21	4375	23719	2,02	1814	23869	1,50	1733	12700
4	4,69	6294	41338	2,45	4438	25169	2,19	2214	23550	1,66	1918	14313
4	5,04	5738	41950	2,58	5094	27244	1,91	1724	19900	1,26	1255	14388
5	4,32	5156	36731	2,34	4106	22613	1,58	1621	21800	1,54	1183	13706
5	4,54	5450	37319	2,55	3963	22563	2,08	1508	19413	1,38	1224	10931
5	5,89	5613	44619	2,41	3238	23700	1,96	1314	20506	1,50	1305	12381
5	5,59	5119	41200	2,15	2869	20994	2,01	1386	22006	1,47	1264	11831

2.2 CONTENIDOS DE CALCIO Y MAGNESIO EN PLANTA.

2.2.1 Cebada (año 1993)

Tabla AP2.20: Contenido de calcio y magnesio en planta (Cebada, año 1993)

Trat a	Estadio 1		Estadio 2		Estadio 3		Estadio 4		Estadio 5		Estadio 6	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
1	4725	3025	5550	2550	4300	2350	2150	1075	1800	925	2012	904
1	4200	2975	4625	2375	3850	1975	1875	1100	1375	710	1237	772
1	4700	2825	5325	2350	4950	2175	3275	1450	2150	905	2362	1037
1	5300	3050	4750	2175	3825	2050	2400	1150	1975	905	2112	994
2	5475	2950	5800	2525	4450	1850	2925	1425	1350	797	2162	1022
2	4150	2975	5375	2800	3950	2300	2150	1275	1775	862	1612	884
2	4375	2925	5925	2650	4825	2225	2800	1375	2200	952	2287	992
2	4675	3050	5975	2625	4775	2200	2500	1250	1900	865	2387	987
3	3625	2700	5175	2775	4675	2650	2400	1325	2225	1125	1812	937
3	4375	3025	5075	2600	4250	2350	1925	1275	1875	915	1712	977
3	5225	3025	5800	2600	4975	2275	2725	1375	2900	1092	2412	1004
3	4700	2825	4875	2350	4975	2250	3050	1275	2225	965	1987	959
4	4600	2975	5025	2525	4625	2300	2350	1250	1925	937	1687	984
4	4050	2900	5275	2700	4425	2400	2325	1425	2050	930	1712	934
4	5125	3025	6100	2650	5075	2525	2775	1475	2500	1040	1887	934
4	5200	2975	7875	2775	6300	2575	3050	1500	2425	1000	2162	979
5	5300	3050	4550	2200	5725	2250	2750	1350	2150	977	1737	799
5	4425	2875	4675	2375	4300	1950	2475	1175	1950	960	2062	902
5	4458	3012	5475	2400	5525	2450	2450	1175	2350	985	2087	1059
5	5275	2950	5825	2500	6050	2525	2375	1275	1625	802	1687	857

2.2.2 Cebada (año 1997)

Tabla AP2.21: Contenido de calcio y magnesio en planta (Cebada, año 1997)

Trata	Estadio 1		Estadio 2		Estadio 3		Estadio 4	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
1	5408	1659	4703	681	2231	806	1849	678
1	5523	1596	4358	436	2599	990	1409	613
1	6346	1431	5484	499	5645	1551	2084	735
1	6919	1544	5233	436	3777	870	1844	738
2	6420	2346	4732	983	3666	1243	2185	668
2	6252	1623	4609	498	3665	1180	1916	742
2	6352	1603	6448	744	4450	1360	2283	926
2	6524	1463	5150	248	4406	1040	2132	731
3	5696	1981	4534	870	4477	1492	2481	620
3	5731	1294	3786	781	3820	1170	2233	992
3	6634	1674	5640	372	5186	1420	2939	1080
3	6541	1454	5952	434	4103	1181	2558	679
4	6359	2120	5103	861	4095	1365	2357	930
4	5808	1668	4723	373	4738	1538	2305	1059
4	7426	1733	6153	615	4530	1347	3477	1366
4	7510	1847	6407	862	4411	1180	3187	1103
5	6008	1778	5462	745	3240	1122	2419	847
5	5373	1544	5428	617	2908	804	1430	684
5	6230	1542	4985	311	4828	1114	2102	680
5	5394	1116	5049	187	3304	873	1799	496

2.2.3 Trigo (año 1999)

Tabla AP2.22: Contenido de calcio y magnesio en planta (Trigo, año 1999)

Trata	Estadio 1		Estadio 2		Estadio 3		Estadio 4	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
1	2484	1172	2594	1273	1638	900	938	913
1	2297	1125	1453	906	1275	763	1000	963
1	3422	1406	2609	1305	2000	1025	1475	1162
1	3609	1641	2023	1305	1175	875	788	875
2	2766	1359	2648	1289	1613	913	1050	1013
2	3094	1359	2164	1219	1700	1000	1050	1013
2	3938	1875	2922	1492	2613	1438	850	1063
2	3609	1547	2289	1313	1850	1050	875	913
3	3141	1453	2516	1273	2163	1188	1088	950
3	2578	1172	1906	1109	1713	913	1363	975
3	3516	1641	3164	1453	2225	1163	1175	1050
3	3375	1500	2633	1273	2013	1088	1431	1080
4	2438	1172	2844	1336	2250	1175	1063	950
4	3188	1547	2078	1016	2063	1125	1400	1050
4	4031	1875	3148	1500	2513	1175	1413	1050
4	4359	1500	2906	1430	2288	1175	1638	1025
5	2766	1172	2180	992	1938	888	1638	888
5	2625	1219	2023	852	1838	525	1175	825
5	3938	1688	2242	1297	1988	900	1325	913
5	3516	1406	2289	1117	2188	1050	1425	1025

2.3 CONTENIDOS DE MICRONUTRIENTES EN PLANTA

2.3.1 Cebada (año 1993)

Tabla AP2.23: Contenido de Micronutrientes en planta (Cebada, año 1993)

Trat	Estadio 1					Estadio 2					Estadio 3				
	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na
1	32,8	70,5	170	303	983	18,5	55,3	204	260	731	8,0	56,3	162	288	806
1	33,5	56,5	190	207	1533	17,3	55,3	218	278	506	8,3	44,3	186	213	531
1	28,3	61,5	165	438	383	12,0	74,8	191	213	806	7,8	57,8	184	28	2464
1	67,3	73,5	235	176	633	12,3	42,8	165	88	731	7,0	42,8	190	84	864
2	22,5	62,3		192	833	27,3	72,5	231	225	531	6,3	49,5	151	197	564
2	65,8	57,3	145	184	233	21,5	51,0	203	113	906	9,0	46,5	193	117	856
2	67,0	79,3	220	165	908	28,3	65,0	213	158	1056	6,0	54,5	190	127	2189
2	83,5	76,3	430	234	508	9,3	59,3	178	189	1006	8,0	80,8	413	155	1064
3	37,0	51,0	148	145	908	25,3	71,8	308	244	906	9,5	69,5	211	171	1031
3	35,0	48,5	165	198	858	14,8	49,0	187	227	906	7,5	42,5	209	202	814
3	18,3	62,3	198	235	583	18,3	72,0	223	240	1006	6,3	61,3	174	17	1964
3	28,3	61,5	165	438	383	16,5	53,0	178	158	456	8,8	53,5	202	166	1914
4	17,0	52,0	153	169	483	20,0	76,3	231	328	756	8,3	70,8	176	385	781
4	68,0	49,3	218	216	2033	22,5	51,5	217	225	831	10,0	62,0	450	194	831
4	20,5	51,8	185	157	633	14,8	64,5	188	102	2006	9,8	75,8	197	100	2264
4	46,3	70,3	285	216	658	14,5	57,5	201	181	931	7,8	59,0	197	158	2464
5	67,3	73,5	235	176	633	35,8	54,3	219	250	156	6,3	48,5	167	166	214
5	50,3	52,3	158	215	383	30,8	66,0	241	163	214	7,5	38,3	174	202	214
5	51,2	50,0	211	171	340	11,8	40,0	199	198	589	8,3	77,3	388	206	864
5	27,0	39,5	185	140	383	14,3	37,3	175	123	514	6,5	42,0	220	107	764

Tabla AP2.23. Continuación: Contenido de Micronutrientes en planta (Cebada, año 1993)

Trat	Estadio 4					Estadio 5					Estadio 6				
	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na
1	5,3	21,3	71	70	582	3,5	12,3	33	40	520	4,3	14,8	35	47	711
1	4,0	31,0	88	120	257	4,3	14,5	39	72	295	4,0	13,5	33	59	211
1	5,3	32,3	98	83	2857	5,0	24,0	55	62	870	3,5	17,0	38	51	1511
1	4,0	21,8	55	45	1207	5,3	18,5	45	42	595	4,0	14,5	36	35	461
2	7,0	42,3	136	108	632	6,3	19,0	44	65	170	5,5	17,8	43	49	861
2	5,5	25,3	85	68	957	6,8	12,0	39	48	520	4,0	12,0	30	32	211
2	8,3	32,8	84	75	1757	7,8	20,3	58	49	1520	3,8	17,5	38	43	1336
2	5,8	33,5	76	88	1157	4,8	15,5	39	70	945	3,8	12,5	33	47	936
3	5,8	33,3	73	73	932	5,3	19,5	47	37	1170	4,3	15,8	33	35	886
3	7,8	25,3	102	98	657	6,8	16,3	53	60	495	3,3	15,3	49	49	636
3	7,5	33,3	92	93	1207	4,5	21,8	43	76	1470	4,0	18,0	35	60	1036
3	4,5	31,8	82	63	2132	4,5	20,3	45	57	945	4,0	16,5	39	46	711
4	3,5	42,3	80	95	882	5,0	18,5	39	50	595	3,8	18,3	35	51	536
4	5,3	26,8	80	83	907	5,8	13,8	43	68	720	4,5	14,8	34	58	586
4	6,3	32,8	76	60	1332	6,8	25,0	51	49	1420	3,0	17,8	33	40	1011
4	8,5	46,0	101	93	1907	6,8	24,5	44	66	1170	6,0	17,8	44	52	1261
5	4,3	22,8	83	58	1032	4,8	14,3	35	59	945	3,5	11,5	31	31	361
5	3,8	18,0	60	80	832	5,0	16,5	38	70	720	2,3	10,0	29	38	761
5	4,3	19,3	74	70	357	4,8	13,8	43	48	695	4,3	12,8	31	33	861
5	5,3	18,0	54	55	1057	3,5	8,5	36	45	245	2,3	9,3	30	43	286

2.3.2 Cebada (año 1997)

Tabla AP2.24: Contenido de Micronutrientes en planta (Cebada, año 1997)

Tra	Estadio 1					Estadio 2					Estadio 3					Estadio 4				
	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Na
1	10,0	42,0	455	118	487	7,5	34,5	941	99	205	5,0	22,5	372	80	275	2,5	15,0	94	45	710
1	7,5	32,0	430	106	395	7,5	27,5	695	137	451	7,5	17,5	312	102	498	2,5	15,0	130	64	304
1	7,5	45,0	396	107	423	10,0	47,5	730	105	1764	5,0	20,0	459	85	1260	2,5	15,0	182	49	660
1	7,5	34,5	519	72	675	5,0	30,0	434	100	1415	10,0	15,0	456	47	936	2,5	12,5	340	45	514
2	10,0	44,5	445	119	484	7,5	39,5	755	106	394	7,5	20,0	179	50	1114	5,0	17,0	420	73	723
2	7,5	22,0	334	118	363	10,0	27,5	498	80	1415	5,0	15,0	462	50	507	2,5	10,0	287	52	438
2	10,0	39,5	479	69	589	7,5	50,0	553	80	1805	5,0	15,0	557	55	2195	2,5	12,5	272	45	644
2	10,0	41,5	332	122	702	7,5	27,5	429	92	2154	5,0	17,0	421	71	1341	2,5	12,0	190	59	616
3	10,0	44,5	444	75	391	10,0	35,0	755	105	840	5,0	17,5	418	50	1561	7,5	17,5	137	52	1309
3	7,5	25,0	402	173	352	7,0	24,0	543	120	861	2,5	12,5	187	50	673	2,5	12,5	231	47	350
3	10,0	47,0	578	132	548	7,5	50,0	516	174	739	5,0	24,5	405	69	1304	5,0	19,5	89	58	835
3	7,5	36,5	424	170	649	5,0	35,0	466	199	689	7,5	17,5	838	117	1089	2,5	12,5	117	60	640
4	12,5	50,0	599	200	584	7,5	39,5	942	133	551	5,0	22,5	427	113	653	5,0	17,5	144	57	1012
4	10,0	32,0	413	109	628	5,0	22,5	425	122	741	5,0	17,5	515	74	669	2,5	10,0	242	58	621
4	10,0	40,0	498	72	629	5,0	15,0	556	77	2727	5,0	19,5	282	57	1171	5,0	17,5	206	47	1311
4	10,0	39,5	522	109	1127	12,5	34,5	510	126	2285	5,0	20,0	298	60	1138	5,0	17,0	115	64	1098
5	7,5	34,5	344	221	255	7,5	37,5	830	224	1112	12,5	20,0	396	108	718	2,5	14,5	201	95	549
5	7,5	32,0	378	173	166	10,0	29,5	807	321	673	2,5	17,5	228	114	480	2,5	15,0	236	115	172
5	7,5	39,5	393	114	414	5,0	20,0	474	175	1216	12,5	20,0	748	198	911	2,5	12,5	203	87	579
5	7,5	25,0	310	127	293	5,0	22,5	551	175	312	7,5	12,5	858	125	668	2,5	12,5	234	92	347

2.3.3 Trigo (año 1999)

Tabla AP2.25: Contenido de Micronutrientes en planta (Trigo, año 1999)

Tra	Estadio 1				Estadio 2				Estadio 3				Estadio 4			
	Cu	Zn	Fe	Na	Cu	Zn	Fe	Na	Cu	Zn	Fe	Na	Cu	Zn	Fe	Na
1	10,0	34,0	648	306	7,0	23,0	464	1249	7,0	18,0	463	278	2,0	10,0	187	104
1	9,0	29,0	716	396	7,0	23,0	542	133	4,0	16,0	279	274	1,0	12,0	273	95
1	8,0	39,0	810	525	6,0	23,0	772	449	4,0	13,0	498	249	2,0	19,0	181	172
1	12,0	35,0	829	450	5,0	11,0	1373	379	3,0	10,0	687	262	4,0	11,0	115	174
2	11,0	38,0	686	361	6,0	33,0	380	348	4,0	36,0	320	308	3,0	19,0	148	144
2	18,0	30,0	537	772	5,0	25,0	237	282	3,0	13,0	221	213	3,0	11,0	158	112
2	12,0	42,0	827	599	9,0	23,0	688	502	5,0	13,0	605	345	3,0	15,0	126	164
2	15,0	34,0	897	544	2,0	16,0	1192	480	5,0	16,0	334	153	2,0	14,0	114	110
3	16,0	39,0	1338	321	9,0	21,0	383	386	3,0	21,0	264	602	2,0	19,0	157	122
3	10,0	27,0	514	362	5,0	20,0	385	258	4,0	16,0	241	167	2,0	13,0	166	100
3	8,0	44,0	1459	505	7,0	25,0	685	303	5,0	20,0	380	369	2,0	12,0	249	127
3	13,0	34,0	625	593	14,0	27,0	732	614	6,0	19,0	395	381	5,0	13,0	130	264
4	11,0	37,0	635	367	6,0	32,0	282	217	6,0	28,0	244	303	2,0	16,0	127	120
4	11,0	28,0	707	279	6,0	26,0	311	287	7,0	15,0	199	252	3,0	15,0	166	112
4	12,0	39,0	1230	354	6,0	23,0	637	194	6,0	18,0	468	367	3,0	17,0	185	151
4	10,0	31,0	405	479	8,0	23,0	680	409	5,0	16,0	618	225	3,0	12,0	159	155
5	10,0	26,0	739	282	6,0	26,0	333	234	10,0	18,0	255	462	3,0	17,0	193	92
5	9,0	27,0	463	276	7,0	27,0	219	226	7,0	17,0	203	279	2,0	13,0	215	89
5	11,0	30,0	364	459	7,0	13,0	957	465	4,0	15,0	396	153	4,0	11,0	98	164
5	9,0	27,0	379	149	5,0	14,0	667	353	4,0	14,0	450	149	3,0	13,0	152	91

2.4 RENDIMIENTO Y LOS CONTENIDOS EN EL GRANO

2.4.1 Cebada (año 1993)

Tabla AP2.26: Composición del grano (Cebada, año 1993)

Trata	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Prod (kg/par)
1	2,16	3400	4250	47,5	400	1150	4,0	29,8	46,8	30,5	199
1	2,02	3225	4375	45,0	325	1100	4,0	24,3	42,0	31,0	171
1	2,30	3525	4325	57,5	425	1125	5,8	31,3	51,3	27,0	221
1	2,06	3450	4625	47,5	400	1150	4,0	25,0	44,3	22,5	224
2	2,14	3875	4750	60,0	400	1300	4,5	31,5	48,3	26,8	194
2	2,08	2950	4375	37,5	325	1175	3,5	23,5	44,3	25,5	176
2	2,19	3400	4325	55,0	400	1125	3,8	26,8	47,0	24,5	229
2	2,12	3075	4000	55,0	425	1025	3,3	24,8	43,8	23,0	229
3	2,29	4100	4825	70,0	450	1325	6,0	35,8	49,3	29,0	200
3	2,1	3300	4250	40,0	375	1100	3,0	31,0	55,0	30,3	185
3	2,24	3625	4450	75,0	450	1175	3,8	31,3	47,5	29,0	243
3	2,28	3625	4625	55,0	450	1150	2,3	28,5	46,8	27,0	234
4	2,25	3575	4450	42,5	400	1225	3,8	31,8	54,0	28,8	209
4	2,02	3375	4450	42,5	375	1175	4,0	24,8	44,5	28,5	193
4	2,26	3700	4625	55,0	425	1150	3,5	32,5	42,5	23,3	240
4	2,24	3525	4450	55,0	450	1125	6,3	29,3	51,3	26,5	239
5	2,14	3075	4000	47,5	350	1100	6,3	24,0	41,8	23,5	168
5	2,19	3275	4325	45,0	400	1175	6,5	23,3	44,3	27,0	159
5	2,15	3000	4325	50,0	375	1100	8,5	22,5	38,5	22,0	195
5	2,12	2425	3950	40,0	300	1075	6,0	22,3	35,5	20,5	189

2.4.2 Cebada (año 1997)

Tabla AP2.27: Composición del grano (Cebada, año 1997)

Trata	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Prod grano (kg/par)
1	2,02	4357	5174	70,0	550	1438	5,0	47,5	85,0	47,5	45
1	2,33	3693	5180	52,5	366	1125	2,5	35,0	57,5	40,0	41
1	2,31	3624	4918	62,5	369	1063	2,5	32,5	52,5	30,0	69
1	2,21	3598	4765	77,5	495	1063	5,0	25,0	55,0	30,0	50
2	2,51	4769	5785	82,5	760	1500	5,0	45,0	95,0	37,5	47
2	2,53	3630	5075	70,0	495	938	2,5	30,0	67,5	35,0	39
2	2,55	3694	5030	75,0	442	1000	2,5	30,0	42,5	27,5	63
2	2,44	3586	4810	77,5	493	1000	2,5	30,0	50,0	32,5	59
3	2,68	4545	5595	90,0	714	1438	5,0	42,5	87,5	40,0	47
3	2,59	4024	5710	82,5	552	1250	2,5	32,5	72,5	35,0	36
3											63
3	2,61	3597	4550	67,5	455	1125	2,5	30,0	50,0	40,0	50
4	2,77	4483	5522	75,0	744	1250	2,5	45,0	77,5	42,5	48
4	2,60	3793	5560	77,5	556	1250	2,5	27,5	60,0	37,5	47
4	2,57	3543	4526	87,5	682	1063	5,0	27,5	42,5	27,5	74
4											61
5	2,52	4324	5921	65,0	555	1250	2,5	37,5	75,0	52,5	45
5	2,50	4190	5513	75,0	619	1188	2,5	47,5	77,5	65,0	41
5	2,48	3327	4672	72,5	374	938	2,5	22,5	50,0	37,5	53
5	2,46	3791	5557	90,0	562	1125	2,5	25,0	57,5	40,0	47

2.4.3 Trigo (año 1999)

Tabla AP2.28: Composición del grano (Trigo, año 1999)

Trata	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Prod (kg/parc)
1	2,78	3968	4655	11	293	1365	4,0	31,0	39,0	124
1	2,80	3953	4708	13	329	1358	3,0	33,0	38,0	118
1	2,84	3893	4495	12	327	1358	3,0	36,0	38,0	165
1	2,38	3615	4591	9	302	1270	1,0	27,0	36,0	156
2	2,90	2959	4150	19	366	1170	5,0	33,0	37,0	122
2	3,04	3086	4253	19	363	1163	3,0	30,0	37,0	121
2	2,45	3728	4663	20	258	1290	4,0	28,0	39,0	157
2	2,64	3401	4363	14	259	1215	3,0	27,0	38,0	157
3	2,73	3514	4335	12	298	1245	3,0	29,0	39,0	112
3	2,77	3503	4310	14	293	1260	3,0	30,0	37,0	110
3	2,98	4091	4720	28	315	1373	5,0	31,0	38,0	130
3	3,20	4320	4850	13	320	1403	1,0	33,0	37,0	135
4	3,06	4181	4705	11	324	1403	6,0	35,0	37,0	107
4	2,33	3979	4763	18	276	1328	4,0	28,0	33,0	133
4	3,00	3413	4160	9	299	1208	3,0	28,0	34,0	143
4	2,77	3728	4530	12	291	1305	4,0	29,0	34,0	153
5	3,00	3994	4693	11	316	1380	5,0	33,0	37,0	127
5	2,39	3855	4710	18	266	1283	4,0	25,0	33,0	104
5	3,02	3098	4320	9	313	1185	4,0	25,0	36,0	129
5	2,96	2910	4195	15	332	1185	4,0	31,0	37,0	123

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

APÉNDICE 3: ANÁLISIS DE LOS SUELOS

Tabla AP3.1: Resultados del análisis de suelo (17/Mayo/1992)

Tra	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K_{asi}	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,13	5,30	0,65	10,00	0,042	29	110	1,39	0,49	0,06	70	14,0	0,50	0,72
1	2	0,12	5,40	0,70	9,37	0,063	32	70	1,42	0,41	0,08	58	16,0	0,62	1,34
1	3	0,19	5,55	0,77	8,10	0,061	33	110	1,84	0,45	0,07	96	25,4	1,20	1,42
1	4	0,14	5,41	0,84	12,50	0,069	27	145	3,33	0,95	0,07	74	18,0	0,90	1,10
2	1	0,12	5,23	0,87	11,87	0,076	25	115	3,18	0,99	0,08	74	22,0	0,90	1,10
2	2	0,12	5,93	0,67	5,60	0,053	31	80	1,47	0,41	0,06	52	16,0	0,58	1,16
2	3	0,13	5,40	0,65	10,00	0,083	36	120	1,54	0,57	0,07	60	12,0	2,80	0,96
2	4	0,11	5,70	0,84	11,87	0,069	30	100	3,43	0,99	0,08	68	14,0	0,76	0,86
3	1	0,16	5,30	0,35	11,25	0,067	27	120	2,18	0,78	0,07	84	12,0	0,62	0,68
3	2	0,21	5,43	0,97	0,00	0,096	46	140	2,74	0,78	0,08	64	22,0	0,88	1,80
3	3	0,13	5,53	0,53	11,25	0,061	28	115	4,17	1,36	0,09	62	14,0	0,70	1,12
3	4	0,21	5,46	0,55	11,25	0,070	33	120	2,16	0,66	0,07	88	33,6	1,30	1,24
4	1	0,10	5,73	0,57	6,30	0,053	35	110	2,18	0,49	0,07	60	12,0	0,60	1,18
4	2	0,20	5,46	0,94	11,25	0,087	40	125	2,23	0,62	0,07	96	24,2	1,48	1,68
4	3	0,15	5,61	0,84	7,20	0,074	30	125	2,16	0,78	0,07	76	14,0	0,84	0,78
4	4	0,13	5,32	0,72	9,70	0,048	32	125	3,87	1,11	0,08	86	18,0	0,74	0,88
5	1	0,09	5,53	0,44	6,88	0,029	57	84	1,62	0,41	0,04	72	14,0	0,54	1,08
5	2	0,09	5,44	0,44	6,88	0,048	49	100	1,59	0,45	0,04	78	16,0	0,54	1,00
5	3														
5	4														

Tabla AP3.2: Resultados del análisis de suelo (24/Junio/1992)

Tra	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,25	5,27	0,52	8,12	0,074	30	135	1,76	0,58	0,11	106	21,6	0,98	1,16
1	2	0,16	5,40	0,60	6,90	0,065	31	85	1,30	0,37	0,07	80	18,0	0,80	1,28
1	3	0,23	5,04	0,75	8,75	0,105	33	110	2,03	0,58	0,09	98	28,2	1,08	1,34
1	4	0,15	5,41	0,73	6,60	0,063	34	140	2,11	0,70	0,08	86	22,0	1,12	1,04
2	1	0,15	5,05	0,75	11,25	0,049	35	115	1,10	0,62	0,08	100	30,4	1,16	1,28
2	2	0,18	6,00	0,47	8,75	0,054	28	110	1,76	0,45	0,10	78	23,6	1,00	1,52
2	3	0,16	5,22	0,57	6,25	0,062	33	156	1,52	0,53	0,08	94	13,8	0,92	1,04
2	4	0,11	5,39	0,70	8,44	0,071	31	95	2,67	0,82	0,08	92	17,4	1,02	1,14
3	1	0,14	5,36	0,55	7,50	0,048	23	120	1,13	0,45	0,07	82	15,2	0,70	0,80
3	2	0,17	5,09	0,75	8,12	0,101	36	135	1,98	0,58	0,08	112	29,4	1,28	2,20
3	3	0,11	5,57	0,45	7,50	0,050	26	95	1,32	0,41	0,08	78	19,0	0,92	1,20
3	4	0,26	5,09	0,70	9,40	0,054	30	130	2,62	0,70	0,09	100	28,2	1,28	1,22
4	1	0,13	5,98	0,45	7,50	0,064	30	90	1,52	0,41	0,07	70	15,8	0,80	1,36
4	2	0,15	5,19	0,88	5,63	0,099	37	130	2,79	0,82	0,09	96	24,4	1,22	1,66
4	3	0,11	5,20	0,57	8,12	0,066	33	105	1,79	0,49	0,07	82	12,2	0,64	0,92
4	4	0,15	5,10	0,78	10,00	0,075	34	115	1,03	0,70	0,08	110	24,4	1,20	1,28
5	1	0,12	5,65	0,56	8,12	0,056	28	90	1,30	0,37	0,07	84	17,6	0,80	1,10
5	2	0,16	5,15	0,54	15,63	0,056	31	100	1,20	0,41	0,07	90	19,6	0,80	0,98
5	3	0,11	5,31	0,59	8,75	0,055	28	115	0,86	0,62	0,08	104	24,2	1,16	0,84
5	4	0,15	5,31	0,61	10,00	0,077	17	100	2,38	0,78	0,09	88	19,2	0,78	0,54

Tabla AP3.3: Resultados del análisis de suelo (27/Julio/1992)

Tra	Repe	CE	PH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,12	5,30	0,76	8,75	0,055	32	100	1,25	0,40	0,05	82	17,0	0,88	0,70
1	2	0,15	5,60	0,76	7,50	0,064	34	90	1,35	0,36	0,05	80	21,8	0,86	1,36
1	3	0,16	5,00	0,60	8,75	0,055	34	105	1,79	0,53	0,06	88	36,0	1,10	1,42
1	4	0,17	5,80	0,76	9,40	0,058	38	120	2,28	0,80	0,06	84	28,4	1,30	0,94
2	1	0,17	5,00	0,52	9,40	0,060	35	135	2,00	0,61	0,07	94	36,0	1,44	1,30
2	2	0,16	5,40	0,76	7,20	0,050	33	95	1,57	0,40	0,07	74	24,0	0,76	1,34
2	3	0,14	5,30	0,76	8,75	0,055	34	130	1,40	0,46	0,06	86	15,0	0,98	0,68
2	4	0,14	5,70	0,65	8,75	0,080	32	105	2,00	0,58	0,07	88	25,6	1,14	1,22
3	1	0,12	5,40	0,44	8,12	0,070	28	110	1,50	0,49	0,06	78	13,6	0,58	0,62
3	2	0,19	5,30	0,97	8,12	0,050	33	120	1,86	0,55	0,06	90	31,2	1,12	1,98
3	3	0,14	5,80	0,61	8,12	0,050	34	95	1,72	0,50	0,06	66	24,4	1,04	1,44
3	4	0,20	5,30	0,67	8,12	0,058	39	135	2,18	0,74	0,07	88	33,4	1,32	1,06
4	1	0,17	5,50	0,66	7,50	0,075	38	100	1,54	0,43	0,06	76	21,4	0,86	1,22
4	2	0,16	5,40	0,91	10,63	0,081	42	125	2,23	0,68	0,06	90	28,4	1,50	1,96
4	3	0,15	5,30	0,60	8,75	0,070	34	110	1,37	0,48	0,06	78	14,6	0,96	0,70
4	4	0,22	5,10	0,60	11,25	0,040	29	115	2,40	0,73	0,07	94	35,8	1,26	1,14
5	1	0,17	6,20	0,53	7,50	0,055	31	80	1,27	0,36	0,08	80	21,4	0,86	1,12
5	2	0,14	5,70	0,60	7,50	0,050	37	105	1,40	0,46	0,06	90	23,4	0,96	1,14
5	3	0,16	5,30	0,54	8,75	0,084	28	125	2,35	0,75	0,08	90	36,4	1,30	0,96
5	4	0,17	5,60	0,52	8,75	0,048	25	120	2,50	0,80	0,07	82	29,0	1,00	0,72

Tabla AP3.4: Resultados del análisis de suelo (1/Septiembre/1992)

Trat	Repe	CE	PH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,17	5,80	0,54	6,90	0,058	35	115	1,32	0,40	0,06	88	24,0	0,86	0,98
1	2	0,16	5,60	0,45	6,25	0,063	37	80	1,20	0,35	0,06	88	23,4	0,94	1,24
1	3	0,14	5,20	0,57	5,60	0,075	35	90	1,86	0,51	0,06	92	33,4	1,06	1,28
1	4	0,19	5,20	0,72	6,25	0,062	30	120	2,35	0,79	0,07	86	32,4	1,26	1,20
2	1	0,19	5,00	0,69	6,90	0,080	34	100	2,28	0,72	0,08	90	35,0	1,16	1,16
2	2	0,17	5,90	0,54	6,25	0,060	36	90	1,52	0,40	0,06	86	31,0	0,96	1,54
2	3	0,16	5,80	0,59	6,25	0,056	44	110	1,62	0,56	0,06	88	16,6	1,16	0,94
2	4	0,16	5,10	0,67	7,50	0,050	41	105	2,03	0,60	0,07	86	28,8	1,06	1,16
3	1	0,19	5,60	0,74	6,90	0,050	26	95	1,25	0,42	0,07	86	16,2	0,66	0,72
3	2	0,23	5,00	0,72	7,50	0,040	45	110	1,94	0,56	0,07	94	36,8	1,26	2,04
3	3	0,13	5,60	0,54	6,25	0,070	41	85	1,45	0,44	0,06	72	24,6	1,06	1,54
3	4	0,18	5,20	0,76	9,40	0,090	35	145	2,45	0,81	0,08	88	31,2	1,22	0,90
4	1	0,14	6,40	0,54	5,60	0,061	38	85	1,35	0,40	0,06	72	22,4	0,98	1,42
4	2	0,12	5,20	0,69	6,90	0,090	42	105	2,21	0,70	0,07	94	28,2	1,24	1,36
4	3	0,15	5,60	0,79	8,10	0,071	42	115	1,50	0,52	0,07	90	16,0	1,16	0,78
4	4	0,15	5,20	0,54	5,60	0,080	43	120	2,10	0,62	0,07	96	35,6	1,04	1,92
5	1	0,12	6,10	0,00	6,90	0,059	0	85	1,23	0,33	0,05	0	0,0	0,00	0,00
5	2	0,11	5,80	0,50	6,25	0,058	38	80	1,25	0,36	0,06	92	19,6	0,70	0,86
5	3	0,16	5,30	0,62	7,50	0,060	29	125	2,57	0,86	0,07	78	28,2	1,08	0,90
5	4	0,19	5,40	0,67	8,10	0,085	22	135	2,90	1,10	0,07	76	26,0	0,86	1,22

Tabla AP3.5: Resultados del análisis de suelo (6/Octubre/1992)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,16	5,40	0,40	6,25	0,063	40	95	1,46	0,51	0,07	86	16,4	0,70	0,56
1	2	0,14	5,50	0,55	8,10	0,069	48	75	1,94	0,62	0,07	72	17,6	0,74	1,06
1	3	0,19	5,80	0,70	8,80	0,073	37	80	2,84	0,86	0,08	86	19,4	1,04	1,16
1	4	0,14	5,70	0,67	9,70	0,060	32	105	3,41	1,23	0,08	76	11,8	0,76	0,66
2	1	0,16	5,40	0,62	9,10	0,056	34	85	2,87	0,95	0,08	88	21,2	1,16	0,86
2	2	0,14	5,70	0,00	6,25	0,054	0	80	1,60	0,45	0,06	0	0,0	0,00	0,00
2	3	0,15	5,60	0,80	7,50	0,061	51	100	2,35	0,86	0,08	84	15,0	1,16	0,92
2	4	0,14	6,00	0,55	8,10	0,067	42	70	2,80	0,86	0,08	84	17,2	1,02	0,86
3	1	0,14	5,60	0,57	6,25	0,071	33	80	1,76	0,65	0,07	78	10,8	0,70	0,40
3	2	0,17	5,40	0,67	7,50	0,099	44	95	3,10	0,81	0,09	92	20,2	1,12	1,40
3	3	0,13	5,80	0,40	8,10	0,042	48	80	0,46	0,66	0,09	72	15,6	0,92	1,36
3	4	0,23	5,30	0,67	7,50	0,080	35	120	2,70	0,86	0,08	82	17,8	1,06	0,62
4	1	0,14	5,70	0,37	9,40	0,041	46	85	2,20	0,54	0,09	74	19,0	0,70	1,14
4	2	0,13	5,60	0,62	9,40	0,066	41	80	3,45	1,20	0,08	84	15,0	1,14	0,76
4	3	0,22	5,80	0,55	6,90	0,063	43	85	1,81	0,68	0,07	82	11,0	0,88	0,76
4	4	0,15	5,60	0,60	7,10	0,067	38	70	2,55	0,77	0,08	100	19,0	1,16	0,84
5	1	0,11	5,90	0,23	6,60	0,041	28	65	2,03	0,65	0,08	86	15,8	0,72	0,64
5	2	0,13	5,40	0,40	6,60	0,042	37	70	1,57	0,51	0,07	86	21,8	1,16	0,88
5	3	0,13	5,40	0,67	7,50	0,056	35	95	2,40	0,81	0,07	74	16,0	0,86	0,56
5	4	0,13	5,80	0,55	8,40	0,068	19	85	2,70	0,99	0,07	80	15,4	0,76	0,96

Tabla AP3.6: Resultados del análisis de suelo (20/Noviembre/1992)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,13	5,10	0,57	6,30	0,040	45	80	1,17	0,33	0,08	90	15,4	0,88	0,72
1	2	0,12	5,40	0,52	6,00	0,061	47	65	1,30	0,30	0,08	80	16,4	0,80	1,30
1	3	0,12	5,40	0,76	6,90	0,066	51	95	2,13	0,50	0,08	90	25,8	1,06	1,34
1	4	0,15	5,50	0,84	6,90	0,055	46	105	2,45	0,70	0,08	82	15,2	1,26	1,14
2	1	0,12	5,50	0,86	6,90	0,074	40	85	2,23	0,62	0,11	86	19,6	1,20	0,92
2	2	0,12	5,50	0,66	6,00	0,041	35	80	1,67	0,40	0,08	78	13,2	0,88	1,34
2	3	0,11	5,40	0,52	7,20	0,069	46	85	1,27	0,45	0,08	83	8,8	0,92	0,62
2	4	0,14	5,40	0,76	6,90	0,054	46	105	2,40	0,53	0,08	92	15,2	1,12	1,26
3	1	0,10	5,50	0,57	5,60	0,047	31	75	1,15	0,40	0,08	80	8,8	0,60	1,08
3	2	0,14	5,10	0,76	6,90	0,075	52	90	2,11	0,53	0,08	86	20,8	1,06	1,34
3	3	0,08	5,80	0,64	6,00	0,065	39	75	1,40	0,41	0,08	80	19,2	0,76	1,32
3	4	0,16	5,30	0,71	7,50	0,080	48	105	3,36	0,50	0,08	84	24,8	1,20	1,08
4	1	0,14	5,40	0,64	5,30	0,033	55	95	1,47	0,33	0,11	56	20,2	0,84	1,76
4	2	0,86	5,30	0,86	7,50	0,067	47	85	2,23	0,62	0,08	94	21,0	1,20	1,70
4	3	0,11	5,20	0,47	5,60	0,039	42	100	1,35	0,50	0,08	90	11,4	0,82	1,52
4	4	0,13	5,20	0,89	7,50	0,056	47	100	2,43	0,45	0,08	92	23,4	1,28	1,22
5	1	0,13	5,40	0,64	6,30	0,061	42	65	2,30	0,40	0,08	82	14,4	0,86	1,32
5	2	0,12	5,40	0,59	6,30	0,052	40	80	2,35	0,30	0,06	84	14,0	0,74	0,92
5	3	0,11	5,40	0,79	8,10	0,049	37	90	2,20	0,62	0,08	88	23,6	1,04	0,90
5	4	0,17	5,30	0,54	7,20	0,054	25	110	3,23	0,70	0,08	76	27,8	0,94	0,70

Tabla AP3.7: Resultados del análisis de suelo (9/Enero/1993)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,1	5,88	0,70	9,70	0,053	41	95	2,15	0,86	0,08	76	17,0	0,72	1,06
1	2	0,1	6,00	0,72	9,70	0,055	38	120	1,86	0,78	0,08	84	13,4	0,78	0,80
1	3	0,11	5,53	0,99	12,20	0,054	43	120	3,72	1,19	0,08	94	24,0	1,20	1,62
1	4	0,15	5,95	1,09	11,60	0,068	40	150	4,16	1,68	0,08	76	18,6	1,16	0,90
2	1			0,75	8,10	0,059	37	100	2,43	0,90	0,08	74	16,0	0,82	1,06
2	2	0,11	5,46	0,77	10,30	0,069	40	120	2,08	0,98	0,08	88	14,4	0,96	0,70
2	3	0,12	5,86	0,97	12,20	0,075	39	135	3,6	1,39	0,08	82	17,0	1,06	1,04
2	4	0,12	5,57	0,75	14,10	0,069	38	125	3,48	1,15	0,08	88	23,2	1,18	0,70
3	1	0,13	6,62	0,70	9,10	0,061	45	100	2,33	0,90	0,11	58	14,6	0,94	1,56
3	2	0,12	6,07	0,85	9,70	0,054	30	120	1,96	0,90	0,08	78	16,0	0,58	0,64
3	3	0,12	6,07	1,04	12,20	0,067	56	155	5,66	2,14	0,11	84	23,0	1,20	1,68
3	4	0,15	6,13	1,02	12,20	0,053	44	190	4,19	1,40	0,08	86	25,8	1,20	1,08
4	1	0,12	6,60	0,50	8,40	0,072	42	115	2,62	0,95	0,08	62	22,4	0,98	1,66
4	2	0,11	5,80	0,85	9,10	0,061	36	140	2,4	1,11	0,08	80	17,6	0,82	0,56
4	3	0,12	5,93	0,94	15,30	0,084	49	180	4,53	1,80	0,08	84	17,2	1,18	1,28
4	4	0,13	5,77	0,99	14,70	0,059	32	115	4,73	1,76	0,13	86	21,0	1,18	1,34
5	1	0,1	5,64	0,68	9,70	0,046	34	85	2,13	0,78	0,08	80	15,2	0,80	1,10
5	2	0,1	5,92	0,80	9,70	0,055	35	135	3,45	1,48	0,08	82	15,0	0,76	0,80
5	3	0,15	6,30	1,04	14,70	0,061	19	130	5,58	2,34	0,08	66	18,2	0,84	0,84
5	4	0,12	5,93	0,94	16,60	0,052	25	165	8,97	2,60	0,21	72	23,2	1,00	0,60

BIBLIOTECA VIRTUAL

Tabla AP3.8: Resultados del análisis de suelo (12/Marzo/1993)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,11	5,61	0,58	5,90		47	75	1,52	0,42	0,33	77	15,7	1,54	1,78
1	2	0,13	5,68	0,67	5,60	0,069	48	120	1,5	0,53	0,26	90	14,5	1,44	1,30
1	3	0,14	5,14	0,72	6,90	0,075	47	110	3,26	0,66	0,22	107	26,0	1,90	2,84
1	4	0,16	5,66	0,71	8,10	0,069	42	120	2,11	0,75	0,18	82	17,4	4,18	1,72
2	1	0,13	6,01	0,60	7,81	0,058	42	115	2,5	0,56	0,27	71	14,6	1,64	2,00
2	2	0,12	6,28	0,62	6,60	0,063	39	120	2,9	0,67	0,12	82	10,3	1,38	1,04
2	3	0,15	5,42	0,75	6,30	0,076	43	130	2,62	0,79	0,41	89	17,8	1,66	1,60
2	4	0,13	5,35	0,70	9,10	0,068	39	115	2,75	0,92	0,34	100	19,2	1,74	1,74
3	1	0,1	5,87	0,58	6,25	0,069	42	80	1,54	0,52	0,29	73	13,7	1,58	1,44
3	2	0,13	5,93	0,50	4,40	0,054	34	130	1,35	0,69	0,31	88	18,1	1,74	1,68
3	3	0,15	5,26	0,78	6,30	0,085	50	120	3,18	0,60	0,16	97	22,6	1,72	2,20
3	4	0,14	5,46	0,80	8,80	0,074	43	125	2,62	0,77	0,27	103	19,9	1,64	1,78
4	1	0,14	6,69	0,55	5,31	0,030	48	105	3,04	0,55	0,32	72	13,1	1,32	1,62
4	2	0,11	5,91	0,49	7,80	0,061	41	120	1,98	0,66	0,17	84	16,4	1,36	1,10
4	3	0,13	5,25	0,87	8,40	0,075	53	110	2,77	0,78	0,32	97	17,9	1,90	2,02
4	4	0,16	5,37	0,72	8,40	0,071	44	115	3,1	0,95	0,35	102	20,0	2,14	1,98
5	1	0,08	5,56	0,54	6,25	0,071	37	95	2,06	0,40	0,24	83	13,1	2,06	1,26
5	2	0,11	5,72	0,55	6,60	0,054	35	120	1,91	0,57	0,33	80	14,7	1,34	1,48
5	3	0,11	6,02	0,65	8,80	0,071	22	115	3,16	1,10	0,22	86	19,1	1,64	1,38
5	4	0,1	5,57	0,63	9,70	0,057	36	105	2,4	0,89	0,13	94	18,7	2,00	2,06

Tabla AP3.9: Resultados del análisis de suelo (15/Mayo/1993)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,08	5,67	0,67	6,10	0,079	48	70	1,32	0,43	0,04	80	16,2	6,74	1,82
1	2	0,08	5,67	0,55	6,80	0,070	49	80	0,98	0,38	0,04	88	16,2	1,16	1,66
1	3	0,11	5,42	0,74	8,60	0,050	50	90	1,59	0,55	0,06	92	19,4	1,90	2,68
1	4	0,09	5,82	0,59	4,40	0,083	39	95	1,96	0,70	0,04	86	15,4	1,62	2,14
2	1	0,12	5,57	0,51	6,80	0,062	48	75	0,83	0,31	0,04	78	15,8	1,44	2,50
2	2	0,08	5,84	0,61	7,70	0,084	48	95	1,54	0,56	0,06	80	9,2	1,20	2,24
2	3	0,06	5,67	0,72	9,25	0,050	45	85	2,48	0,71	0,04	84	10,2	1,26	2,48
2	4	0,1	5,81	0,83	6,30	0,094	45	85	2,75	0,90	0,06	88	21,8	1,54	2,86
3	1	0,08	6,12	0,44	7,40	0,062	51	70	1,15	0,37	0,04	70	10,0	1,28	4,82
3	2	0,08	5,74	0,43	6,40	0,065	36	70	1,15	0,41	0,06	80	11,1	0,94	1,10
3	3	0,09	5,48	0,80	8,60	0,099	51	85	2,11	0,55	0,06	90	20,8	1,78	2,54
3	4	0,1	5,75	0,66	5,00	0,071	48	120	2,21	0,75	0,06	90	19,4	1,22	2,04
4	1	0,09	5,98	0,46	6,40	0,079	48	80	1,37	0,41	0,04	70	14,2	5,48	1,64
4	2	0,09	5,64	0,59	7,40	0,040	40	85	1,25	0,53	0,04	88	14,4	1,38	1,30
4	3	0,09	5,62	0,93	9,25	0,070	53	90	2,62	0,74	0,06	90	17,2	2,92	2,64
4	4	0,1	5,71	0,80	8,00	0,085	49	90	2,94	0,70	0,06	94	25,4	1,76	2,44
5	1	0,08	5,77	0,59	6,80	0,070	40	85	1,23	0,44	0,06	80	13,0	1,64	1,56
5	2	0,08	5,54	0,53	6,80	0,067	43	90	1,5	0,41	0,06	86	14,4	1,14	1,30
5	3	0,09	6,01	0,53	5,60	0,072	23	85	2,2	0,80	0,04	82	15,8	1,36	1,76
5	4	0,12	5,86	0,67	5,60	0,075	31	110	3,19	1,07	0,06	90	21,2	2,08	2,16

Tabla AP3.10: Resultados del análisis de suelo (29/Octubre/1993)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,06	5,87	0,60	6,50	0,040	34	75	1,5	0,41	0,07	90	20,0	1,00	1,84
1	2	0,06	5,74	0,60	6,50	0,050	42	95	1,52	0,48	0,07	94	14,6	1,04	1,24
1	3	0,07	5,44	0,80	7,81		44	95	2,5	0,58	0,08	94	28,4	1,66	2,74
1	4	0,06	5,70	0,80	5,60		40	100	3,09	0,86	0,07	86	19,4	1,24	1,38
2	1	0,05	6,31	0,60	7,18	0,040	35	115	1,54	0,51	0,07	68	17,2	1,16	2,92
2	2	0,07	5,44	0,80	6,50	0,060	33	95	2,28	0,80	0,08	94	26,8	1,26	1,24
2	3	0,07	5,58	0,80	7,18	0,060	38	95	2,48	0,62	0,07	94	20,6	1,12	1,22
2	4	0,06	5,54	0,70	7,81		38	90	2,4	0,66	0,06	92	24,4	1,12	1,42
3	1	0,06	6,05	0,50	6,50	0,040	36	85	1,62	0,43	0,06	84	16,0	1,06	1,64
3	2	0,04	5,93	0,60	5,90	0,040	34	105	1,42	0,41	0,06	92	13,6	0,72	0,92
3	3	0,08	6,31	0,80	6,50	0,040	46	90	2,57	0,50	0,10	94	25,2	1,14	2,12
3	4	0,07	5,73	0,80	8,43		33	100	3,36	0,86	0,08	90	24,0	1,14	1,80
4	1	0,05	5,77	0,50	5,90	0,040	37	85	1,57	0,38	0,07	92	21,0	1,12	2,02
4	2	0,05	5,66	0,30	6,50	0,050	38	100	1,54	0,62	0,07	98	16,2	1,62	1,38
4	3	0,07	5,66	0,70	8,43	0,060	43	95	2,21	0,78	0,07	92	19,2	1,34	1,78
4	4	0,06	5,64	0,70	7,18		37	95	1,64	0,51	0,06	92	13,2	1,14	1,38
5	1	0,05	5,62	0,70	6,50	0,040	35	70	1,54	0,37	0,05	92	16,2	0,96	1,34
5	2	0,05	5,70	0,50	5,90	0,040	30	90	1,89	0,32	0,05	92	17,2	0,80	1,26
5	3	0,06	5,69	1,00	6,30		22	115	2,82	0,95	0,06	86	20,8	0,98	1,02
5	4	0,07	5,44	0,50	6,30		29	100	2,28	0,80	0,06	90	25,6	1,26	1,20

Tabla AP3.11: Resultados del análisis de suelo (4/Enero/1994)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,08	6,09	0,53	6,56	0,040	53	70	2,3	0,50	0,08	76	11,2	0,68	3,02
1	2	0,07	5,91	0,45	6,56	0,050	50	75	1,6	0,50	0,08	76	13,8	0,56	1,84
1	3	0,08	5,80	0,79	8,43	0,070	53	85	4,2	1,00	0,11	82	14,0	0,96	4,66
1	4	0,07	6,26	0,84	10,00	0,070	41	105	4,2	1,70	0,13	77	16,9	1,10	1,46
2	1	0,11	6,22	0,36	7,18	0,030	47	75	2,4	0,70	0,11	68	12,8	0,84	6,30
2	2	0,16	7,24	0,47	13,75	0,050	47	85	8,1	0,90	0,13	84	12,6	0,62	1,56
2	3	0,08	6,16	0,87	8,43	0,070	52	90	3	0,90	0,11	76	13,8	0,58	1,82
2	4	0,09	5,84	0,72	11,25	0,070	48	80	3,3	1,20	0,13	86	17,2	1,02	2,50
3	1	0,09	6,21	0,46	7,18	0,050	59	75	3,2	0,70	0,13	62	11,4	0,89	4,14
3	2	0,09	6,31	0,47	7,18	0,060	44	85	2,4	0,60	0,11	82	9,6	0,74	2,10
3	3	0,08	6,05	0,84	7,18	0,060	60	75	3,4	0,90	0,11	80	14,0	1,02	3,86
3	4	0,08	5,99	0,75	9,37	0,070	46	95	2,9	1,30	0,15	82	17,6	1,00	2,84
4	1	0,08	6,09	0,45	7,18	0,030	54	70	2,8	0,60	0,15	70	11,4	0,68	2,86
4	2	0,09	6,33	0,46	7,81	0,050	46	85	3,1	0,90	0,13	78	8,0	0,66	2,42
4	3	0,1	6,29	0,94	10,93	0,090	58	85	6,3	1,40	0,11	74	13,8	0,86	3,22
4	4	0,07	5,68	0,70	8,75	0,060	57	70	5,4	1,00	0,15	84	18,0	0,92	4,50
5	1	0,08	6,09	0,42	8,44	0,050	44	70	2,7	0,50	0,11	72	11,4	0,62	2,00
5	2	0,07	5,81	0,50	7,18	0,040	80	70	2	0,60	0,08	78	12,2	0,64	2,14
5	3	0,05	6,07	0,72	8,75	0,060	24	85	2,7	1,30	0,11	67	18,5	0,82	0,74
5	4	0,06	5,97	0,70	10,00	0,060	32	80	2,8	1,20	0,13	80	18,3	0,92	1,04

Tabla AP3.12: Resultados del análisis de suelo (21/Marzo/1994)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,06	5,74	0,66	7,50	0,060	55	70	1,4	0,50	0,11	75	13,3	0,74	1,86
1	2	0,06	5,82	0,70	5,00	0,070	55	90	1,5	0,60	0,08	77	11,9	0,82	0,92
1	3	0,07	5,87	0,83	10,00	0,060	64	95	2,4	0,80	0,11	84	13,7	1,20	1,72
1	4	0,08	5,96	0,68	11,25	0,060	38	100	3,5	0,40	0,11	74	14,9	1,56	1,32
2	1	0,11	6,01	0,61	7,50	0,050	55	80	2,2	0,90	0,11	70	11,1	0,84	3,66
2	2	0,06	5,66	0,66	7,50	0,070	50	85	2,2	0,60	0,11	82	11,7	0,70	0,80
2	3	0,06	5,73	0,80	11,25	0,060	49	80	2,7	0,90	0,11	88	14,9	1,22	1,22
2	4	0,09	5,79	0,71	10,00	0,060	55	115	2,9	1,10	0,08	85	14,5		1,58
3	1	0,07	6,14	0,47	8,75	0,050	47	80	3,5	1,30	0,13	61	11,5	0,80	3,38
3	2	0,06	5,89	0,52	7,50	0,050	40	80	1,4	0,50	0,08	82	12,9	0,84	1,02
3	3	0,06	5,57	0,76	7,50	0,070	60	90	3,7	1,20	0,08	89	20,7	1,32	1,72
3	4	0,08	5,91	0,83	10,00	0,060	49	100	3,1	1,00	0,08	85	17,5	1,44	1,36
4	1	0,13	7,09	0,47	7,50	0,050	52	80	2,9	0,80	0,08	55	10,3	0,68	1,70
4	2	0,07	6,19	0,66	9,37	0,060	46	105	3	1,10	0,11	85	12,7	0,78	0,96
4	3	0,07	5,72	0,82	13,12	0,060	60	95	3,8	1,40	0,11	87	15,7	1,36	1,48
4	4	0,08	5,68	0,75	10,00	0,060	56	85	2,9	0,90	0,08	91	21,1	1,32	1,40
5	1	0,06	5,74	0,54	9,37	0,060	44	85	2,8	1,00	0,11	80	13,9	0,78	1,34
5	2	0,05	5,82	0,57	6,25	0,050	47	75	1,6	0,60	0,11	82	11,9	0,60	0,84
5	3	0,06	5,96	0,67	8,12	0,050	26	115	2,8	1,10	0,15	83	17,5	0,80	0,84
5	4	0,07	5,73	0,65	10,62	0,060	38	120	3,8	1,50	0,11	84	19,1	1,00	0,84

Tabla AP3.13: Resultados del análisis de suelo (20/Mayo/1994)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,05	5,56	0,64	8,12	0,050	51	75	2,1	0,45	0,04	75	15,5	0,76	1,36
1	2	0,05	5,41	0,55	7,50	0,050	51	85	1,6	0,36	0,06	86	14,1	0,68	0,88
1	3	0,04	5,36	0,62	9,37	0,060	55	80	2,8	0,78	0,11	83	18,1	0,92	1,38
1	4	0,02	5,67	0,69	10,62	0,060	46	115	3,9	1,11	0,06	82	19,5	0,98	0,84
2	1	0,07	5,83	0,40	7,50	0,050	45	85	1,7	0,45	0,04	62	8,1	0,60	1,08
2	2	0,05	5,71	0,62	10,62	0,060	56	100	1,6	0,70	0,06	76	8,9	0,84	0,90
2	3	0,04	5,60	0,76	12,50	0,060	49	95	2,7	0,82	0,11	75	11,5	0,78	1,00
2	4	0,04	5,64	0,67	11,87	0,070	48	95	4,3	1,27	0,11	83	19,3	1,02	1,22
3	1	0,06	5,96	0,57	6,25	0,050	52	85	2,1	0,66	0,08	55	8,7	0,82	1,56
3	2	0,04	5,62	0,52	9,37	0,050	45	95	1,6	0,60	0,06	84	12,9	0,66	0,92
3	3	0,03	5,47	0,79	10,62	0,070	62	90	3,5	0,70	0,09	90	23,1	0,94	1,60
3	4	0,04	5,53	0,78	9,37	0,060	48	120	3,7	1,03	0,06	83	17,1	1,82	1,14
4	1	0,05	5,93	0,56	6,87	0,050	56	85	1,8	0,50	0,06	76	13,9	0,70	1,34
4	2	0,03	5,67	0,58	13,12	0,060	47	105	2,4	0,70	0,13	79	17,3	0,74	1,08
4	3	0,04	5,54	0,73	11,87	0,070	60	95	3,9	1,07	0,11	80	15,1	1,40	1,52
4	4	0,04	5,65	0,83	10,62	0,070	53	95	2,9	0,95	0,11	85	15,9	0,98	1,30
5	1	0,04	5,61	0,48	7,50	0,050	46	70	1,4	0,45	0,09	75	11,9	0,66	0,96
5	2	0,05	6,47	0,50	5,00	0,050	48	85	3,1	0,50	0,09	76	14,3	0,60	0,90
5	3	0,03	5,56	0,60	6,25	0,060	28	90	3,6	0,94	0,06	78	16,3	0,74	0,44
5	4	0,02	5,67	0,71	15,62	0,070	37	115	4,4	1,31	0,09	80	16,9	0,86	0,62

Tabla AP3.14: Resultados del análisis de suelo (13/Septiembre/1994)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,11	6,20	0,89	5,80	0,050	52	100	3,28	0,46	0,06	54	21,0	0,90	1,32
1	2	0,08	5,71	0,85	5,20	0,030	57	100	1,49	0,39	0,06	70	19,0	1,02	0,92
1	3	0,13	5,62	0,91	8,30	0,060	61	105	4,12	0,65	0,11	72	27,0	1,20	1,72
1	4	0,09	5,60		4,20	0,060	49	110	3,53	0,77	0,06	74	27,2	1,32	1,08
2	1	0,10	6,16	0,81	7,00	0,050	57	110	2,25	0,55	0,06	92	54,0	1,40	1,58
2	2	0,11	6,32	0,91	5,20	0,060	61	115	3,06	0,73	0,11	72	17,7	1,40	1,04
2	3	0,11	5,98	1,07	5,50	0,070	54	110	3,53	0,82	0,13	70	22,2	1,32	1,54
2	4	0,14	5,34	1,06	8,00	0,060	54	105	3,75	0,80	0,11	76	30,0	1,28	1,38
3	1	0,11	6,22	0,75	5,00	0,050	61	100	2,01	0,56	0,06	50	24,8	1,20	1,78
3	2	0,08	5,70	0,96	4,20	0,050	48	95	2,84	0,47	0,11	80	14,4	0,78	0,68
3	3	0,10	5,81	1,06	4,80	0,060	63	100	3,82	0,73	0,09	78	26,8	1,32	1,88
3	4	0,12	5,46	1,12	9,20	0,070	59	115	3,41	0,68	0,06	78	26,6	1,28	1,36
4	1	0,11	6,52	0,79	7,00	0,050	58	95	3,87	0,49	0,06	58	21,4	1,00	1,50
4	2	0,16	5,85	0,73	4,50	0,060	50	120	2,11	0,58	0,11	70	17,4	0,96	1,04
4	3	0,10	5,67	1,03	3,20	0,060	51	85	6,27	0,86	0,09	70	19,2	1,26	1,34
4	4	0,12	5,36	1,00	9,20	0,060	57	90	6,03	0,74	0,06	82	25,2	1,20	1,20
5	1	0,07	6,25	0,78	4,20	0,040	48	80	1,81	0,45	0,06	64	19,6	0,84	0,86
5	2	0,07	5,66	0,89	4,20	0,060	45	80	1,47	0,36	0,06	70	16,8	0,72	0,62
5	3	0,16	5,94	1,54	5,50	0,050	30	115	4,36	0,90	0,06	70	23,4	0,84	0,52
5	4	0,13	5,71	1,28	5,50	0,070	46	120	4,24	0,88	0,09	78	31,6	1,34	0,94

Tabla AP3.15: Resultados del análisis de suelo (1/Noviembre/1994)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,08	5,67	0,59	6,90	0,047	56	75	1,4	0,40	0,05	72	17,8	0,98	1,38
1	2	0,11	5,35	0,78	6,30	0,042	57	85	1,2	0,60	0,04	78	16,2	0,86	0,82
1	3	0,16	5,56	0,78	5,00	0,063	66	95	2,6	0,60	0,12	82	27,0	1,12	1,50
1	4	0,02	6,03	0,98	11,10	0,064	47	105	3,8	1,10	0,07	74	22,4	1,16	0,86
2	1	0,11	6,48	0,74	6,30	0,044		70	1,8	0,40	0,02	66	16,6	0,76	1,04
2	2	0,14	5,75	0,69	7,50	0,049	58	90	1,9	0,50	0,05	80	12,8	1,04	0,90
2	3	0,1	5,92	0,73	5,30	0,053	51	100	2,9	0,70	0,09	76	18,6	1,10	1,28
2	4	0,16	5,81	0,86	5,60	0,065	53	115	2,7	0,80	0,11	80	24,2	1,18	1,30
3	1	0,06	6,17	0,77	7,50	0,048	12	65	2,4	0,50	0,04	66	15,2	1,06	1,52
3	2	0,07	5,47	0,80	6,90	0,037	45	75	1,7	0,40	0,08	80	14,6	0,72	0,60
3	3	0,08	5,98	0,84	6,30	0,054	60	80	2,4	0,60	0,05	84	24,8	1,16	1,44
3	4	0,18	6,25	1,00	10,20	0,066	50	135	4	0,80	0,13	74	27,0	1,14	1,18
4	1	0,09	6,06	0,73	6,30	0,049		70	1,6	0,40	0,04	72	17,0	0,88	1,28
4	2	0,11	5,43	0,61	6,90	0,042	52	90	1,8	0,40	0,05	80	13,8	0,98	0,82
4	3	0,12	6,07	1,00	9,40	0,055	58	85	3,5	0,90	0,07	82	20,8	1,24	1,22
4	4	0,11	5,48	0,85	6,30	0,064	57	85	3,3	0,80	0,06	82	27,0	1,24	1,12
5	1	0,07	5,80	0,78	5,60	0,043	46	65	1,6	0,50	0,09	78	15,0	0,74	0,84
5	2	0,06	5,65	0,79	6,30	0,038	55	65	1,4	0,40	0,04	86	18,0	0,72	0,76
5	3	0,14	6,06	0,77	9,80	0,054	32	85	3,7	0,80	0,05	76	21,0	0,78	0,56
5	4	0,1	5,47	0,68	8,90	0,056	44	105	3,5	0,90	0,10	80	22,6	1,08	0,66

Tabla AP3.16: Resultados del análisis de suelo (23/Noviembre/1995)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}
1	1	0,05	5,81	0,63	6,58	0,037	57
1	2	0,05	5,84	0,60	7,16	0,024	59
1	3	0,07	5,85	0,92	9,14	0,060	76
1	4	0,05	5,98	0,83	9,22	0,044	56
2	1	0,07	6,38	0,56	7,34	0,038	51
2	2	0,04	5,84	0,71	5,78	0,032	60
2	3	0,06	5,52	0,82	9,45	0,047	59
2	4	0,05	5,86	0,81	8,36	0,044	52
3	1	0,05	6,04	0,72	6,49	0,034	61
3	2	0,04	5,68	0,63	6,41	0,039	52
3	3	0,08	5,81	0,86	7,89	0,051	64
3	4	0,05	5,78	0,75	8,87	0,053	53
4	1	0,06	6,02	0,61	6,77	0,040	54
4	2	0,05	5,93	0,65	6,56	0,038	49
4	3	0,07	6,00	0,91	9,84	0,053	63
4	4	0,06	5,85	0,83	9,22	0,053	51
5	1	0,04	5,82	0,54	4,84	0,029	48
5	2	0,04	5,60	0,55	5,95	0,027	51
5	3	0,04	5,71	0,66	7,39	0,043	28
5	4	0,04	5,62	0,74	9,55	0,035	43

BIBLIOTECA VIRTUAL

Tabla AP3.17: Resultados del análisis de suelo (18/Marzo/1996)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,08	5,16	0,59	6,82	0,034	57	88	1,46	0,32	0,01	31	11,7	0,43	0,68
1	2	0,12	5,15	0,59	6,00	0,037	63	103	1,02	0,34	0,01	32	10,1	0,43	0,55
1	3	0,12	4,96	0,66	6,97	0,045	62	104	2,21	0,74	0,04	32	14,4	0,79	1,48
1	4	0,1	5,28	0,64	8,90	0,046	77	106	2,86	1,10	0,03	27	14,4	0,73	0,80
2	1	0,16	5,16	0,51	5,62	0,025	46	77	1,46	0,45	0,02	23	12,8	0,66	0,89
2	2	0,1	5,18	0,60	7,42	0,039	53	112	1,30	0,49	0,02	33	9,3	0,57	0,62
2	3	0,2	5,15	0,69	8,28	0,052	61	88	2,54	0,86	0,02	34	12,6	0,67	0,90
2	4	0,14	5,19	0,69	8,21	0,045	59	103	2,30	0,82	0,01	34	14,3	0,64	0,76
3	1	0,22	5,16	0,56	7,16	0,033	57	71	1,36	0,42	0,02	28	12,8	0,52	0,70
3	2	0,14	5,31	0,53	6,49	0,034	49	88	1,09	0,41	0,02	37	8,3	0,36	0,42
3	3	0,12	5,09	0,76	7,81	0,045	68	102	1,88	0,60	0,03	38	15,8	0,71	1,26
3	4	0,16	5,02	0,68	8,34	0,045	57	112	2,23	0,77	0,03	33	15,2	0,60	0,67
4	1	0,14	5,18	0,56	6,45	0,033	60	79	1,28	0,44	0,01	29	13,4	0,49	0,68
4	2	0,13	5,12	0,53	6,87	0,038	54	90	1,31	0,46	0,05	31	7,0	0,41	0,53
4	3	0,24	5,18	0,82	8,91	0,060	69	102	2,72	0,90	0,04	31	12,5	0,76	0,92
4	4	0,2	4,99	0,75	8,75	0,052	63	105	2,85	0,94	0,04	37	15,6	0,72	0,74
5	1	0,08	5,12	0,60	6,41	0,038	51	84	1,25	0,40	0,01	33	12,2	0,41	0,47
5	2	0,09	4,98	0,56	6,09	0,039	53	83	1,02	0,35	0,03	35	11,5	0,39	0,48
5	3	0,18	5,14	0,54	8,82	0,000	22	107	2,37	0,92	0,02	31	14,2	0,42	0,46
5	4	0,16	5,06	0,65	8,98	0,045	37	116	2,32	0,90	0,03	35	16,2	0,52	0,48

Tabla AP3.18: Resultados del análisis de suelo (6/Noviembre/1996)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,07	5,51	0,59	5,94	0,047	57	87	1,05	0,35	0,01	66	14,4	0,84	1,60
1	2	0,07	5,54	0,63	5,62	0,033	60	125	1,20	0,44	0,01	71	12,9	0,94	1,90
1	3	0,09	5,38	0,75	8,75	0,051	59	98	1,75	0,60	0,04	71	20,0	1,16	1,72
1	4	0,06	5,56	0,73	10,31	0,052	45	120	2,61	0,94	0,01	64	18,8	1,22	1,36
2	1	0,09	5,83	0,57	5,89	0,039	56	116	1,31	0,45	0,03	57	18,2	0,90	1,77
2	2	0,08	5,46	0,59	6,63	0,040	62	110	1,44	0,60	0,01	69	12,0	1,02	1,02
2	3	0,1	5,68	0,76	7,18	0,052	56	123	2,05	0,75	0,02	65	18,3	1,20	1,96
2	4	0,14	5,37	0,69	9,00	0,055	58	122	2,19	0,65	0,03	70	20,6	1,22	1,64
3	1	0,09	5,84	0,63	6,56	0,040	61	112	1,33	0,47	0,02	52	16,4	1,04	1,96
3	2	0,08	5,98	0,57	6,73	0,036	47	111	1,12	0,46	0,03	66	8,4	0,70	1,16
3	3	0,13	5,11	0,83	8,44	0,057	69	103	1,88	0,67	0,03	68	18,6	1,24	1,92
3	4	0,11	5,30	0,67	9,22	0,051	56	144	1,32	0,61	0,05	73	19,5	1,28	1,56
4	1	0,07	5,67	0,65	5,00	0,048	60	100	1,23	0,44	0,02	65	17,0	0,92	1,74
4	2	0,15	6,61	0,63	4,69	0,044	48	101	1,13	0,48	0,01	76	9,2	0,86	0,72
4	3	0,23	5,44	0,89	10,42	0,065	66	133	2,60	0,90	0,03	62	18,2	1,46	2,32
4	4	0,16	5,28	0,76	9,06	0,059	59	131	2,45	0,86	0,03	72	18,6	1,28	1,72
5	1	0,05	5,54	0,53	5,94	0,033	46	96	1,10	0,39	0,03	77	15,1	0,80	1,44
5	2	0,06	5,46	0,50	5,94	0,032	49	107	0,83	0,29	0,01	79	14,5	0,70	1,20
5	3	0,11	5,50	0,63	8,75	0,050	30	132	2,49	0,98	0,02	62	19,5	0,92	0,92
5	4	0,12	5,70	0,62	9,67	0,051	32	128	2,48	0,94	0,01	67	20,2	1,00	0,88

Tabla AP3.19: Resultados del análisis de suelo (21/Marzo/1997)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,07	5,74	0,49	6,12	0,049	57	134	1,35	0,46	0,02	30	16,3	1,08	1,65
1	2	0,05	5,63	0,52	6,72	0,041	58	140	1,13	0,37	0,03	44	13,7	1,06	1,19
1	3	0,1	5,44	0,76	8,17	0,058	60	150	1,83	0,58	0,02	40	18,6	1,26	1,71
1	4	0,06	5,60	0,72	10,16	0,057	47	146	2,79	0,98	0,04	37	20,2	1,26	1,25
2	1	0,06	5,81	0,50	6,70	0,053	45	120	1,69	0,54	0,02	29	20,3	1,06	1,77
2	2	0,07	5,42	0,55	7,03	0,042	53	122	1,45	0,56	0,04	42	10,6	1,12	1,05
2	3	0,15	5,41	0,75	8,28	0,065	66	171	2,30	0,77	0,02	35	19,3	1,44	1,85
2	4	0,09	5,39	0,69	8,95	0,057	54	145	2,36	0,77	0,05	40	22,2	1,34	1,55
3	1	0,08	5,75	0,51	7,50	0,051	55	119	1,76	0,62	0,02	30	19,0	1,08	1,77
3	2	0,05	5,60	0,50	5,47	0,050	43	120	1,16	0,39	0,02	38	8,6	0,72	0,83
3	3	0,1	5,36	0,81	8,28	0,061	64	160	2,06	0,69	0,04	39	18,9	1,34	1,89
3	4	0,08	5,48	0,73	8,59	0,061	55	152	2,24	0,73	0,02	40	22,9	1,36	1,39
4	1	0,11	5,63	0,51	5,94	0,047	60	129	1,25	0,40	0,03	38	19,1	1,14	1,83
4	2	0,06	5,53	0,57	6,41	0,056	50	145	1,34	0,50	0,02	39	9,2	1,02	0,97
4	3	0,08	5,50	0,88	9,00	0,064	57	161	2,52	0,81	0,03	36	17,1	1,42	1,69
4	4	0,09	5,34	0,82	9,53	0,063	61	150	2,53	0,79	0,05	44	20,3	1,42	1,43
5	1	0,07	5,54	0,48	6,38	0,041	49	122	1,52	0,52	0,03	43	17,9	0,86	1,07
5	2	0,05	5,60	0,49	6,09	0,041	50	127	1,16	0,32	0,01	44	16,0	0,72	0,91
5	3	0,08	5,62	0,71	8,63	0,055	30	163	2,48	0,88	0,03	43	23,5	0,92	0,83
5	4	0,08	5,51	0,73	9,84	0,061	37	141	2,53	0,90	0,03	42	22,5	1,12	0,85

Tabla AP3.20: Resultados del análisis de suelo (7/Agosto/1997)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}
1	1	0,02	5,66	0,54	5,78	0,038	45
1	2	0,02	5,38	0,53	5,78	0,040	50
1	3	0,05	5,53	0,81	8,81	0,060	56
1	4	0,06	5,58	0,74	8,59	0,053	45
2	1	0,02	5,75	0,46	5,60	0,044	42
2	2	0,02	5,52	0,55	6,93	0,045	41
2	3	0,04	5,53	0,79	8,59	0,057	51
2	4	0,04	5,54	0,71	8,63	0,055	45
3	1	0,04	5,71	0,55	5,78	0,045	47
3	2	0,03	5,68	0,47	6,41	0,042	38
3	3	0,03	5,54	0,81	8,28	0,064	47
3	4	0,07	5,42	0,76	8,28	0,057	48
4	1	0,04	5,66	0,56	6,04	0,045	51
4	2	0,02	5,55	0,46	6,72	0,044	39
4	3	0,04	5,43	0,87	9,94	0,068	49
4	4	0,06	5,47	0,77	10,16	0,062	41
5	1	0,02	5,53	0,48	5,58	0,038	41
5	2	0,02	5,38	0,49	5,78	0,039	47
5	3	0,03	5,52	0,65	8,30	0,048	27
5	4	0,05	5,49	0,76	10,78	0,053	31

Tabla AP3.21: Resultados del análisis de suelo (26/Mayo/1998)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,05	5,40	0,53	7,66	0,037	54	89	2,12	0,62	0,02	71	24,6	1,00	1,45
1	2	0,04	5,21	0,53	8,28	0,035	61	100	1,70	0,57	0,01	97	22,7	1,02	0,91
1	3	0,06	5,19	0,71	8,32	0,051	64	88	2,12	0,65	0,04	82	29,3	1,32	1,39
1	4	0,05	5,54	0,64	11,41	0,050	44	105	4,51	1,66	0,05	67	27,5	1,44	1,05
2	1	0,07	5,72	0,47	7,36	0,036	59	79	1,91	0,62	0,01	61	29,7	1,22	1,73
2	2	0,07	5,65	0,58	9,63	0,044	54	107	2,70	0,82	0,02	74	19,1	1,14	0,81
2	3	0,09	5,40	0,67	8,91	0,053	69	100	2,47	0,76	0,08	79	28,4	1,40	1,57
2	4	0,05	5,30	0,67	9,93	0,049	58	90	2,62	0,88	0,02	81	31,7	1,46	1,33
3	1	0,07	5,80	0,48	8,91	0,036	63	81	2,53	0,69	0,01	65	27,7	1,14	1,55
3	2	0,05	5,37	0,46	6,57	0,038	48	84	1,37	0,50	0,02	71	13,2	0,80	0,79
3	3	0,08	5,05	0,73	9,53	0,060	75	96	2,14	0,67	0,01	85	32,1	1,54	1,67
3	4	0,06	5,17	0,61	9,68	0,046	59	105	2,53	0,76	0,02	81	33,4	1,44	1,19
4	1	0,07	5,44	0,53	7,60	0,035	61	77	1,80	0,58	0,02	71	25,5	1,10	1,81
4	2	0,04	5,38	0,50	8,28	0,042	46	88	1,80	0,67	0,02	70	14,3	0,90	0,59
4	3	0,08	5,34	0,84	10,03	0,064	66	94	3,34	1,13	0,06	78	27,5	1,58	1,51
4	4	0,06	5,10	0,74	10,16	0,054	58	100	3,14	0,98	0,02	89	30,4	1,46	1,23
5	1	0,05	5,30	0,51	8,28	0,042	46	85	2,50	0,82	0,05	86	26,8	0,98	1,23
5	2	0,03	5,18	0,47	8,28	0,035	56	93	1,85	0,61	0,01	89	27,1	0,90	0,99
5	3	0,06	5,12	0,62	10,16	0,048	29	99	2,77	0,80	0,02	73	29,5	1,24	0,79
5	4	0,04	5,42	0,60	11,16	0,046	37	98	3,41	0,96	0,05	77	30,6	1,12	0,87

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Tabla AP3.22: Resultados del análisis de suelo (23/Octubre/1998)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu
1	1	0,13	5,40	0,35	4,84	0,025	63	98	1,66	0,56	0,13	72	29,5	1,08
1	2	0,20	5,28	0,44	3,28	0,036	77	141	1,6	0,60	0,17	85	21,1	1,20
1	3	0,10	5,24	0,49	5,50	0,052	80	120	1,6	0,62	0,02	89	37,6	1,42
1	4	0,18	5,54	0,49	7,34	0,043	62	157	2,66	1,07	0,13	78	40,3	1,66
2	1	0,19	5,55	0,35	3,75	0,035	71	144	1,77	0,64	0,21	63	32,1	1,32
2	2	0,18	5,38	0,50	6,74	0,050	41	136	2,92	1,09	0,19	89	46,9	1,22
2	3	0,18	5,82	0,61	7,55	0,061	67	136	4,47	1,73	0,29	88	37,8	1,52
2	4	0,23	5,40	0,53	6,97	0,052	66	146	2,2	0,76	0,10	95	38,3	1,42
3	1	0,14	5,77	0,33	4,83	0,042	67	110	2,43	0,93	0,13	75	31,2	1,34
3	2	0,14	5,31	0,35	4,00	0,044	57	131	2	0,70	0,27	92	24,9	0,92
3	3	0,38	5,32	0,53	6,07	0,059	86	154	1,95	0,70	0,03	98	41,8	1,58
3	4	0,24	5,33	0,54	6,34	0,043	75	181	1,48	0,95	0,12	88	40,9	1,46
4	1	0,19	5,51	0,47	4,57	0,042	77	132	1,77	0,60	0,23	81	31,9	1,36
4	2	0,23	5,39	0,43	4,84	0,047	58	137	1,2	0,78	0,18	81	24,2	1,02
4	3	0,38	5,33	0,67	6,75	0,075	79	146	2,81	1,05	0,19	93	45,8	1,74
4	4	0,18	5,37	0,51	7,34	0,056	67	127	3,03	1,11	0,05	97	40,0	1,40
5	1	0,07	5,40	0,38	4,84	0,034	52	90	1,91	0,66	0,15	90	28,6	0,88
5	2	0,17	5,19	0,36	4,57	0,039	65	105	1,4	0,49	0,13	92	29,7	1,00
5	3	0,19	5,48	0,47	7,95	0,039	32	135	3,37	1,52	0,05	88	22,7	1,10
5	4	0,13	5,69	0,39	5,03	0,039	55	125	2,36	1,03	0,08	79	35,6	1,00

Tabla AP3.23: Resultados del análisis de suelo (26/Septiembre/1999)

Trat	Repe	CE	pH	MO_{ox}	CCC	N_t	P_{asi}	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
1	1	0,08	5,93	0,47	4,63	0,040	55	140	0,78	0,25	0,05	77	18,8	1,08	3,18
1	2	0,15	5,39	0,45	5,00	0,030	47	189	0,77	0,42	0,05	91	17,0	1,16	1,50
1	3	0,08	5,60	0,76	10,31	0,060	46	189	2,03	0,86	0,11	91	23,5	1,46	8,92
1	4	0,13	5,90	0,76	7,81	0,060	43	235	3,28	1,54	0,22	92	26,7	1,72	20,14
2	1	0,2	6,39	0,47	5,63	0,050	49	87	1,63	0,58	0,09	60	15,7	1,58	2,46
2	2	0,08	5,92	0,50	7,50	0,040	33	149	1,75	0,80	0,08	89	12,6	1,08	1,80
2	3	0,1	5,83	0,70	6,88	0,050	49	151	2,08	0,92	0,11	85	23,6	1,64	2,96
2	4	0,08	5,95	0,67	10,94	0,060	45	221	2,96	1,28	0,16	88	24,1	1,36	4,52
3	1	0,12	5,72	0,35	4,38	0,060	53	90	1,16	0,48	0,06	68	22,5	1,42	2,30
3	2	0,14	5,23	0,46	3,75	0,030	30	157	0,82	0,49	0,05	78	13,1	0,82	1,16
3	3	0,09	5,30	0,83	3,75	0,050	48	140	1,35	0,63	0,08	93	26,5	1,44	5,18
3	4	0,18	5,49	0,67	9,06	0,040	48	195	2,21	0,96	0,13	93	35,3	1,14	13,32
4	1	0,11	5,56	0,47	4,38	0,040	64	168	0,76	0,24	0,04	85	23,6	1,40	4,74
4	2	0,18	5,28	0,47	7,50	0,030	39	168	1,50	0,78	0,07	76	15,7	1,04	3,86
4	3	0,17	5,58	0,73	6,88	0,070	44	152	2,94	1,23	0,18	92	29,1	1,72	2,42
4	4	0,17	5,31	0,76	8,44	0,050	40	162	2,48	1,08	0,19	102	31,8	1,38	10,68
5	1	0,18	5,23	0,51	5,00	0,040	44	90	0,75	0,39	0,06	96	23,2	0,80	1,38
5	2	0,14	5,35	0,46	3,75	0,030	39	133	0,53	0,28	0,02	94	22,7	0,76	0,94
5	3	0,24	5,59	0,58	4,69	0,060	31	220	2,64	1,19	0,15	100	38,6	0,98	2,78
5	4	0,14	5,42	0,59	10,94	0,050	33	181	2,23	0,96	0,10	113	41,4	1,28	5,66

BIBLIOTECA VIRTUAL