

AGRICULTURA ECOLÓGICA (Apartado 2.6.)

Autora: **María del Pilar Romera Pérez** - *Ingeniera Técnica Agrícola e Ingeniera Agrónoma*

Colaborador: **Luis Guerrero** - *Ingeniero Técnico Agrícola*

CAPÍTULO I.- LA AGRICULTURA ECOLÓGICA COMO SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS PLANTEADOS POR LA AGRICULTURA CONVENCIONAL

I.- TÉCNICAS ACTUALES DE LA AGRICULTURA Y PRINCIPALES CONSECUENCIAS DE SU EJECUCIÓN

1.- LA AGRICULTURA INDUSTRIAL

2.- CONSECUENCIAS DE LAS TÉCNICAS ACTUALES

2.1.- Alto coste energético

2.2.- Pérdida de fertilidad de los suelos

2.3.- Problemática del monocultivo

2.4.- Contaminación de los recursos naturales y del medio ambiente

2.5.- Pérdida de la calidad natural de los alimentos

2.6.- Repercusión del desarrollo de la agricultura industrial

II.- SISTEMAS ALTERNATIVOS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN SINTONÍA CON EL AMBIENTE

CAPÍTULO II.- CANALES DE COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS ECOLÓGICOS

I.- INTRODUCCIÓN

II.- MERCADO EXTERIOR

III.- MERCADO INTERIOR

IV.- PUNTOS DE VENTA DE LOS PRODUCTOS ECOLÓGICOS

V.- EL CONSUMO DE PRODUCTOS ECOLÓGICOS Y MEDIDAS PARA EL DESARROLLO DEL MERCADO

CAPÍTULO III.- IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA AGRICULTURA ECOLÓGICA

I.- DESARROLLO HISTÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN DEL HUMUS DEL SUELO

II.- NATURALEZA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

III.- PAPEL DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA FORMACIÓN DEL SUELO Y EN LA CREACIÓN DE SU FERTILIDAD

CAPÍTULO I.- LA AGRICULTURA ECOLÓGICA COMO SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS PLANTEADOS POR LA AGRICULTURA CONVENCIONAL

I.-TÉCNICAS ACTUALES DE LA AGRICULTURA Y PRINCIPALES CONSECUENCIAS DE SU EJECUCIÓN

1.- LA AGRICULTURA INDUSTRIAL

Desde el inicio, a principios de la Segunda Guerra Mundial, del movimiento agrícola conocido como *revolución verde*, hemos podido presenciar el desarrollo de una agricultura que más que convencional, como se suele denominar, podríamos llamar industrializada. Esto último responde fundamentalmente al empleo de abonos químicos y pesticidas, a la producción de nuevas variedades de aspecto más atractivo y a la progresiva mecanización de la forma de cultivo más practicada: el *monocultivo*.

Todo lo dicho inicialmente dio lugar a un sorprendente incremento de los rendimientos por unidad de superficie, lo cual hizo creer al sector agrícola que en las futuras generaciones se produciría el mismo efecto. Pero verdaderamente el efecto más inmediato ha sido la necesidad de intensificar el abonado químico y el empleo de productos fitosanitarios, lo

que lleva al progresivo enriquecimiento de las industrias dedicadas a la fabricación de los productos citados y a la inevitable degradación del ecosistema.

Una muestra del gran aumento de la producción agrícola alcanzado en las primeras fases del desarrollo de la agricultura convencional o industrializada, se encuentra en la tabla 1, donde pueden observarse los incrementos mundiales registrados de las cosechas de cereales, leguminosas, oleaginosas, fibras y raíces, para el periodo 1929-1979.

De la tabla se deduce que el producto final se sextuplica en el caso del arroz, se cuadruplica en el del trigo, maíz y cebada, se duplica en el de la patata y se eleva notablemente en el de la soja y la colza. Los rendimientos unitarios siguieron un proceso parecido, pero con un mayor incremento a partir de 1949, duplicándose en algunos casos (girasol, maíz y sorgo) los valores iniciales.

Posteriormente se ha ido produciendo una disminución de los incrementos de la productividad, especialmente en aquellos países que más tempranamente adoptaron las técnicas de la revolución verde, tal y como se refleja la tabla 2.

2.- CONSECUENCIAS DE LA APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS ACTUALES

La disminución de los incrementos de las producciones es tan sólo uno de los efectos que surgen de la práctica de la agricultura convencional, a la que hay que sumarle las siguientes consecuencias (Labrador y Guiberteau, 1990).

Tabla 1: De arriba a abajo en cada grupo de tres cifras: superficie (en miles de hectáreas), producción (en miles de toneladas) y rendimiento (en toneladas por hectárea) de algunos de los principales cultivos mundiales.

CULTIVOS	1929/30	1949	1974	1979
CEREALES	99.919*	134.600	224.712	237.185
trigo	95.202	141.500	360.231	415.810
	0,95	1,05	1,92	1,75
	30.756	37.800	88.909	98.818
cebada	39.622	42.300	170.858	176.031
	1,29	1,12	1,92	1,78
	74.180+	84.200	116.709	120.052
maíz	110.192	138.600	292.990	384.744
	1,49	1,65	2,51	3,21
	53.400*	91.400	136.791	145.959
arroz	57.607	150.100	323.201	377.769

CULTIVOS	1929/30	1949	1974	1979
	1,08	1,64	2,36	2,59
sorgo	-	28.300	42.524	51.980
	-	20.800	6.908	67.816
	-	0,73	1,10	1,31
LEGUMINOSAS	-	12.300*	44.478	56.816
soja	-	13.800	56.083	94.288
	-	1,12	1,26	1,66
OLEAGINOSAS	-	3.100*	8.963	12.027
girasol	-	1.850	11.138	15.068
	-	0,60	1,24	1,25
colza	-	8.810	9.303	12.655
	-	4.930	7.227	10.824
	-	0,56	0,41	0,86
FIBRA	33.144	26.500	33.754	
algodón	5.918	6.170	13.693	-
	0,18	0,23	0,41	14.050
				-
RAIZ	13.517	12.800	21.931	18.350
patata	136.522	143.900	293.724	284.471
	10,1	11,2	13,4	15,5

(*): Excepto U.R.S.S. y China.

(+): Excepto U.R.S.S.

Fuente: García Dory. Formación de asesores en agricultura ecológica (1985).

I.-TÉCNICAS ACTUALES DE LA AGRICULTURA Y PRINCIPALES CONSECUENCIAS DE SU EJECUCIÓN

2.6.- La repercusión del desarrollo de la agricultura industrial sobre la sociedad

El acuciante aumento de las inversiones en maquinaria, combustible y productos químicos, sin contar con los costos intermedios, junto al alto interés bancario, dan como resultado el constante deterioro del beneficio real para el agricultor, cuyo poder adquisitivo se ve enormemente mermado. Este es el proceso que se ha desarrollado en Europa durante los últimos setenta años, en los que **el poder adquisitivo de los agricultores se ha visto reducido en una media del 30%.**

Así, este modelo agrícola lleva consigo lo que podríamos llamar "la huída del campo", que genera a su vez una grave disminución del empleo agrícola.

Para finalizar este apartado, se ofrece un análisis del riesgo que supone para la salud el uso de algunos de los productos químicos que se emplean de forma convencional (tabla 3).

Tabla 3: Riesgos por fitofármacos.

LEYENDA

Mutación genética

M = mutación genética

OO = ningún daño señalado

-- = negativo

+ = positivo de un solo test perteneciente a los tres grupos de test experimentales útiles para la valoración de la mutación genética (test de mutación genética, test de rotura y reconstitución del ADN, test sobre efectos cromosómicos)

++ = positivo de más de un test pertenecientes a dos grupos de test experimentales para la valoración de la mutación genética

+++ = positivo de más de un test pertenecientes a los tres grupos de test experimentales útiles para la valoración de la mutación genética.

Teratogeneidad

T = teratogeneidad

OO = ningún daño señalado

-- = negativo

RNC = resultados no concluyentes

+ = positivo de un solo test experimental

++ = positivo de más de un test sobre un solo modelo experimental

+++ = positivo de más de un test sobre modelos experimentales diversos.

Cancerogenicidad

C = cancerogenicidad

OO = ningún resultado señalado

-- = negativo

RNC = resultados no concluidos.

Fuente: Instituto Oncológico Romagnolo -Reg. Emilia-Romagna (Cerisola, 1989).

Anticriptogámicos	M	T	C
<i>Benomyl</i>	+++	+++	00
<i>Buripimate</i>	00	00	00
<i>Captafol</i>	++	++	00
<i>Captan</i>	+++	+++	RNC
<i>Carbendazim</i>	+++	+++	00
<i>Cymoxantyl</i>	00	00	00
<i>Dichlofluamid</i>	++	00	00
<i>Ditalinfos</i>	00	00	00
<i>Dinocap</i>	+	00	RNC
<i>Dithianon</i>	00	00	00
<i>Dodine</i>	00	00	RNC
<i>Fenarimol</i>	+	00	00
<i>Fentin Acetate</i>	00	+	RNC
<i>Folpet</i>	+++	+++	RNC
<i>Idropione</i>	00	00	00
<i>Mancozeb</i>	++	+	00
<i>Maneb</i>	++	++	RNC
<i>Metalaxyl</i>	00	00	00
<i>Metiran</i>	00	00	00
<i>Phosethyl</i>	00	00	00
<i>Pyzarophos</i>	+	00	00
<i>Procymidone</i>	00	00	00
<i>Propineb</i>	++	+	00
<i>Rame</i>	00	+	RNC
<i>Thiophanate Methyl</i>	+	+	00
<i>Thiram</i>	++	+++	RNC
<i>Triadimefon</i>	00	00	00
<i>Trioforine</i>	00	00	00
<i>Vinclozolin</i>	00	00	00
<i>Zineb</i>	++	++	RNC

Anticriptogámicos	M	T	C
<i>Benomyl</i>	+++	+++	00
<i>Ziram</i>	++	00	RNC
<i>Zolfo</i>	00	00	00

Insecticidas y/o acaricidas	M	T	C
<i>Acephate</i>	++	00	00
<i>Amitraz</i>	00	00	00
<i>Azocyclotin</i>	00	00	00
<i>Azinphos-Ethyl</i>	00	00	00
<i>Azinphos-Methyl</i>	++	+++	RNC
<i>Benzomate</i>	00	00	00
<i>Bromopropylate</i>	00	00	00
<i>Carbaryl</i>	+++	+++	RNC
<i>Carbofuran</i>	00	+	00
<i>Cartap</i>	00	+	00
<i>Chlorfenson</i>	00	00	RNC
<i>Chlormephos</i>	00	00	00
<i>Chlorpyrifos Ethyl</i>	00	+	00
<i>Chlorpyrifos Methyl</i>	00	00	00
<i>Cyexatin</i>	00	+	00
<i>Deltamethrin</i>	00	00	00
<i>Dichlorvos</i>	+++	+++	RNC
<i>Dicofol</i>	--	00	RNC
<i>Diflubenzuron</i>	+	00	00
<i>Dimethoate</i>	++	+++	RNC
<i>Dnoc</i>	+++	00	00
<i>Endosulfan</i>	00	+	RNC
<i>Ethiofencarb</i>	00	00	00
<i>Fenbutatin Oxide</i>	00	00	00
<i>Fenson</i>	00	00	00
<i>Fenvalerate</i>	00	00	00
<i>Fonofos</i>	00	00	00

Insecticidas y/o acaricidas	M	T	C
<i>Acephate</i>	++	OO	OO
<i>Isofenphos</i>	OO	OO	OO
<i>Malathion</i>	++	RNC	--
<i>Methamidophos</i>	OO	OO	OO
<i>Methidation</i>	+	OO	OO
<i>Methomyl</i>	+	OO	OO
<i>Monocrotophos</i>	+	OO	OO
<i>Omethoate</i>	+	OO	OO
<i>Oxydemethon Methyl</i>	+++	OO	OO
<i>Parathion</i>	+	+	RNC
<i>Parathion Methyl</i>	++	++	RNC
<i>Permethryn</i>	OO	OO	OO
<i>Phorate</i>	OO	+	OO
<i>Phosalone</i>	OO	OO	OO
<i>Phosphamidon</i>	++	OO	RNC
<i>Pirimicarb</i>	++	OO	OO
<i>Propargite</i>	OO	OO	OO
<i>Propoxur</i>	+++	+	OO
<i>Prothoate</i>	OO	OO	OO
<i>Tetrachlorvinphos</i>	OO	OO	OO
<i>Tetradiphon</i>	OO	+	OO
<i>Trichlorfon</i>	+++	+++	--
<i>Vamidotion</i>	+++	OO	OO

Herbicidas	M	T	C
<i>Alachlor</i>	OO	OO	OO
<i>Atrazina</i>	+++	++	RNC
<i>Benzthiazuron</i>	OO	OO	OO
<i>Chloridazon</i>	OO	+	OO
<i>2,4-D</i>	+++	+++	RNC
<i>Diquat</i>	++	++	OO
<i>Ethofumesate</i>	OO	OO	OO

Herbicidas	M	T	C
<i>Glyphosate</i>	+	OO	OO
<i>loxynil</i>	OO	OO	OO
<i>Lenacil</i>	OO	OO	OO
<i>Linuron</i>	+	OO	OO
<i>MCPA</i>	+++	++	OO
<i>Mecoprop</i>	++	OO	OO
<i>Metamitron</i>	OO	OO	OO
<i>Metolachlor</i>	OO	OO	OO
<i>Paraquat</i>	+++	++	OO
<i>Pendimethalin</i>	OO	OO	OO
<i>Phenmediphan</i>	+	OO	OO
<i>Propyzamide</i>	OO	OO	RNC
<i>Simazine</i>	+	+	RNC
<i>Terbutryn</i>	OO	OO	OO
<i>Trifluraline</i>	++	++	RNC

[1] En 1948 se concede el premio Nobel a Paul Hermannmüller por poner a punto la aplicación del DDT como insecticida. Una generación más tarde queda prohibido su uso con este fin.

CAPÍTULO I.- LA AGRICULTURA ECOLÓGICA COMO SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS PLANTEADOS POR LA AGRICULTURA CONVENCIONAL

I.- TÉCNICAS ACTUALES DE LA AGRICULTURA Y PRINCIPALES CONSECUENCIAS DE SU EJECUCIÓN

2.1.- Alto coste energético

Se produce debido a la progresiva disminución de la relación **energía obtenida/energía utilizada** en su producción, lo cual resulta preocupante si consideramos por un lado que se trata de energía fósil, y por consiguiente agotable en un plazo determinado de décadas, y por otro, que los fertilizantes, fundamentalmente los nitrogenados, son productos de elevado consumo energético. De este modo, el nitrógeno consume de 15 a 20 termias.kg⁻¹, el fósforo de 3 a 15 termias.kg⁻¹ y el potasio de 1 a 2 termias.kg⁻¹, y además estos fertilizantes constituyen del 20% al 50% de los consumos agrícolas de fuera del sector y responden al 24% del consumo energético total de la explotación.

Tabla 2: Tasa de crecimiento de la productividad agraria (tasa compuesta anual en porcentaje).

REGIONES MUNDIALES O PAÍSES	PRODUCTIVIDAD 1950-1980	PRODUCTIVIDAD 1972-1980
DESARROLLADOS		
Estados Unidos	2,1	1,5

REGIONES MUNDIALES O PAÍSES	PRODUCTIVIDAD 1950-1980	PRODUCTIVIDAD 1972-1980
Europa occidental	2,3	1,9
Japón	2,0	2,5
SUBDESARROLLADOS		
América latina	1,3	1,4
África del norte	2,3	2,4
Sudeste asiático	2,1	1,4
TOTAL MUNDIAL	2,2	1,8

Fuente: García Dory. Formación de asesores en agricultura ecológica, (1985).

2.2.- Pérdida de fertilidad y erosión de los suelos

Están causadas por la excesiva explotación a que están siendo sometidos: la utilización de alarmantes dosis de abonos químicos, que ha hecho olvidar el papel fundamental de las aportaciones orgánicas; ha dado lugar a un empobrecimiento de las tierras en humus que afecta a su fertilidad, mullimiento, vida microbiana, estabilidad estructural etc.

La erosión del suelo es un proceso originado por los agentes naturales - vientos, lluvias, aguas, nieves, etc.- que actuando sobre aquél atacan y perjudican su integridad, le arrebatan sus elementos constitutivos que transportan a otros lugares... La erosión inducida es la fomentada por las actividades del hombre interfiriendo en el equilibrio normal entre la formación del suelo y su traslado (Abreu, 1975).

Así, prácticas habituales como la quema de rastrojos han producido y producen impactos duraderos e irreversibles, como la destrucción de la materia orgánica y la microestructura del suelo, y la erosión y la pérdida de fertilidad en la mayor parte de los suelos del área mediterránea; son 6.400 millones de toneladas de suelo fértil las que desaparecen cada año en Europa a causa de la erosión (Toharia, 1988).

Esta asoladora erosión se extiende por el levante español y de forma particular en Andalucía oriental, sobre todo en las provincias de Almería, Granada y Jaén, zonas señaladas de "mayor riesgo" en el mapa mundial elaborado con ocasión de la celebración de la conferencia de Nairobi sobre desertificación de 1977.

En síntesis, *la agricultura se convierte en una actividad favorecedora de la erosión de los suelos desde el momento que elimina o reduce la protección vegetal de los mismos y permite que éstos se mantengan desnudos por largos periodos de tiempo, en ocasiones coincidiendo con la máxima virulencia de los agentes erosivos. Y por otra parte, el material erosionado contiene una particular riqueza frente al que queda. Contiene aquél 21 veces más materia orgánica, 2,7 veces más nitrógeno, 3,5 veces más fósforo asimilable y 19,3 veces más potasio intercambiable. La significación económica de estos datos no necesita de mayor comentario (Agricultura y erosión en la cuenca del Guadalquivir, por Manuel Clavero Salvador y Juan Mena Cabezas. Jornadas de agricultura ecológica, 1985).*

En este apartado juega un papel muy importante la denominada **agricultura marginal**,

que es aquella que se desenvuelve tanto sobre terrenos que no reúnen las condiciones necesarias para el aprovechamiento agrícola como en aquéllos donde no se da la necesaria adecuación entre aptitud de los suelos y cultivos y técnicas agronómicas y de conservación. Por tanto cabría citar los estudios realizados en las provincias de Jaén, Córdoba y Sevilla para la elaboración de los Planes Especiales y las Directrices Territoriales para la protección del Medio Físico (*programa desarrollado por la Consejería de Política Territorial y Energía de la Junta de Andalucía. Los estudios técnicos para estas provincias han sido realizados por VERDE. Estudios Territoriales Urbanos y Ambientales, S.A.*).

2.3.- Problemática del monocultivo

Grandes superficies dedicadas a un solo cultivo debilitan a éste favoreciendo la aparición de plagas y resistencias, y por tanto el abuso de productos fitosanitarios. La explicación de este hecho reside (*Juan Fernández. Recursos genéticos. Jornadas de agricultura ecológica, 1985*) en la introducción a gran escala de las llamadas "Variedades de alto rendimiento" (HYV = High Yield Varieties), que son realmente "Variedades de alta respuesta" para fertilizantes y las técnicas de cultivo extensivas (tratamientos fitosanitarios, mecanización, etc.). Así pues, se presenta una gran homogeneidad varietal con muchos cultivos, sobre todo en los que se emplea semilla híbrida (F1). Un ejemplo ilustrativo del problema podría ser el de la variedad de trigo "Siete carros", que fue introducida hace unos años y destruida en poco tiempo por las enfermedades criptogámicas.

El uso de estas variedades, obtenidas en los centros de investigación de los países más avanzados, conduce a otras situaciones problemáticas, como son:

- La alta dependencia económica de los países sin investigación propia respecto de los más desarrollados.
- La constante pérdida de ecotipos y poblaciones locales de muchas especies de cultivo (sobre todo de hortícolas), que genera la desaparición de futuras fuentes de resistencia a plagas, enfermedades y condiciones adversas.
- Y por último se da lugar a una importante pérdida de las cualidades nutritivas y organolépticas por la introducción de variedades muy aptas para el procesado industrial o el transporte, con gran resistencia mecánica y uniformidad, etc.

Pero la problemática del monocultivo no acaba aquí, sino que se extiende con el exceso de mecanización, que debido a sus características repercute en la conservación del suelo y el medio así como en la dependencia económica antes citada.

2.4.- Contaminación de los recursos naturales y del medio ambiente

Debido al empleo indiscriminado de fertilizantes y todo tipo de productos químicos se presentan los siguientes problemas en las aguas tanto superficiales como subterráneas:

- Acumulación de nitritos y fosfatos, que se traduce en una pérdida de la potabilidad.
- Eutrofización de las aguas continentales y mares costeros, al aumentar hasta niveles nocivos los productos orgánicos e inorgánicos derivados de aguas residuales y fertilizantes agrícolas, originando graves cambios en las características del medio y desoxigenación de las aguas profundas.

- Salinización de los acuíferos por sobreexplotación de las aguas subterráneas.

Toda esta problemática se extiende a los suelos de uso agrícola, ya que si las aguas están contaminadas, y las empleamos para el riego, terminaremos por contaminar también el suelo de cultivo.

El fenómeno de la contaminación atmosférica no se puede separar de los anteriormente mencionados, así como de los efectos de los residuos contaminantes sobre seres animados o inanimados e incluso sobre las propiedades de la atmósfera misma (reducción de la visibilidad, absorción o difusión de la radiación solar y terrestre, alteración del balance de calor del sistema tierra-atmósfera con las posibles influencias sobre el tiempo y el clima locales, etc.).

En realidad, para hablar acerca de la contaminación atmosférica debería haber comenzado por definirla. Así, según Puigcerver (1979), diríamos que se trata de *la impurificación de la atmósfera por inyección y permanencia temporal en ella de materias gaseosas, líquidas o sólidas- ajenas a su composición normal o en proporción claramente superior a la de aquella*. Para el autor estas sustancias no son necesariamente tóxicas, nocivas o irritantes, ni son siempre antropogénicas, aunque son estas últimas, y concretamente las relacionadas con la actividad agrícola, las que en este apartado son cuestionadas. De aquí surge una polémica mostrada en algunas de las publicaciones (Dávila Zurita, 1992).

Pero éste es un tema muy complejo que podría constituir por sí solo un extenso trabajo y requiere un profundo conocimiento en meteorología y otros aspectos concernientes al comportamiento físico de la atmósfera. Por tanto me limitaré a citar algunos ejemplos representativos: **así tenemos el caso del sector de los abonos nitrogenados, en el que se liberan como pérdidas al aire amoniacal, ácido nítrico, partículas de nitrato amoniacal y urea. La emisión de polvo de urea alcanza los 3 kg.t^{-1} de urea producida. Por otro lado, en la fabricación del ácido nítrico se produce la emisión de un vapor rosado cargado de óxido de nitrógeno. También en la fabricación de los abonos fosfatados las emisiones de polvo, flúor y la producción de yeso fosfórico son las causantes de los principales problemas.**

2.5.- Pérdida de la calidad natural de los alimentos

Entendemos por calidad *toda aquella relacionada con el contenido nutritivo (proteínas, vitaminas, oligoelementos, etc.), con sus características organolépticas (aromas, olores y sabores) y con la simultánea ausencia de productos tóxicos o contaminantes (pesticidas, drogas, etc.). Es decir, no solamente los aspectos puramente externos del producto, aunque estos también puedan tener su importancia (Agricultura ecológica, conceptos, valores y situación actual en España por Miguel Angel García Dory. Formación de asesores en agricultura ecológica, 1985).*

Los abonados desequilibrados y la forma en que éstos se suministran al suelo, como sales solubles y no bajo forma orgánica, modifican profundamente la bioquímica de la planta. Por tanto, los abonos químicos alteran la composición de los alimentos. Según Cerisola (1989), el uso de abonos nitrogenados puede causar algunos efectos negativos:

- Disminución del contenido de ácidos esenciales en las proteínas, con un incremento de la proteína bruta debido al aumento del nitrógeno no proteico y de aminoácidos no esenciales. En este sentido, debe recordarse que el exceso de nitrato en el suelo da lugar a la formación de nitritos en las plantas, que posteriormente se transforman en nitrosaminas, es decir, en agentes cancerígenos.

- Aumento del contenido de nitratos.

- Disminución del contenido de oligoelementos, por descuidar su aporte o por los efectos antagónicos del nitrógeno y los microelementos; vemos que un exceso de nitrógeno provoca carencias de cobre y toda la "cadena de resonancia" que pertenece al cobre queda perturbada (Roger, 1985).

- Reducción del contenido de materia seca por aumento de la cantidad de agua en el protoplasma celular.

- Disminución de la capacidad de conservación y la resistencia a los parásitos.

Con respecto al empleo de abonos potásicos, se obtiene:

- Una reducción del contenido de magnesio, con lo que quedan perturbados muchos equilibrios (Na/Mg, P/Mg, etc.).

- Una disminución del contenido de oligoelementos, demostrado experimentalmente a través del boro, manganeso y cobre en la hierba, en la soja, etc.

Si hablamos de abonos fosfatados, los efectos son menos evidentes que en los dos casos anteriores, aunque sí resulta significativa la reducción del contenido de ácido ascórbico y carotenos, como es el caso de la lechuga con P_2O_5 que aparece frecuentemente como ejemplo de la bibliografía especializada.

Si quisiéramos solventar las carencias de microelementos bajo forma soluble, se nos plantea el problema de que las diferencias entre las dosis óptimas y las tóxicas suelen ser muy pequeñas.

Las carencias de oligoelementos se van haciendo más frecuentes y los médicos detectan cada vez más enfermedades debidas a aquéllas. Así, en mayo de 1971, en el primer simposio internacional celebrado en Vittel sobre la deficiencia magnésica en patología humana, se concluyó que existía una relación entre la carencia de magnesio y las enfermedades cardiovasculares, depresiones nerviosas, fatigas y cáncer. El cobre, según Voisin que investigó la relación entre el nivel de cobre en el suelo y el cáncer, es otro oligoelemento que desempeña un papel protector contra esta enfermedad (Bellapart, 1988). Este agrónomo francés también enunció en 1965 que los modernos métodos de fertilización utilizados en Europa determinarían unas producciones vegetales con minerales en proporciones distintas a las que poseían hace 100 años, lo que fue corroborado en análisis de heno de los prados alpinos austriacos, y en hortalizas.

También resulta importante destacar que trece elementos minerales necesarios para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas interactúan entre sí en el seno del suelo, y la variación importante de uno o más de ellos influirá en la disponibilidad de los restantes.

En lo que respecta a la toxicidad a través de los elementos, podemos distinguir varios casos:

- Productos que inicialmente no son tóxicos pero que posteriormente, tras sufrir una serie de transformaciones en el organismo, resultan altamente tóxicos para el hombre. Un ejemplo lo encontramos en la ingestión de nitratos, localizados sobre todo en hortalizas y embutidos, que como ya citaba unas líneas atrás se transforman en nitritos que acarrearán grandes problemas de toxicidad, al

igual que ocurre con muchos fungicidas (ditiocarbamatos), herbicidas (propanil y cloropropano), etc.

-
- También puede ocurrir que aparezca en el producto alguna impureza más peligrosa que el producto mismo (Bellapart, 1988), como es el caso de la dioxina que se puede formar espontáneamente por la acción del calor sobre el producto mismo antes de utilizarlo, o en el producto ya aplicado, por la acción del sol o del fuego sobre las hierbas ya muertas. Este veneno generalmente está presente en herbicidas frecuentemente utilizados y resulta ser acumulativo y fuertemente teratógeno.

- Otra forma de toxicidad se da por sinergismos entre dos o más productos, como ocurre con el carbaryl, que al combinarse con nitratos da nitrosocarbaryl (potente cancerígeno) o con el DDT, cuyo efecto acumulativo, por ejemplo en el hígado y grasa de personas, ha sido más evidente en el caso de individuos muertos por cáncer hepático con metástasis.

II.- SISTEMAS ALTERNATIVOS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN SINTONÍA CON EL AMBIENTE

Los sistemas alternativos de producción agrícola en sintonía con el ambiente se denominan por un lado **ecológicos, biológicos, orgánicos y biodinámicos**, y por otro **naturales**. Además nos encontramos con la **permacultura** que, en su aspecto filosófico, está íntimamente ligada a la última de estas técnicas.

Los términos agricultura ecológica, biológica, orgánica, biodinámica o biológico-dinámica definen un sistema agrario cuyo objetivo fundamental es la obtención de alimentos de máxima calidad respetando el medio ambiente y conservando la fertilidad de la tierra, mediante la utilización óptima de los recursos y sin el empleo de productos químicos de síntesis (Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica, 1990). Así queda legalmente definido el núcleo de lo que va a ser este trabajo monográfico: la agricultura cuya denominación genérica será la de ECOLÓGICA.

1.- TÉCNICAS EMPLEADAS EN AGRICULTURA ECOLÓGICA

1.1.- Laboreo y mecanización

En principio podríamos establecer una serie de diferencias entre los fines que persigue el laboreo en uno y otro tipo de agricultura: la convencional y la ecológica (Cánovas Fernández, 1993). Así, mientras **la primera lo entiende como un conjunto de operaciones realizadas con equipos mecánicos, encaminadas a conseguir un mejor desarrollo de los**

cultivos, en la agricultura ecológica las operaciones serán manuales y mecánicas, de apoyo a la labor de raíces, lombrices y microorganismos para mejorar la estructura, aireación y retención de agua del suelo.

Si nos centramos en las herramientas a utilizar en la agricultura que nos ocupa, las clasificaremos en herramientas de uso manual y en las convencionales. Dentro del primer tipo nos encontramos con un gran número de ejemplares adaptados a cada una de las labores realizadas, como pueden ser fundamentalmente, según Aubert (1987), la laya de dientes, la laya de doble mango, el garfio, el rastrillo, el cordel surcador, el plantador, el almocafre, el escarificador, el legón, el escardador, el aporcador, la azada, la azada de rueda, la regadora, la horquilla, la gubia para espárragos, la horca de estiércol, la pala, la guadaña, la carretilla, etc.

El segundo grupo es más restringido, aunque no menos importante, y esto se debe a la posibilidad de que estos instrumentos realicen volteo de la tierra, enterrando en profundidad la capa superficial, rica en humus (Faulkner, 1981). Este es el caso del arado, que sólo se utilizará en el periodo de reconversión de la finca, y más en concreto el arado de vertedera. Lo mismo ocurre con las fresadoras, las cuales deben emplearse a bajas velocidades, eligiendo las cuchillas más apropiadas para evitar, entre otros fenómenos, el de la formación de la suela de labor (Ortiz Cañavate, 1984).

Cultivadores, gradas, sembradoras, cosechadoras y picadoras de maleza son herramientas de uso extendido que, acopladas generalmente a un motocultor, suelen realizar de forma correcta sus correspondientes funciones sin producir daños, mejorando la estructura del suelo (Fournier, 1975; Araujo, 1990).

Otros autores (Michel, 1982) contradicen el principio de las labores en el cultivo biológico y tan sólo recomiendan el uso de algunas herramientas como la "grelinette" (que equivaldría a una laya de doble mango, aunque más ancha), la "acti-bêche" (Acti-laya), con propiedades similares a la anterior, el binador, el escardillo, el escarificador y el cultivador.

Cabría destacar la importante labor que realizan en el suelo gran número de seres vivos que en él habitan, como las lombrices de tierra, que excavan galerías y enriquecen el suelo una vez digerido éste, los filamentos microscópicos de los hongos, que proporcionan una mayor cohesión entre las partículas de tierra, o las mismas raíces de las plantas (Parisi, 1979; Brill, 1981).

1.2.- Asociación y rotación de cultivos

Las asociaciones de cultivos, cultivo múltiple o sistemas de policultivo (M.A. Altieri, 1983) son sistemas en los cuales dos o más especies de vegetales se plantan con suficiente proximidad espacial para dar como resultado una competencia interespecífica o complementación (Cánovas Fernández, 1993).

Por tanto presentan múltiples ventajas frente al monocultivo, entre las que se pueden enumerar (Labrador y Guiberteau, 1991):

- Mejor aprovechamiento de la tierra, el espacio y el agua.
- Disminución de los problemas fitosanitarios.

- Menor afluencia de malas hierbas debido a que el terreno queda rápidamente cubierto.
- En ciertas asociaciones las plantas ejercen una acción de mutuo beneficio, aunque también suelen existir policultivos comensalísticos, amensalísticos, monopolísticos e inhibitorios.
- Las producciones son siempre mayores.

Existen numerosos ejemplos de asociaciones y para una mayor información pueden consultarse autores como Gerve (1981), Guardia Esteve (1982), Aubert (1987), Urbano Terrón (1988), Araujo (1990), Cánovas Fernández (1993) y García e Ingelmo (1994).

La rotación es la asociación de cultivos en una misma parcela. La alternancia es la división de la tierra cultivada en parcelas consagradas cada una a un cultivo diferente de la rotación. Así, alternaremos cultivos que tengan tipos de vegetación, sistemas radiculares y necesidades nutritivas diferentes y de este modo se podrán explorar todas las capas de tierra y utilizar en proporciones equilibradas todos los elementos que ésta contiene (Aubert, 1987).

Aparte de los aspectos considerados a la hora de llevar a cabo la rotación, también es importante considerar la clasificación botánica; se sucederán cultivos pertenecientes a distintas familias, y lo que es más importante, debemos cultivar al menos cada dos años una planta leguminosa, por razones evidentes (Cánovas Fernández, 1993).

1.3.- Fertilización en agricultura ecológica

Ya expresé páginas atrás, cuando razonaba sobre las consecuencias que impone la agricultura convencional, cuáles son los problemas resultantes del uso del abonado químico, entre los que destacan la pérdida de nutrientes por lixiviación, contaminación de las aguas en general, reducción de la actividad biológica del suelo, etc. Este último punto es fundamental si lo que pretendemos es conservar y producir el suelo, o lo que es lo mismo: el suelo vivo (tal y como diría Roger, 1985), en unas condiciones físicas y químicas adecuadas.

La agricultura ecológica ofrece una solución lógica y con fundamento científico que radica en la alimentación activa del suelo a través del suministro de materia orgánica en sus distintas configuraciones, sin olvidar los aportes minerales en forma de rocas minerales pulverizadas (Shundt *et al.*, 1987).

Así, las principales fuentes de humus que aparecen en el Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica son:

A) ABONOS ORGÁNICOS PRODUCIDOS EN LA FINCA O COMPRADOS A OTRAS FINCAS INSCRITAS EN LOS REGISTROS:

- Estiércol, descompuesto por fermentación en montón, en hoyo

o en la superficie.

- Residuos de cosechas.
- Abonos verdes.
- Paja y otros acolchados.
- Estiércol líquido (lisier) y orines (purines) fermentados aerobiamente.
- Purín de ortigas.
- Compost hecho a partir de residuos orgánicos.
- Humus de lombriz.

B) ABONOS ORGÁNICOS QUE NO PROVIENEN DE FINCAS INSCRITAS EN LOS REGISTROS:

- Compost hecho a partir de residuos orgánicos no contaminados.
- Estiércoles no contaminados y previamente descompuestos por fermentación en montón o en hoyo.
- Paja no contaminada.
- Algas marinas y derivados.
- Pescado y derivados.
- Guano de aves.
- Humus de lombriz hecho a partir de estiércoles no contaminados.
- Subproductos orgánicos de la industria alimentaria y textil, siempre que no estén contaminados ni tengan aditivos químicos.
- Serrín, virutas y cortezas, si proceden de madera no tratada.

Las cantidades en que se aplican y otros datos de interés reflejados en cuadros se dan a conocer en numerosos manuales (Gross, 1981; Domínguez Vivancos, 1984; Bertolini, 1989; Fink, 1988).

Por otro lado, los abonos minerales que autoriza el Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica son los que se enumeran a continuación:

- Rocas en polvo.
- Enmiendas calcáreas, magnésicas y de azufre o yeso.

- Algas calcáreas.
- Fosfatos naturales.
- Cenizas de madera.
- Escorias Thomas.
- Mineral magnésico.
- Mineral potásico con bajo contenido en cloro.
- Oligoelementos.

1.3.1.- Fertilización orgánica

1.3.1.1.- Estiércoles

El estiércol es una mezcla de las camas de los animales con sus deyecciones, que ha sufrido fermentaciones más o menos avanzadas primero en el establo y luego en el estercolero (Labrador y Guiberteau, 1991).

Se trata de un abono compuesto de naturaleza organo-mineral, con un bajo contenido en elementos minerales. Su nitrógeno se encuentra casi exclusivamente en forma orgánica y el fósforo y el potasio al 50 por 100 en forma orgánica y mineral (Labrador, 1994), pero su composición varía entre límites muy amplios, dependiendo de la especie animal, la naturaleza de la cama, la alimentación recibida, la elaboración y manejo del montón, etc.

Como termino medio, un estiércol con un 20 - 25 % de materia seca contiene 4 kg.t⁻¹ de nitrógeno, 2,5 kg.t⁻¹ de anhídrido fosfórico y 5,5 kg.t⁻¹ de óxido de potasio. En lo que se refiere a otros elementos, contiene por tonelada métrica 0,5 kg de azufre, 2 kg de magnesio, 5 kg de calcio, 30 - 50 g de manganeso, 4 g de boro y 2 g de cobre. El estiércol de caballo es más rico que el de oveja, el de cerdo y el de vaca. El de aves de corral o gallinaza es, con mucho, el más concentrado y rico en elementos nutritivos, principalmente nitrógeno y fósforo (Guiberteau, 1994).

Tabla 4: Riqueza media de algunos estiércoles.

Producto	Materia seca %	Contenido de elementos nutritivos				
		en kg.t ⁻¹ de producto tal cual				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S
De vacuno	32	7	6	8	4	
De oveja	35	14	5	12	3	0,9
De cerdo	25	5	3	5	1,3	1,4
De caballo	100	17	18	18		
Purines	8	2	0,5	3	0,4	

Gallinaza	28	15	16	9	4,5	
Guano de Perú	100	130	125	25	10	4

Fuente: Alberto García Sans (1987).

Los estiércoles que producen un mayor enriquecimiento en humus son aquellos que provienen de granjas en las que se esparce paja u otros materiales ricos en carbono como cama para el ganado, y se espolvorean sobre ellos rocas naturales trituradas (fosfatos, rocas silíceas, etc.) y tierra arcillosa para una mejora de la calidad (Cánovas Fernández, 1993). **Un animal en estabulación permanente produce anualmente alrededor de 20 veces su peso en estiércol.** El procedente de granjas intensivas se reconoce fácilmente por su desagradable olor a putrefacción, que da lugar a la formación de sustancias tóxicas para el suelo debido a su alto contenido en nitrógeno proteico y a sus elevadas tasas de antibióticos y otros fármacos. Por tanto estos materiales se utilizarán con mucha precaución, compostándolos previamente en mezcla con otros estiércoles o materias orgánicas equilibradas y siendo prudentes en su uso.

El estiércol hay que esparcirlo pronto sobre el suelo, a ser posible en otoño o invierno, antes de las heladas, de manera que su descomposición esté muy avanzada en primavera, cuando se efectúan las siembras o trasplantes. **Además es preferible enterrarlo tan pronto como se extienda, para evitar las pérdidas de nitrógeno, que pueden ser importantes, pero nunca hacerlo profundamente.** Si no fuera posible enterrarlo rápidamente, es mejor dejarlo en montones de no mucha altura, sin compactarlos y directamente sobre el suelo de labor; de esta forma se favorece el comienzo de la **fermentación aerobia** (Labrador y Guiberteau, 1991). Esta práctica se denomina *compostaje* y también se utiliza para madurar el estiércol. Mediante esta técnica, se favorece la formación de un material prehumificado, fácilmente mineralizable y con una importante carga bacteriana beneficiosa. Este proceso de maduración dura de tres a seis meses.

Otros autores piensan que las técnicas de maduración deben procurar favorecer la mineralización del estiércol, disminuyendo las pérdidas y, en base a esto, sugieren que el montón debe hacerse y compactarse fuertemente a los dos o tres días de realizado, para evitar que continúe la fermentación aeróbica oxidativa iniciada y haya pérdidas de nutrientes. Con esta compactación, la bioquímica del proceso es anaeróbica, durando la evolución del mismo hasta la maduración del material de dos a tres meses (Labrador, 1994).

El estiércol fresco puede ser utilizado en compostaje de superficie directamente. Se usa sobre todo en cultivos exigentes en abonado que toleran bien la materia orgánica fresca, como es el caso de patata, remolacha, tomate, etc., así como en los cultivos plurianuales como frutales y viñas, sobre los abonos verdes y las praderas permanentes para los aportes de otoño y comienzos de invierno.

Se utiliza en dosis importantes; un estercolado medio supone 30 t.ha^{-1} , pero a menudo se utilizan dosis mayores, $40 - 45 \text{ t.ha}^{-1}$ cuando se busca mejorar el suelo. De acuerdo con las cifras medias de su composición antes indicadas, un estercolado de 30 toneladas supone un aporte por hectárea de 120 kg de nitrógeno, 75 kg de anhídrido fosfórico y 165 kg de óxido de potasio. Por tanto, puede decirse que el estiércol es a la vez una enmienda y un abono.

En clima seco el aporte debe realizarse dos meses antes de la siembra y en caso de que sea húmedo, tres meses antes.

En suelos arcillosos aplicaremos el estiércol muy hecho y con bastante anticipación a la siembra, mientras que si son arenosos estará poco hecho y las estercoladuras serán mas frecuentes y en menor cantidad (Bellapart, 1988).

Los aportes en suelos calizos deben ser frecuentes y débiles y en suelos ácidos se realizará una enmienda caliza que active y favorezca la descomposición de la materia orgánica.

1.3.1.2.- Gallinaza y palomina

La *gallinaza* es una mezcla de los excrementos de las gallinas con los materiales que se usan para cama en los gallineros, mientras que la *palomina* procede del excremento de las palomas, siendo ambos abonos muy estimados por su elevado contenido en elementos fertilizantes (Labrador, 1994).

La gallinaza fresca es muy agresiva a causa de su elevada concentración en nitrógeno y para mejorar el producto conviene que se composte en montones (al igual que la palomina). Con más razón se compostará si procede de granjas intensivas, mezclándose con otros materiales orgánicos que equilibren la mezcla, enriqueciéndolo si fuera necesario con fósforo y potasio naturales.

Autores como Aubert (1987) aconsejan rechazar el estiércol procedente de la cría industrial de pollos y gallinas debido a que frecuentemente contiene residuos antibióticos.

1.3.1.3.- Guanos

Los *guanos* de aves, del Perú y Mozambique, provienen de acumulaciones de deyecciones de aves marinas, y constituyen excelentes abonos orgánicos naturales, libres de todo tipo de contaminación.

Están extremadamente concentrados y por tanto deben emplearse en dosis muy moderadas (menos de $10 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$), (Cánovas Fernández, 1993).

1.3.1.4.- Lombricompost

También se denomina vermicompost o humus de lombriz (Labrador, 1994). Resulta de la transformación de materiales orgánicos al pasar por el intestino de las lombrices, en donde se mezcla con elementos minerales, microorganismos y fermentos, que provocan cambios en la bioquímica de la materia orgánica. Estas lombrices son la *Eisenia foetida* y la *Lombricus rubellus* o híbridos próximos, comercialmente denominada *lombriz roja de California* (Bellapart, 1988).

El método más difundido para la obtención de este humus de lombriz es la cría en el interior de granjas y naves abandonadas o al aire libre, utilizando camas o literas de una anchura entre uno y dos metros y de longitud variable, separadas por pequeños caminos. La sección de las camas será triangular o trapezoidal y con una altura en el vértice no superior a 50 - 70 cm. Las camas se cubrirán con una malla o paja que proteja del calor intenso y al mismo tiempo deje pasar el agua y el aire, manteniendo una humedad comprendida entre el 70 y 80 % y una temperatura no superior a los 20°C.

Con una cantidad de 1.000.000 de individuos podemos obtener alrededor de 12.000.000

en 12 meses y con estos, 144.000.000 en 24 meses. En este tiempo estas lombrices habrán transformado 240 toneladas de estiércol en 120 toneladas de humus biológicamente activo y muy rico en bacterias (Lombri Cultura Moderna, 1984). Las cantidades de elementos minerales del producto resultante son muy variables, aunque hay que destacar su mayor velocidad de transformación en el suelo, en el que origina una rápida disponibilidad de elementos minerales y orgánicos para el cultivo, ejerciendo importantes efectos activadores sobre el metabolismo microbiano y vegetal (Fuentes Yagüe, 1987).

Las investigaciones desarrolladas sobre el tema han sido llevadas a cabo por países como Estados Unidos, Japón e Israel, y ya en 1984 se introdujeron en España, y concretamente en Ibiza, unos ochocientos kilos de esta especie (Madrid, 1984).

1.3.1.5.- Compost

El compost o mantillo se fabrica mediante la fermentación aerobia controlada en montones silos o en superficie, de una mezcla de materias orgánicas, a las que se pueden añadir pequeñas cantidades de tierra o rocas naturales trituradas, al igual que ocurre con el estiércol (Pujola y Jiménez, 1985).

La elaboración de este mantillo permite la obtención de humus y el reciclaje de materiales orgánicos ajenos a la propia parcela, y está indicada en los casos en que la transformación de los restos de cosechas en el mismo lugar es complicada por razones como (Seifert, 1988):

- Existencia de una excesiva cantidad de restos de la cosecha anterior, que dificultan la implantación del cultivo siguiente.
- Encontrarnos con residuos muy celulósicos, que harían previsible un bloqueo provisional del nitrógeno del suelo ("hambre de nitrógeno").
- Disponer de suelos con escasa actividad biológica o con facilidad para la mineralización directa.

La técnica mas conocida es la fabricación en "montón", que según Labrador y Guiberteau (1991) se basa en tres principios fundamentales: realización de una mezcla correcta, formación del montón con las proporciones convenientes y un manejo adecuado.

Mezcla correcta

Los materiales deben estar bien mezclados, homogeneizados y a ser posible bien triturados, ya que la rapidez de formación del mantillo es inversamente proporcional al tamaño de los materiales.

Debe mantenerse una relación C/N adecuada (Labrador y Guiberteau, 1991); relaciones demasiado altas retrasan la velocidad de humificación y excesivas cantidades de nitrógeno ocasionan fermentaciones indeseables.

Las materias primas empleadas en su elaboración pueden ser muy variadas, pero todas deben ser ricas en celulosa, lignina y azúcares. De este modo, utilizaremos restos de poda, paja, hojas muertas, etc., que contienen las dos primeras sustancias citadas, siegas de césped, abonos verdes, restos de hortalizas, orujos de frutas etc., que aportan la

última. También aprovecharemos las ortigas, malas hierbas, restos de cocina, estiércol, etc. (Antón, 1992).

Formación del montón

Estos materiales deben ser triturados y depositados en montones una vez elegido el lugar de emplazamiento, aunque también el compostaje se puede realizar en silos. Así, la ubicación del montón dependerá de las condiciones climáticas de cada lugar y del momento en que se elabore: en climas húmedos y fríos conviene situarlo al sol, al abrigo del viento y protegido de las lluvias, y en zonas más calurosas se situará a la sombra y también al abrigo del viento (Aubert, 1987).

El volumen del montón será aquél que proporcione un equilibrio adecuado entre humedad y aireación, y los agentes humificadores presentes en los materiales de partida deben estar en contacto con los procedentes del suelo. Por esta razón será mejor confeccionar el montón directamente sobre el suelo, **o bien intercalar entre los materiales vegetales algunas capas de suelo fértil, impidiendo así el posible desarrollo de putrefacciones.**

En lo que respecta al tamaño, diversas experiencias nos muestran que la altura mas frecuente es de 1,5 m, la anchura de la base no superior a su altura y con la longitud que se desee. La forma debe ser de cordón y la sección triangular o trapezoidal.

Algún autor recomienda colocar cada 2 o 3 metros de longitud una chimenea de aireación, de forma cilíndrica y 20 o 30 cm de diámetro, que se rellenará de material poco apelmazable, como ramas de poda, paja, etc. También se aconseja, en algunos casos, cavar una zanja a todo lo largo de lo que será la base del cordón, de 20 o 30 cm de ancho y profundo, que igualmente se rellena de ramas; de esta forma se asegura el drenaje.

A la hora de confeccionar el montón conviene aplicar una capa delgada de mantillo del año anterior por cada capa de 20 - 30 cm de espesor. Si no se dispone de este mantillo viejo podremos utilizar estiércol bien maduro, y a falta de ambos tierra de huerta con buen contenido en humus. Por tanto estas capas delgadas podemos decir que actúan como levadura.

Al final del proceso lo recubrimos con una capa vegetal para protegerlo del sol y podemos añadirle fosfatos naturales que reducen las pérdidas de nitrógeno y enriquecen al suelo en este elemento, o realizar una enmienda caliza si se trata de suelos muy ácidos.

Manejo adecuado

El montón debe ser aireado frecuentemente y la humedad se situara entre el 40 y 60 por 100.

Durante los primeros 15 días se alcanzarán temperaturas de 65 - 70 grados Celsius, pero si se superan éstas habrá que regar para limitar el calentamiento. Esta subida de temperatura es debida al desarrollo de actinomicetos que segregan sustancias de naturaleza antibiótica bloqueadoras del desarrollo de bacterias mineralizadoras. También se forman compuestos húmicos del tipo "melaninas", que son precursores del humus. **Al final, por un proceso de pasteurización se eliminan los gérmenes patógenos y parte de las semillas de plantas no deseables.**

El volteo del montón se realizara al pasar entre 4 y 8 semanas de su confección, según la

estación del año, el clima y las condiciones del lugar, repitiendo la operación dos o tres veces, separadas a su vez cada 15 días, y siempre invirtiendo las capas. Transcurridos aproximadamente 2 o 3 meses dispondremos de mantillo joven aplicable a la superficie del suelo o ligeramente enterrado.

Otra modalidad en la fabricación del mantillo es la llamada "compostaje en superficie", consistente en espaciar sobre el terreno una delgada capa de material orgánico finamente dividido, dejándolo descomponerse y penetrar poco a poco en el suelo. Este material sufre así una descomposición aerobia, y asegura al mismo tiempo la cobertura y protección del suelo, aunque tiene el inconveniente de que las pérdidas de nitrógeno son superiores, pero se compensan al favorecer la fijación del nitrógeno atmosférico.

1.3.1.6.-Residuos de cosechas

Su utilización está muy extendida, sobre todo porque constituyen una capa protectora del suelo (Glover, Triplett y Van Doren, 1977) y porque debido a su alto contenido en carbono constituyen una de las fuentes de humus más interesantes (Labrador y Guiberteau, 1991).

Los restos de cosechas pueden incorporarse directamente al suelo con labores superficiales y a ser posible triturados, aunque otras veces puede ser aconsejable transformarlos en lugar distinto mediante la elaboración de mantillo o compost o ser estercolarizados al mezclarlos con estiércol, o sufrir una estercolarización artificial con purines (Bellapart, 1988). El primer caso, aunque más lento, resulta más eficaz y su efecto en el suelo dependerá de la cantidad de lignina y celulosa que contenga, así como de la actividad de ese suelo (Kononova, 1982).

Un tema muy delicado es el de la quema de rastrojos, que sólo debería admitirse en circunstancias excepcionales, ya que ni nuestros suelos ni nuestra atmósfera pueden permitírselo; los primeros por sus bajísimos contenidos en materia orgánica y la segunda por el amenazante *efecto invernadero*.

1.3.1.7.- Abonos verdes

Se trata de plantas de vegetación rápida que se entierran en el propio lugar de cultivo, y están destinadas especialmente a mejorar las propiedades físicas del suelo, enriqueciéndolo en humus (Cánovas Fernández, 1993) siempre que se dejen crecer sobre el mismo terreno durante un año entero o más (Aubert, 1987).

Ya son conocidos por todos los interesados en el tema los muchos efectos beneficiosos a que dan lugar, entre los que Aubert (1987) destaca los siguientes:

- Estimulan la vida microbiana.
- Mejoran la estructura del suelo por medio de sus raíces.
- Protegen el suelo contra la erosión.
- Proporcionan elementos nutritivos al cultivo siguiente.
- Cuando pertenecen a la familia de las leguminosas, enriquecen la tierra en nitrógeno.

- Suprimen el lavado de los elementos nutritivos.
- Mejoran la circulación del agua a través de la tierra.
- Limitan la invasión de las malas hierbas.
- Proporcionan materia verde para el acolchado.

Así, Cánovas (1993) explica que los abonos verdes *devuelven a la zona superficial del suelo, bajo forma muy asimilable, ácido fosfórico y potasa, que han sacado en parte del subsuelo.*

Tras la siega o triturado, el abono verde se debe dejar primero en superficie para que se prehumifique (condiciones aerobias) y posteriormente se enterrará muy superficialmente para incorporarlo dos o tres semanas después a la capa arable del suelo.

Generalmente se realizan en cultivo intercalado, teniendo abonos verdes de primavera, de verano y de otoño.

A la hora de elegir un abono verde será importante tener en cuenta los siguientes factores (Guiberteau, 1994):

- Condiciones de suelo y clima, sembrando especies y variedades más o menos exigentes.
- Duración de la vegetación, eligiendo aquellas especies de ciclo más corto cuando se dispone de poco tiempo.
- Riesgos de invasión de malas hierbas, por lo que consideramos ciertas especies utilizadas como abono verde que tienen poder desherbante: *facelia (Phacelia tanaacetifolia)*, *alforfon (Fagopyrum esculatum)*, etc.
- Lugar que ocupa en la rotación, evitando sembrar como abono verde especies de la misma familia que el cultivo que le precede o sucede.
- Además habría que considerar los residuos que aporta, su rusticidad, etc.

1.3.1.8.- Acolchado

El acolchado o mulching es una práctica agrícola que consiste en cubrir el suelo con un material, generalmente orgánico, destinado a proteger el suelo y eventualmente a fertilizarlo. Se realiza fundamentalmente en horticultura y fruticultura (Urbano Terrón, 1988).

Esta práctica produce grandes efectos beneficiosos en el suelo que se pueden estudiar desde el punto de vista físico, químico y biológico (Cánovas Fernández, 1993).

a) **Efectos químicos**

Se deben a la transformación del material orgánico aportado y son:

- Aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y del contenido en humus.
- Aporte de elementos fertilizantes, que depende del material utilizado.
- Incremento de los rendimientos de los cultivos verificado por experimentos llevados a cabo en maíz, mijo, algodón, etc., que se citan en el tratado de agricultura ecológica (Antonio Cánovas y otros, 1993).

b) **Efectos físicos**

Se producen por la actuación del acolchado como cubierta protectora.

- Controla la humedad del suelo, limitando por un lado la tasa de evaporación, cuestión trascendental en zonas áridas y en aquéllas con problemas de abastecimiento de agua, y por otro lado problemas de encharcamientos originados por una humedad excesiva. Por tanto en este punto habría que considerar factores tales como la naturaleza del suelo (textura, etc.), el clima de la zona en cuestión, y otros.
- Protege el suelo de los rigores del clima, tanto en lo referente a los cambios bruscos de temperatura y fuertes insolaciones (por ejemplo en cultivos de maíz y soja) como reduciendo las pérdidas por erosión ocasionadas por el viento y las lluvias torrenciales.
- Limita el desarrollo de las hierbas adventicias durante los primeros estadios de crecimiento del cultivo, que generalmente mueren asfixiados bajo éste. En caso de que algunas lleguen a desarrollarse, podrán arrancarse sin dificultad manualmente.
- Mejora la estructura del suelo al favorecer la actividad microbiana, la actividad de las lombrices, etc.

c) **Efectos biológicos**

Se desarrollan como consecuencia de la mejora de las condiciones físicas del suelo, el aumento de la cantidad de nutrientes disponibles y el estímulo de los fenómenos de antibiosis.

Así pues se produce un incremento de la actividad biológica al elevarse la población microbiana y la fauna edáfica, estando esta actividad regulada por la relación carbono/nitrógeno de los materiales orgánicos. De este modo al realizar el empajado, a causa del bajo contenido de nitrógeno de la paja, se debe tener precaución, ya que existe un periodo de inmovilización de nutrientes por parte de los microorganismos del suelo, que no lo liberan hasta su muerte.

TIPOS DE MATERIALES UTILIZADOS

Existen numerosos materiales empleados en la práctica del acolchado, los cuales se pueden dividir en dos tipos según su origen sea orgánico o inorgánico.

Al primer grupo pertenecen la paja, los helechos, el heno, las matas y hojas de hortalizas,

la hierba joven, los restos de coníferas, el compost, los abonos verdes, etc.

Dentro de los de origen inorgánico se utilizan fundamentalmente: piedras, gravas y arenas, virutas de madera, papeles y plásticos.

La **paja** es uno de los materiales de descomposición lenta idóneo para tierras pesadas con tendencia a la asfixia y a la compactación, ya que permite la aireación y absorbe parte importante del agua de lluvia. Como ya he citado en el apartado anterior, la paja se caracteriza por contener poco nitrógeno, **por lo que el empajado se debe realizar junto con cierto aporte orgánico. Su uso puede ser interesante en cultivos de hortalizas cuyos frutos se desarrollan sobre el suelo.**

Los **helechos** tienen propiedades semejantes a la paja, aunque son de descomposición algo más rápida.

El **heno** se comporta de forma análoga a los dos anteriores, pero el primero contiene más elementos nutritivos que la paja y tiene el inconveniente de transportar frecuentemente semillas de malas hierbas.

Las **hierbas** son materiales acuosos y de descomposición rápida, y por lo tanto con propiedades opuestas a la paja. Su empleo está indicado en climas húmedos, ya que en climas secos no protegen suficientemente el suelo, y deben renovarse a menudo.

Las **matas y hojas de hortalizas** poseen cualidades intermedias entre la paja y la hierba joven.

Los **abonos verdes** también constituyen un excelente material si se siegan cuando han alcanzado una cierta longitud.

Los **restos de coníferas** solo deben emplearse en caso de disponer de gran cantidad de ellos –y preferentemente muy triturados–, debido a que las maderas de éstas son ricas en fenoles que retrasan la humificación, y sufrirán un compostaje previo, realizando pruebas al mezclarlos con distintas proporciones de otros materiales tales como paja y vegetales verdes.

El **compost** reúne parte de las ventajas de la paja y la hierba y se suele utilizar para casi todo tipo de hortalizas al igual que el resto de los materiales de descomposición rápida.

Las **piedras, gravas y arena** suelen mantener constantes magnitudes edáficas tales como la temperatura y la humedad y ayudan a favorecer y a conservar una buena estructura.

Las **virutas de madera y restos de serrería** se pueden emplear siempre que no contengan restos de productos químicos protectores de la madera y teniendo muy en cuenta el Ph de la tierra ya que pueden acidificarla.

También podemos emplear para el acolchado en hortalizas **papeles** procedentes de periódicos, etc. pero con mucha precaución ya que pueden contener metales pesados.

El tema del acolchado con **materiales plásticos** es muy complejo, tanto por su amplitud como por la polémica que surge entre los diversos practicantes de la agricultura ecológica. A pesar de esta controversia habría que reconocer que estos materiales ofrecen la ventaja

de poseer mayor durabilidad que los orgánicos, que tarde o temprano se transforman en humus, aunque ya se conoce la existencia de plásticos biodegradables y de diversos orígenes con variadas características (Birchall y Kelly, 1983).

Utilizaremos el **polietileno de bajo espesor**, que se puede presentar en forma de láminas transparentes, negras y blancas principalmente. Las primeras tienen el inconveniente de no evitar la nascencia de las hierbas bajo ellas, aunque acabarán muriendo por exceso de temperatura. Las negras, por el contrario, impiden el desarrollo de las hierbas adventicias, pero calientan excesivamente el suelo en periodos de alta temperatura, problema que se subsana colocando láminas de color blanco (Ibarra Jiménez, 1991).

Para llevar a cabo la práctica del acolchado o mulching, previamente hay que elegir los materiales que se van a emplear. Según las circunstancias, preparar dichos materiales, definir el espesor de la capa, considerar la época de ejecución y tomar una serie de precauciones.

La **elección de los materiales** se hace según éstos sean de descomposición rápida, lenta, o se trate de materiales intermedios. Ya hemos visto las condiciones adecuadas para su aplicación (Cánovas Fernández, 1993).

A la hora de **preparar los materiales** se puede llevar a cabo la trituración de los mismos si lo que se desea es acelerar su descomposición, lo que a su vez facilitaría la colocación sobre el suelo. Pero si la función del acolchado es meramente protectora, este proceso podría resultar incluso perjudicial.

El **espesor de la capa** depende fundamentalmente, al igual que en la elección de los materiales, de si estos son secos o acuosos. En el primer caso podremos utilizar capas más o menos gruesas (de hasta 5 cm de espesor), humedeciéndolas inmediatamente, siempre que permitan una buena aireación; mientras que si tratamos con materiales verdes, deben emplearse capas muy delgadas, ya que de lo contrario se favorecería entre otras cosas la proliferación de organismos patógenos.

La **época de ejecución** es preferentemente la primavera, siempre y cuando la tierra este ya caliente. En nuestro clima mediterráneo, con veranos muy cálidos, impide la formación de costra, la cual dificulta la nascencia del cultivo y evita la calcinación del humus del suelo por el sol.

Entre las principales **precauciones a tomar** podríamos considerar las siguientes:

- Cerciorarnos de que el material está libre de semillas de malas hierbas, caracoles, etc.
- Procurar realizar el acolchado sobre el suelo limpio, es decir, donde no aparezcan hierbas adventicias, plantas asentadas, etc.
- Realizar un binado inmediatamente antes del aporte, que puede servir tanto para mullir la tierra como para ejercer la función de una escarda, eliminando así cualquier rastro de vegetación no deseada.

1.3.1.9.- Enarenado almeriense

La función del enarenado se puede deducir a partir de las propiedades de los elementos que lo constituyen, que son tres dispuestos en capas horizontales y se colocan en un

orden establecido:

- Sobre el suelo original se extiende un **horizonte impermeable** formado por **tierra arcillosa** que se extrae preferiblemente de canteras profundas para que no contenga semillas de hierbas adventicias ni transmita enfermedades. El espesor de esta capa oscila entre los 30 y 40 cm y su función es fundamentalmente física, dificultando los movimientos de aguas verticales que resultan tan problemáticos en terrenos salobres de las zonas costeras. Por tanto parece no tener demasiada importancia lo que se encuentre abajo y sería inútil eliminar piedras u otros elementos gruesos o subsolar. Lo que es imprescindible es dar a este horizonte la pendiente suficiente para que las aguas sobrantes se puedan drenar horizontalmente. Por otra parte, al ser muy pequeña la zona de acumulación de agua y nutrientes, es importante el uso de la fertirrigación.

- El **horizonte nutritivo** de unos 2 cm de espesor, constituido por el **estiércol** y colocado sobre la arcilla, juega un papel fundamental, ya que la planta recoge de él todos los elementos que necesita.

- Por último nos encontramos con un **horizonte protector** formado por una capa de arena de unos 10 o 12 cm de espesor que permite reducir la evaporación superficial del agua, limita el número de hierbas adventicias, facilitando su eliminación, favorece la aireación donde están las raíces y la distribución del agua, evita el desarrollo de enfermedades y parásitos, etc.

Con todo esto y tras la observación de los cultivos, podemos apreciar que el desarrollo radicular se centra fundamentalmente en la zona del estiércol, zona baja de la arena y alta de la tierra, y que cada una de los horizontes ejerce una acción tanto individual como global.

1.3.1.10.- Purín y lisier

El *purín* está constituido por los orines que fluyen de los alojamientos del ganado o los líquidos que escurren del montón de estiércol, recogidos en una fosa. El *lisier* es una mezcla de deyecciones sólidas y líquidas del ganado, recogidas y diluidas en agua.

Labrador (1994) nos dice que a lo que no es estiércol sólido como tal se le designa de manera coloquial como purín, y a éste, según la cantidad de agua incorporada se le denomina *estiércol fluido* (14 a 18 % de materia seca), *estiércol líquido* (20 a 30 % de agua y de 9 a 12 % de materia seca) o *estiércol diluido* (50 % de agua).

Ambos son productos muy fermentables y de composición muy heterogénea, al depender de las mismas variables que el estiércol ya estudiado (Urbano Terrón, 1988). En líneas generales encontramos (Labrador y Guiberteau, 1991):

- Materias sólidas minerales (tierra mezclada).
- Materias sólidas orgánicas y materias disueltas (sales solubles, urea y amoníaco).
- Metales pesados (especialmente Cu y Zn si proviene de granjas intensivas).
- Antibióticos.
- Hormonas.

- Desinfectantes.

La riqueza media del purín por metro cúbico es la siguiente:

Nitrógeno1,50 a 2,50 kg
Anhídrido fosfórico.....0,25 a 0,50 kg
Óxido de potasio4,00 a 6,00 kg

Refiriéndome de nuevo a ambos, encontramos un contenido en cenizas del 24 al 50 % de la muestra seca; el nitrógeno excretado se considera que es un 20 % del ingerido en la dieta; con respecto al potasio, los animales eliminan con los orines el 90 por ciento del ingerido en forma de sales solubles, y con respecto al fósforo, del 70 al 80 % del fósforo del purín está constituido por compuestos minerales poco solubles, especialmente bajo la forma de fosfato monocálcico (Costa, 1991). **El producto final puede ser mejorado añadiendo en las fosas material rico en carbono (paja muy triturada, serrín o compost) para aumentar la relación C/N a un valor aproximado de 10 y fosfatos naturales triturados** (García Sans, 1987).

A la hora de llevar a cabo la aplicación de estos productos en el campo hay que seguir una serie de recomendaciones:

- Aplicar el purín rápidamente después de su fabricación. En caso de almacenarlo, airearlo frecuentemente mediante agitación o inyección de aire a presión.

- Realizar aportes moderados para que los purines frescos **no penetren profundamente en la tierra.**

- **Evitar su distribución sobre terreno helado, nevado o saturado de agua, así como sobre terreno con fuerte pendiente, muy permeable, muy ligero o con una capa freática muy superficial.**

- **No aportar en tiempo lluvioso o con posibilidad de lluvia.**

- No aportar en productos hortícolas para consumo en crudo.

- Se procurará distanciar su aplicación lo más posible de la siega de las praderas y se evitará dejar el suelo mucho tiempo desnudo tras su aplicación.

Su acción fertilizante es más rápida que la de los estiércoles, variando las dosis utilizadas según el tipo de cultivo entre 10 y 50 m³.ha⁻¹ para el purín y entre 10 y 30 m³.ha⁻¹ para el lisier (Cánovas Fernández, 1993).

Considerando todo lo anteriormente dicho, lo distribuiremos antes de las siembras en las primeras fases de desarrollo del cultivo cuando se trate de cultivos anuales, y durante todo el año y mediante cisternas en el caso de praderas y pastizales. Una vez distribuido, conviene enterrarlo someramente con un pase de grada o cultivador.

1.3.1.11.- Algas

Deben usarse en el estado más fresco posible, y para acelerar su descomposición, se les puede añadir estiércol u otro abono orgánico rico en nitrógeno.

Comparándolas por ejemplo con el estiércol, vemos que son más pobres en fósforo y nitrógeno, aunque son más ricas en potasio, sodio y magnesio, y disponen de una gran cantidad de oligoelementos, entre los que cabe destacar el zinc, el hierro y el cobre. Así su composición media es (Labrador y Guiberteau, 1991):

N.....	0,20 - 0,80 %
P ₂ O ₅	0,05 - 0,20 %
K ₂ O.....	1,00 - 3,00 %

Las dosis empleadas normalmente son de 30 - 40 t.ha⁻¹.

En el comercio también pueden encontrarse harinas y extractos líquidos de diversos tipos de algas, entre los que destaca el alga calcárea (*Lithothamnium calcareum*) como Lithothamne, o Algomin (en Alemania) que se recolecta a lo largo de las costas marinas del oeste de Francia. Este alga es muy rica en calcio (42 - 47 % de CaO), magnesio (3 - 8 % de MgO) y oligoelementos, y se utiliza pulverizada, sola o mezclada con fosfatos naturales, en la enmienda de suelos ácidos a dosis de 100 - 600 kilos por hectárea (García Sans, 1987).

1.3.1.12.- Turbas

Con el término *turba* se define un conjunto de materiales orgánicos producidos por la descomposición lenta de vegetales en regiones con exceso de humedad y deficiente oxigenación. Debido a estas condiciones, la materia orgánica sólo se ha descompuesto parcialmente (Urbano Terrón, 1988). Por esta última razón su papel en el suelo es meramente físico.

Existen fundamentalmente dos tipos de turbas: las rubias y las negras. Las primeras proceden en su mayoría de países del centro y norte de Europa y son de mayor calidad que las negras, recogidas en la cuenca mediterránea. En general se recomienda su utilización, aunque con ciertas limitaciones y precauciones al emplear las negras (Labrador y Guiberteau, 1991).

1.3.1.13.- Residuos sólidos urbanos (R.S.U.) y lodos de depuradoras

El uso del mantillo procedente de residuos sólidos orgánicos urbanos es controvertido en agricultura ecológica al igual que en el caso de los lodos de depuradoras y aguas negras, los cuales aparecen como prohibidos en el Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica (C.R.A.E., 1990). Esto es debido al riesgo de que presenten metales pesados en su composición, acentuándose este riesgo en el caso de los mantillos obtenidos a partir de la fermentación de los lodos de depuradoras (Gruttner, Munk, Pedersen y Torslov, 1994).

A pesar de esta problemática, nos encontramos con que el aprovechamiento de los R.S.U. ofrece una serie de ventajas, entre las que destacan (Bellapart, 1988):

- Evitar la pérdida de materia orgánica que estos contienen.
- Pueden ser utilizados como combustible residual.
- Evitan la contaminación atmosférica por los gases desprendidos en la combustión de las basuras, y la contaminación de las aguas subterráneas en el caso de su incorporación a los vertederos.

- Así mismo, disminuir las pérdidas de energía fósil que se producen en el proceso de incineración de basuras.

- Podrían utilizarse como aditivo para la alimentación animal una vez reciclados.

- También servirían de fuente de recuperación de subproductos industriales tales como papel, vidrios, hierros, plástico, etc., tras sufrir un proceso riguroso de separación.

- Y lo que también es muy importante, este aprovechamiento puede reducir la carga económica que la incineración y vertido de los R.S.U. supone para los ayuntamientos.

Existen distintos procesos para el reciclaje y compostaje de estos productos (sistema Beccari, sistema Bonamici, sistema Boggiano-Pico, sistema continuo-biodigestor, etc.), pero aún no ha sido encontrado un procedimiento totalmente satisfactorio y rentable para la obtención de un producto homogéneo.

Algunos autores estiman que el aporte de humus de estos mantillos es mínimo, debido a los bajos contenidos en celulosa y lignina de los materiales de que proceden, y para obtener un producto de calidad habría que añadirles materiales ricos en estas sustancias, como restos de mataderos, paja de cereales, etc.

En España, desde hace algún tiempo y en algunas ciudades (por ejemplo: Pamplona en 1980), se practica la recogida selectiva de basuras, al menos en lo que se refiere a vidrios, cartones y papel, lo que supone un avance en nuestro sistema con respecto a la anterior importación de grandes cantidades de papel, goma, trapos, etc.

En el I Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica, celebrado en 1994 en la ciudad de Toledo, se presentó el caso de utilización de compost de R.S.U. procedente de la recogida selectiva en Córdoba como enmienda orgánica en el cultivo de patata (Revilla, De León, Aguilar, Porcil y Díez, 1994).

1.3.1.14.- Otros abonos orgánicos

En agricultura ecológica también se emplean otros materiales orgánicos de origen animal y vegetal.

Dentro de los primeros destacan los procedentes de mataderos, como sangre, huesos y carne en plover, cueros y cuernos tostados, lanas, cerdas, etc., que suelen ser ricos en nitrógeno y fósforo, aunque su uso es puntual y reducido por su escasa importancia (Labrador y Guiberteau, 1991). El pescado y sus derivados son otra opción que debe ser considerada (Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica, 1990).

Con respecto a los materiales vegetales hay que descartar el empleo de purín de ortigas.

El serrín, las virutas y cortezas, pueden ser aprovechados si proceden de madera no tratada, y también son admitidos por el Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica los subproductos orgánicos de la industria alimentaria y textil, siempre que no estén contaminados ni contengan aditivos químicos (Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica, 1990).

Existen además numerosos abonos orgánicos contenidos en yacimientos, o derivados de la fermentación controlada de materiales orgánicos de distinta naturaleza, que son elaborados y comercializados generalmente por empresas especializadas. Así tenemos abonos ricos en sustancias húmicas, preparados microbianos, mantillos enriquecidos, etc. Entre todos ellos cabe destacar las turbas y los mantillos de basuras urbanas de los que anteriormente he hablado.

Tabla 5: Residuos de industrias agroalimentarias utilizados como abonos ricos en nitrógeno .

Tipo de abono	N (%)	P₂O₅ (%)	K₂O (%)	Dosis de uso (kg.ha⁻¹)
Tortas oleaginosas	4-7	-	-	400-1500
Sangre en polvo	10-14	-	-	200-500
Cuernos y pezuñas	12-15	-	-	200-600
Carne en polvo	9-11	-	-	200-500
Cueros en polvo	7-9	-	-	300-1200
Residuos de lana	3-9	-	-	400-1500
Harina de pescado	4-10	3-6	1-2	300-1000
Huesos en polvo	2-3	16-20	-	300-500
Tortas de algodón	3-7	2-3	1-2	400-1500

Fuente: Cánovas Fernández (1993).

1.3.2.- Fertilización inorgánica

Estos abonos minerales se utilizan en agricultura ecológica como enmienda, considerando como tal toda aquella actuación sobre el suelo que tiende a corregir una situación deficitaria o desequilibrada, y de carácter puntual. Así pues, la enmienda se caracteriza por no realizarse de forma frecuente (Bartolini, 1989).

Realmente en agricultura ecológica no son probables las fuertes carencias de un elemento, pero sí habrá que actuar con precaución durante el tiempo de reconversión de la finca (Cerisola, 1989).

La enmienda se debe realizar en la época en que el suelo esté desnudo, teniendo en cuenta las estaciones lluviosas, para que no se produzcan pérdidas del producto, y con bastante antelación a la siembra. En nuestra agricultura, de acuerdo con la marcha de las rotaciones de cultivos, hay dos épocas muy definidas, otoño y primavera, aunque normalmente es mejor en otoño (Urbano Terrón, 1988) o a finales de verano. Se efectuará en primavera únicamente cuando se deban cubrir carencias con aportes en forma rápidamente asimilable.

También pueden añadirse al compost o mantillo para que así sufran un proceso de

preasimilación.

En general se utilizarán sales poco solubles, sin aumentar esta solubilidad mediante tratamientos químicos, o aportes minerales bajo forma de productos naturales que únicamente han sufrido tratamientos físicos como lavado, trituración y en ciertos casos, calcinación (Bezdicsek, 1984). Estos productos se aplicarán en pequeñas dosis, sin olvidar, claro está, los aportes orgánicos que como ya dije son la base del abonado en agricultura ecológica. Por tanto los fertilizantes minerales deben considerarse como un suplemento y no como una sustitución del reciclado de nutrientes (Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica, 1990).

Las rocas y minerales naturales se muelen y pulverizan muy finamente, ya que cuanto menor es el tamaño de molido, más rápida es su acción y menores las cantidades a aportar (Roger, 1985). En general se utilizan productos con una finura comprendida entre el tamiz 200 (0,074 mm de apertura de malla) y el tamiz 400 (0,037 mm) (García Sans, 1987).

Los abonos minerales se pueden clasificar según su elemento dominante, sin olvidar que todos ellos contienen un elevado número de elementos químicos:

1.3.2.1.- Materias minerales ricas en sílice

Son principalmente el basalto, el granito, el pórfido, el neiss, etc. Contienen aproximadamente un 50 % de sílice, un 2 - 10 % de magnesio, un 2 - 12 % de potasio y numerosos micronutrientes.

Las ventajas que ofrece el empleo de estas rocas son:

- Aumentan el rendimiento y la resistencia al encamado de los cereales.
 - Producen un incremento de la resistencia de numerosas plantas a enfermedades criptogámicas y ataques de ciertos insectos.
 - Su contenido en sílice facilita la asimilación por las plantas de la mayor parte de los elementos minerales, especialmente el fósforo y los oligoelementos.
 - Pueden ser utilizados prácticamente en todos los suelos, incluso a dosis elevadas, sin riesgo de toxicidad o desequilibrio.
- Dependiendo de la naturaleza del suelo, los aportes de rocas silíceas son complementados con otros materiales minerales, y las dosis de aplicación oscilan entre los 300 y 2000 kg.ha⁻¹.

1.3.2.2.- Materias minerales ricas en nitrógeno

El único abono nitrogenado de origen natural es el nitrato de Chile, que contiene aproximadamente un 16 % de nitrógeno y un 25 % de sodio.

Su utilización está restringida al periodo de reconversión en cereales, con pequeñas cantidades en primavera, pero no está autorizado en agricultura ecológica (Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica, 1990), ya que se comporta exactamente igual que un abono soluble de síntesis (su nitrógeno está totalmente mineralizado) (Labrador y Guiberteau, 1991).

1.3.2.3.- Materias minerales ricas en fósforo

Como aporte de fósforo se utilizan rocas fosfatadas, como los **fosfatos naturales** de

África del norte (Sahara, Marruecos, Túnez), Estados Unidos (Florida), África Central (Senegal, Togo), etc. (Cánovas Fernández, 1993), y las **fosforitas**, finamente molidas, que contienen un 25 - 35 % de anhídrido fosfórico (Labrador y Guiberteau, 1991).

Con la excepción de los fosfatos aluminio-cálcicos de Thiés (Senegal), son fosfatos tricálcicos sedimentarios cristalizados (kola), con cierta proporción de fluoruro cálcico.

Se aportan por término medio entre 50 y 60 kg.ha⁻¹.

También se utiliza el **fosfal**, fosfato natural de calcio y aluminio calcinado (ha sufrido un tratamiento térmico), que se aplica sobre todo en las tierras calizas.

Las **escorias Thomas** también se utilizan, particularmente en suelos con fuerte carencia de este elemento. Se obtienen a partir de la fosforación del mineral de hierro en los altos hornos. Contienen un 16 - 19 % de anhídrido fosfórico, y su disponibilidad depende de la actividad siderúrgica y del origen de los minerales de hierro utilizados.

1.3.2.4.- Materias minerales ricas en potasio

Raramente se presentan carencias de este elemento, ya que, al igual que el cloro, tan sólo tiene un papel de transporte de cargas. Además, cuando las plantas maduran, devuelven la mayor parte del potasio al suelo; si cosechamos productos maduros (por ejemplo cereales), las extracciones son mínimas, al contrario que ocurre con las plantas verdes, que son muy ricas en potasio (Labrador y Guiberteau, 1991).

El potasio de las rocas silíceas se encuentra en forma insoluble, así que no existen riesgos de exceso de este elemento, pero en caso de fuerte deficiencia, la velocidad de solubilización puede ser demasiado lenta, por lo que se hará necesario emplear sales más solubles, como el pathenkali o en algunos casos cenizas de madera.

El **pathenkali** es un sulfato de potasio y magnesio de origen natural, obtenido a partir de la kainita, que se extrae principalmente de los países centroeuropeos. Contiene un 28 % de óxido de potasio, un 8 % de magnesio, un 18 % de azufre y diversos oligoelementos.

Las **cenizas de madera** de origen biológico constituyen un excelente abonado potásico, ya que contienen entre un 5 y 9 % de óxido de potasio y se utilizan en dosis muy variables.

1.3.2.5.- Materias minerales ricas en magnesio

Además de las rocas silíceas (2 - 10 % de MgO) y el pathenkali (8 % de MgO), que aportan cantidades notables de magnesio, en agricultura biológica también se emplean las dolomitas y el sulfato de magnesio natural.

Las **dolomitas** son carbonatos dobles de calcio y de magnesio, con una riqueza en óxido de magnesio del 16 al 20 %, y que a causa de su alto contenido en calcio, sólo se utilizan en suelos ácidos o neutros, a dosis de 200 - 500 kg.ha⁻¹.

El **sulfato de magnesio** se emplea en suelos calizos, a dosis de 200 - 4400 kg.ha⁻¹, y puede tener dos orígenes:

- Minero (kieserita), con un 20 - 27 % de magnesio.
- Marino (salinas), con un 16 % de magnesio y un 13 % de azufre, de solubilidad bastante

mayor que la anterior y que por tanto se aplica en dosis pequeñas y frecuentes.

1.3.2.6.- Materias minerales ricas en calcio

Como en el caso del magnesio, muchas rocas naturales ya citadas contienen cantidades apreciables de calcio, como por ejemplo los fosfatos naturales (50 % de CaO), las escorias básicas (45 -60 % de CaO) y las dolomitas (25 - 30 % de CaO).

Para las enmiendas cálcicas de suelos ácidos se emplean las mismas rocas naturales que en agricultura convencional: calizas, margas, cretas, etc., y los aportes serán menores y más repetidos cuanto más finamente pulverizadas estén las rocas.

Las **calizas** tienen un 40 - 55 % de óxido de calcio y se utilizan en dosis de 300 - 2000 kg. ha⁻¹.

Las **margas** son mezclas de arcilla y caliza con un 15 - 30 % de óxido de calcio, por lo que resultan de gran interés en las enmiendas cálcicas de suelos arenosos y se aplican en dosis de 3 - 15 kg. ha⁻¹.

Las **cretas fosfatadas** contienen un 50 - 55 % de óxido de calcio, un 7 - 9 % de anhídrido fosfórico y numerosos micronutrientes. Se utilizan en dosis de 300 - 1500 kilos por hectárea.

Y finalmente el **yeso** contiene un 33 % de calcio y se emplea preferentemente para la corrección de suelos sódicos.

2.- HIERBAS ADVENTICIAS

2.1.- Introducción

El tema de las hierbas adventicias es muy controvertido, ya que incluso en su denominación surge una interesante polémica.

En la que hemos llamado agricultura industrial nos encontramos siempre con el nombre de *malas hierbas*; Fryer (1968) diría que son *plantas que crecen donde no son deseadas*, o según King (1966), con hábitos competitivos y agresivos, de alta persistencia, sin utilidad o indeseables e incluso perjudiciales para el hombre, animales y cosechas (Urbano Terrón, 1988). Por tanto se ha hecho todo lo posible por erradicarlas, utilizando herbicidas de diversa naturaleza (Griffith, 1989), llegando incluso a suprimir las labores que persiguen el mismo fin (Glover, Triplett, Van Doren, 1977).

Así surgen incontrolables problemas que derivan del empleo irracional de estos productos (*El problema del uso de los herbicidas y el medio ambiente, por Antonio J. Contreras Lerma. Jornadas de agricultura ecológica, 1985*).

Sin embargo es más apropiada la denominación de *hierbas adventicias*, ya que presentan numerosas propiedades que son aprovechables en agricultura ecológica. Las hierbas adventicias son para el agricultor ecológico los auxiliares que utilizan los desequilibrios del suelo con vistas a fabricar o movilizar los elementos y desarrollar la vida microbiana que faltaba. Entre estas ventajas cabe resaltar las siguientes (Roger, 1985; Cánovas Fernández, 1993):

- Constituyen una cubierta vegetal que controla la erosión del suelo.

- Son una fuente de recursos genéticos.
 - Albergan numerosos insectos que pueden ser beneficiosos para el cultivo, así como pájaros, animales de caza e incluso peces, a los que ofrecen refugio y alimento.
 - Sirven de indicadores visuales del tipo de suelo (estado nutritivo, pH, etc.). Así, si encontramos por ejemplo *Mentha arvensis*, *Ranunculus repens*, etc., nos indican suelos con buena capacidad de retención de agua, o si aparecen *Urtica dioica*, *Chenopodium album*, etc., se trata de un suelo rico en nitrógeno. Con un pH ácido encontraríamos *Veronica officinalis*, *Ilex aquifolium*, etc.
 - En algunas situaciones pueden usarse como colaboradoras de nuestra explotación, actuando como mejorantes. Un ejemplo lo tenemos en el control de las hierbas adventicias con un cultivo asfixiante, como en el caso del trigo sarraceno; una siega de ambos y su posterior enterramiento como abono verde, mejorará el terreno para un próximo cultivo.
 - Según Hallaire, se ha demostrado que un terreno mantenido limpio, sin vegetación adventicia, pierde tanta agua por evaporación como si estuviera cubierto por un continuo tapiz vegetal de malas hierbas, mientras que si éstas permanecen durante el descanso entre cultivo y cultivo evitarán las pérdidas por ejemplo de nitrógeno por lixiviación, que tan importantes pueden resultar en países secos donde las lluvias suelen ser violentas (Meiklejohn, 1955).
 - Hay plantas que ayudan con sus secreciones radiculares a la destrucción de los residuos tóxicos.
- Las propiedades mencionadas dan pie a la clasificación de las "malas hierbas" según Singh (Benarés, 1939) en tres grupos: las ricas en nitrógeno, las ricas en calcio y las ricas en potasio. De este modo, aparecen numerosas clasificaciones entre las que hago destacar la que Jean Marie Roger indica en su libro "El suelo vivo", en el que considera otros tres grupos dependiendo del grado de competencia con el cultivo: Las "malas hierbas" que son francamente un estorbo, las que molestan poco y las que uno ha de desear ver en sus cultivos.

Tras este pequeño inciso, si retomamos el tema de la perseverante destrucción de estas plantas que persigue la agricultura convencional, vemos que lo que esta insistencia consigue es la evolución del medio, de forma que hace aparecer otras "malas hierbas" más fastidiosas y difíciles de destruir, llegando incluso algunos desherbantes a favorecer la invasión de determinadas adventicias al año siguiente de su empleo.

Por tanto la base del control de las adventicias está en la ejecución de las prácticas culturales.

2.2.- Control de las hierbas adventicias en los agroecosistemas

El manejo de las hierbas adventicias consiste en cambiar el equilibrio cultivo-hierba adventicia de forma que los rendimientos de los cultivos no se reduzcan económicamente. Para lograr este objetivo existen diferentes métodos que se clasifican en un primer escalón como prácticas culturales preventivas y directas. Ambas están permitidas por el Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica (C.R.A.E., 1993), quedando por tanto prohibidos todos los herbicidas compuestos por productos químicos de síntesis

2.2.1.- Prácticas culturales preventivas

2.2.1.1.- Rotación de cultivos

Las rotaciones de cultivos mal estudiadas desequilibran los suelos, por lo cual se enherban exageradamente (Cánovas Fernández, 1993).

2.2.1.2.- Laboreo del suelo

El momento de la labor es determinante en este aspecto. También hay que cuidar que no se remonten a la superficie las capas profundas del suelo que pueden llevar consigo reapariciones de adventicias.

La inestabilidad estructural da lugar a que el suelo se apisone, favoreciendo la germinación de semillas persistentes.

2.2.1.3.- Fertilización

Todo desequilibrio en la materia orgánica produce un desequilibrio microbiano, enzimático y mineral que dará lugar a otras invasiones. Además su fermentación facilitará la destrucción de semillas, cuidando la ausencia de éstas en el material utilizado para la fabricación del compost y de las camas.

2.2.1.4.- Densidad de siembra

Hay que determinar la distribución de las plantas y el lugar donde deben dejarse o no crecer las adventicias, por ejemplo para promover el desarrollo de poblaciones de insectos beneficiosos, etc.

2.2.1.5.- Acolchado

Impide la emergencia de gran número de adventicias, siempre que no agravemos el problema porque el material no esté limpio de semillas.

2.2.1.6.- Asociación de cultivos

El cultivo intercalado puede aumentar la capacidad competitiva de los cultivos contra las adventicias. Un ejemplo representativo es el del maíz asociado a judía verde, que además le servirá para entutorarse y al mismo tiempo existirá una fijación de nitrógeno.

2.2.1.7.- Prácticas alelopáticas

La alelopatía es cualquier efecto dañino, directo o indirecto, de una planta sobre otra mediante la producción de componentes químicos liberados en el medio ambiente. Esta influencia alelopática es mayor cuanto más se acercan a la madurez dichas plantas.

2.2.1.8.- Autocontrol por prácticas culturales

Además de cuidar la ausencia de semillas en los materiales para acolchado, compost etc., deberemos evitar el transporte de éstas a través de los aperos y en general de todo aquello que puede entrar en contacto con el cultivo.

2.2.2.- Prácticas culturales directas

2.2.2.1.- Medios mecánicos

Realizaremos la bina o escarda con instrumentos que arranquen o envuelvan en la tierra las hierbas adventicias.

Dentro de los instrumentos manuales disponemos de: el escardador, el legón, la azada de

rueda con cuchillas escardadoras, la gubia de espárragos, etc.

Para algunos cultivos, como la zanahoria, se puede realizar la "falsa siembra", que consiste en preparar el terreno para la siembra, que se efectuará dos o tres semanas más tarde, escardando mientras tanto.

También se utilizan las rastras y el cepillo rotativo, pero un interesante sistema de eliminación de "malezas" y restitución del suelo es el que propone Edward Faulkner en su obra *La insensatez del agricultor* (1981): *se plantarán y se disquearán, antes de que florezcan con las malezas, dos cosechas sucesivas de abono verde cada año durante el tiempo necesario (un periodo de dos a cinco años) para agotar la existencia de semillas de malezas y al mismo tiempo el terreno comience a ennegrecerse de nuevo.*

2.2.2.2.- Medios térmicos

Se llevan a cabo en aquellas zonas donde no es posible la escarda mecánica y se pueden realizar en pre-emergencia o post-emergencia del cultivo, de la forma tradicional o mediante sistemas infrarrojos. Además, existen distintos tipos de quemadores (tipo Biofarm, tipo Express, tipo Fitollama, etc.).

Algunas adventicias, como las monocotiledóneas, son menos sensibles a estos tratamientos, por lo que se debe repetir la operación y si es preciso realizar previamente un desherbado mecánico.

2.2.2.3.- Medios eléctricos

La base de su funcionamiento reside en el empleo de corrientes de alto voltaje que actúan por contacto.

Su uso está muy extendido en Estados Unidos, pero su elevado coste impide su difusión.

3.- PLAGAS Y ENFERMEDADES

3.1- Introducción

Lo esencial es situar las plantas en las mejores condiciones posibles de desarrollo, para que sus mecanismos de defensa puedan funcionar con normalidad (Rosenthal, 1988). De este modo, según el Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica (C.R.A.E., 1990), este tipo de agricultura debe llevarse a cabo mediante técnicas de cultivo que permitan que los daños causados por las plagas y enfermedades tengan poca importancia: variedades bien adaptadas al ambiente, un programa de abonado equilibrado, tierras fértiles con actividad biológica elevada, rotaciones correctas, asociación de cultivos, abonos verdes, etc.

En general se pueden utilizar preparados a base de plantas y minerales, principalmente los biodinámicos. En el *Tratado de agricultura ecológica* (Cánovas, 1993) podemos encontrar una larga lista de plagas y enfermedades que afectan a distintas plantas, con sus correspondientes métodos de control. Esta lista también incluye los insecticidas vegetales (rotenona, pelitre, etc.), así como los fungicidas a base de azufre y cobre contra el oidio y el mildiu respectivamente, todos ellos reflejados en el Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica.

En numerosas publicaciones (Enden, 1977; Philbrick, 1980; Primo Yúfera, 1991) se nos explica cuáles son los organismos causantes de las enfermedades, el comportamiento de

las plagas, los métodos de lucha existentes, siendo de gran interés, bajo mi punto de vista, el control mediante lucha biológica.

3.2.- Control por lucha biológica

Se pueden considerar tres apartados en la lucha biológica (Cabello, 1994):

a) Lucha biológica contra plagas. Es la manipulación deliberada por el hombre de parasitoides, depredadores o patógenos dentro del cultivo, proyectada para reducir la población de la plaga a un nivel de daños no perjudicial o de importancia económica.

b) Lucha biológica contra patógenos que causan enfermedades en los cultivos. Comprende cualquier tipo de reducción o descenso en el inóculo potencial de un patógeno por medio de la acción directa o indirecta de otros agentes biológicos.

c) Lucha biológica contra las adventicias de los cultivos. Se trata de la utilización por el hombre de fitófagos o patógenos para reducir las poblaciones de adventicias dentro de los cultivos.

Por otro lado el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos propone una definición global sobre el tema en cuestión: **La lucha biológica es la supresión de una plaga (en sentido amplio: plagas fitopatógenos y adventicias) con un agente biótico, excluyendo la mejora vegetal por resistencia a plagas, técnicas de esterilización y modificaciones químicas del comportamiento de plaga.**

Otra definición es la de la O.I.L.B. (Organización Internacional para la Lucha Biológica) que dice: *el control biológico es la utilización de organismos vivos o de sus productos, para impedir o reducir (no eliminar) las pérdidas o daños ocasionados por los organismos nocivos.*

En el control biológico contra plagas se aprovechan los enemigos naturales para impedir el desequilibrio ecológico debido a las prácticas agrícolas que emplea la lucha química.

Tabla 6: comparación de las ventajas e inconvenientes entre la lucha biológica y la química contra plagas de los cultivos.

CARACTERÍSTICAS	LUCHA BIOLÓGICA	LUCHA QUÍMICA
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	NINGUNA	CONSIDERABLE
EFFECTOS SOBRE EL CONTROL NATURAL	NINGUNO	COMÚN
PERSISTENCIA DEL CONTROL	PERMANENTE/TEMPORAL	TEMPORAL
DESARROLLO DE RESISTENCIAS	MUY DIFÍCIL	COMÚN
COSTES DE I+D	BAJOS	MUY ALTOS
COSTES DE APLICACIÓN	BAJOS/ALTOS	BAJOS
EXTENSIÓN	DIFÍCIL	RÁPIDA
RESIDUOS EN	NINGUNO	POSIBLE

ALIMENTOS

Fuente: Cabello (1994).

Como técnicas o métodos utilizados en la actualidad según el profesor Ripolles Moles, tenemos (Cánovas Fernández, 1993):

3.2.1.- Utilización de microorganismos antagónicos

Se hace empleando generalmente bacterias y hongos para que reduzcan la actividad, la eficacia o la cantidad de inóculo del agente fitopatógeno mediante mecanismos como la antibiosis, la competencia, la predación o hiperparasitismo.

3.2.2.- Control biológico de artrópodos

3.2.2.1.- Uso de feromonas

Para el uso de estas sustancias tenemos distintas técnicas como: monitorización de poblaciones, capturas masivas, atracción y muerte, confusión, etc.

3.2.2.2.- Uso de reguladores de crecimiento de insectos

Los efectos que surgen del empleo de estas sustancias dependen del estado en que se encuentra el organismo de los insectos y de sus condiciones fisiológicas en el momento de la aplicación. Pueden ser:

- Inhibición del desarrollo de las larvas, de forma que no lleguen a realizar la ninfosis.
- Ruptura de la metamorfosis, impidiendo la emergencia de los adultos.
- Alteración del sistema reproductor y del metabolismo, induciendo incluso la diapausia o interrumpiéndola.

3.2.2.3.- Uso de microorganismos entomopatógenos

Utilizamos ciertos microorganismos que desencadenan enfermedades en los artrópodos y finalmente producen su muerte: virus, bacterias, hongos, nemátodos y protozoos.

3.2.2.4.- Uso de entomófagos

Se trata del uso de artrópodos parásitos o parasitoides de otros artrópodos que afectan negativamente a nuestros cultivos.

Destacan las superfamilias *Ichneumonoidea* y *Chalcidoidea*.

También se emplean lepidópteros, neurópteros, dípteros, coleópteros, hemípteros y arácnidos.

Los métodos utilizados son:

- Introducción de organismos exóticos.
- Incremento de enemigos naturales criados en cautividad.
 - Conservación y mejora de la acción de los enemigos naturales ya existentes.

I.- DESARROLLO HISTÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN DEL HUMUS EN EL SUELO

Las investigaciones acerca del humus comienzan realmente en la segunda mitad del siglo XVIII, y ya en 1761 aparece un libro de Walerius como el primer manual de química agronómica.

Otros científicos de la época iniciadores en esta investigación fueron: Lomonosov (1763), Achard (1786), Vauquelin (1797-98), etc. Komov describe en su "*Tratado sobre agricultura*" (1789) el papel del humus en la nutrición de la planta y la creación de un régimen hidro-físico favorable a ésta en el ambiente suelo.

El principio de las investigaciones sistemáticas de la naturaleza química de las sustancias húmicas se inicia en la primera mitad del siglo XIX.

Sprengel (1826, 1837), realiza las primeras descripciones detalladas y el análisis de ácido húmico. Así, al ácido húmico poco soluble en álcali lo llama "*carbón húmico*".

Berzelius, (1839) descubrió los ácidos crénico y apocrénico.

Mulder (1861-62), sistematizó las materias húmicas según el color y su solubilidad en agua y soluciones alcalinas.

A finales del siglo XIX se analiza la posibilidad de la asimilación directa por el vegetal de las sustancias húmicas y la participación de éstas en la nutrición de las plantas. Thaer (1809) tomó esta idea y Grando (1872-73) también la compartía pero con una interpretación distinta.

En esta época se consideraba que las materias húmicas eran completamente individuales, tal y como reveló Guerman ya en aquellos años cuando extrajo los ácidos húmicos de distintos suelos y turbas. Pero a pesar del descubrimiento del fenómeno de polimorfismo, este científico prefirió nombrarlos independientemente, con lo cual contribuyó, junto con la falta de nociones correctas sobre los agentes del proceso de formación de las sustancias húmicas y sobre el mecanismo de dicho proceso, a la confusión en la terminología.

Los descubrimientos de Pasteur fueron muy importantes para el desarrollo de la microbiología. De este modo, ya en el último cuarto del siglo pasado, se estableció que la formación del humus representa un ciclo biológico que se debe a la actividad de los seres vivos, tanto microorganismos como representantes del mundo animal. Los trabajos de Schloesing (1876, 1902), Kostichev (1886, 1889, 1890), Wollny (1886, 1897), Deherain (1884, 1888, 1896, 1902), etc., esclarecen la influencia que sobre estos procesos bioquímicos ejercen los parámetros de temperatura, humedad, aireación, etc.

En aquel periodo Dokuchaev y Kostichev asientan las bases de la Edafología y de la Agronomía y sus trabajos hasta hoy día conservan su importancia para la investigación del proceso de humificación de los restos vegetales.

Es en el siglo XX cuando verdaderamente se ponen de manifiesto las divergencias de principios en los puntos de vista sobre la naturaleza del humus del suelo.

Algunos investigadores consideraban las materias húmicas como un grupo de

compuestos naturales peculiares, cuya formación es debida a complejos procesos de transformación de restos orgánicos. Otros las tomaban por productos artificiales que se originaban al tratar el suelo con soluciones alcalinas, las cuales se emplean para la extracción de dichas materias.

El humus se consideraba sólo como una mezcla de compuestos orgánicos de naturaleza individual que son productos de descomposición de restos de origen animal y vegetal.

Los investigadores americanos Schreiner y Shorey (1908-1911) contribuyeron al desarrollo de este último punto de vista y extrajeron del suelo y del conjunto de materias húmicas una serie de compuestos orgánicos de naturaleza individual, pertenecientes a distintos grupos conocidos en la química orgánica (hidrocarburos, grasas, ácidos orgánicos, hidratos de carbono, compuestos orgánicos fosforados y nitrogenados y otros).

Por otro lado el científico sueco S. Oden (1919, 1922) sistematizó las materias húmicas propiamente dichas en cuatro grupos: carbón húmico, ácido húmico, ácido himatomelánico y fulvoácidos; a estos últimos los consideraba análogos a los ácidos crénico y apocrénico de Berzelius. Pero esta sistematización se hizo empleando los síntomas antiguos (diferencias en el color y relación a los disolventes agua, alcohol y álcali), que evidentemente eran insuficientes.

Posteriormente, Shmuk (1914-1930) considera los ácidos húmicos como parte más característica del humus y que éstos no eran compuestos de naturaleza individual, sino un grupo de sustancias con características comunes de estructura, lo cual se aproxima bastante a los conceptos actuales. También formuló el concepto de los ácidos húmicos como suspensiones altamente dispersas, que están como en el límite entre los coloides y cristaloides, pero que al mismo tiempo poseen una serie de síntomas típicos propios de las sustancias en estado coloidal: capacidad de precipitarse por los electrolitos, propiedades de adsorción, tendencia a hincharse, etc. Sus estudios sobre las formas del nitrógeno de los ácidos húmicos son destacables y cabe mencionar que este científico determinó los principales aminoácidos característicos de las sustancias proteicas. Shmuk consideraba que el nitrógeno del suelo es de origen secundario, ya que su fuente es el plasma de los microorganismos. Así, encontramos en la obra de Shmuk el desarrollo de la idea de Kostichev sobre la participación de elementos del plasma microbiano en la formación de las sustancias húmicas.

Kravkov (1906, 19088, 1911) estableció el gran papel de los compuestos orgánicos solubles en agua de los restos vegetales en los procesos de formación del suelo, en particular en los fenómenos de lixiviación de elementos minerales de los suelos y en la formación de sustancias húmicas. Esta idea fue desarrollada por Kravkov y otros en años posteriores (Kravkov, 1938).

Un discípulo de Kravkov, Trusov (1914,1916), llegó a la conclusión de que como fuente de humus pueden servir distintas sustancias vegetales y los compuestos que se utilizan con facilidad por los microorganismos (celulosa, hemicelulosas, mono y disacáridos, ácidos orgánicos, y otros) son fuentes indirectas que participan en la formación de sustancias húmicas, atravesando el estadio de formación previa a plasma de microorganismos.

Otras sustancias vegetales más resistentes a la acción de los microorganismos (predominantemente de estructura aromática: lignina, taninos, aminoácidos de naturaleza aromática), son fuente directa de las materias húmicas. Trusov representa su transformación en sustancias húmicas, formulando la tesis sobre los procesos de

dirección opuesta, de descomposición-síntesis, que son la base de la formación del humus en conjunto. Estas ideas están ahora demostradas experimentalmente y sirven de fundamento de los conceptos actuales de la bioquímica del proceso de formación del humus.

Los trabajos de Williams sobre el humus del suelo (1897, 1902, 1914, 1939), hacían pensar que el cultivo de las hierbas vivaces era uno de los procedimientos principales para elevar la fertilidad del suelo, basando la utilidad de dicho procedimiento preferentemente en la formación de una estructura resistente al agua, que garantiza la creación de condiciones de régimen nutricional e hidro-aéreo óptimas para la planta.

Waksman en sus investigaciones (1926, 1927, 1929, 1930, 1931, 1932, 1933) llegó a la conclusión de que las sustancias de fácil descomposición (celulosa, hidratos de carbono simples y otros) juegan un papel insignificante en la formación del humus; la fuente principal de las sustancias húmicas son, en primer lugar, lignina de los tejidos vegetales y, en segundo, las proteínas resintetizadas en forma de plasma microbiano.

Sin embargo, ya en los años treinta, algunos científicos, Sringer (1934, 1935), Tyurin (1937), y otros, se manifestaron a través de la prensa indicando que no tenía fundamento la negación de Waksman de la presencia en el suelo de sustancias húmicas propiamente dichas, de cuyo contenido, composición y naturaleza depende la particularidad de la fracción orgánica de los diferentes suelos.

En la antigua Unión Soviética, Tyurin realizó los esquemas de análisis de la composición del humus que incluían la determinación de sustancias específicas de suelos: ácidos húmicos, fulvoácidos y huminas. La aplicación de estos esquemas permitió revelar las diferencias características en la composición del humus de los principales tipos y subtipos de suelos.

No se confirmó la idea sobre la lignina como fuente principal de los ácidos húmicos; en muchos trabajos fue establecida la posibilidad de su formación por descomposición de distintas sustancias vegetales, igual que a cuenta de los productos de la actividad vital y metabolismo de los microorganismos (Soroquina y Tiani-Riadno, 1933; Mishustin, 1938; Guelster, 1940; Ripel, 1935).

En los años anteriores a la guerra, la concepción de Waksman sobre la composición del humus del suelo y el mecanismo de formación de las materias húmicas había perdido en gran medida la importancia.

Después de la Segunda Guerra Mundial aparecen un gran número de obras sobre el estudio de las materias húmicas. La aplicación de nuevos métodos (químicos, análisis roetgenoestructural, microscopía electrónica, distintos tipos de cromatografía y espectroscopía) aumentan las posibilidades del estudio profundo de la naturaleza y estructura de estas materias.

La existencia de las sustancias húmicas como compuestos naturales se demuestra gracias a la posibilidad de extraer las sustancias húmicas de restos vegetales humificados en forma de soluciones acuosas y de suelos, mediante procedimientos suaves.

Así, se descubre la compleja estructura de las materias húmicas, en la que entran a formar parte moléculas constituidas por diversas unidades estructurales, entre las que destacan los compuestos aromáticos de carácter fenólico y compuestos nitrogenados,

tanto cíclicos como alifáticos. Pero a pesar de esta diversidad, los distintos representantes de las sustancias húmicas conservan principios semejantes de estructura.

En los distintos suelos, las reservas de humus, la composición de las materias húmicas, y su naturaleza, son considerablemente distintas.

Mediante estudios comparativos se estableció que el proceso de formación del humus está determinado por el complejo de condiciones del medio suelo, y se concretó el papel de las sustancias húmicas en relación con cada uno de los suelos.

Continuando con el estudio de las materias húmicas de naturaleza individual, se vislumbró su participación en la nutrición vegetal, así como en la erosión de minerales y rocas, en la formación del podsol, y otros procesos.

También atrajeron la atención cuestiones relacionadas con el origen de las sustancias húmicas y el mecanismo de su formación llegando a la conclusión de que la formación de estas sustancias se debe a transformaciones complejas de los restos orgánicos iniciales de origen animal y vegetal, y que tanto las sustancias vegetales aprovechadas en mayor o menor grado por los microorganismos, pueden ser fuentes originarias de unidades estructurales, de las cuales se forman las moléculas de las sustancias húmicas. Además como unidades estructurales pueden servir no sólo los productos de descomposición de los restos orgánicos, sino también los productos del metabolismo y resíntesis de los microorganismos. El papel más importante en la condensación de las unidades estructurales pertenece a los fermentos oxidantes de origen microbiano.

En los últimos años se desarrolla intensamente el apartado referente a la participación de las sustancias orgánicas del suelo en los procesos fisiológicos y bioquímicos de la planta. Se ha establecido la posibilidad de ingreso de sustancias húmicas y de algunos compuestos orgánicos de naturaleza individual en la planta, donde se incorporan a los procesos de respiración y metabolismo, elevando el "tonus vital" del organismo vegetal. Esto último contribuye a intensificar el consumo de elementos nutritivos del suelo de los fertilizantes aportados y, en definitiva, asegura un mejor desarrollo de la planta. De este modo, creando con ayuda de la materia orgánica un fondo biológicamente activo, el hombre tiene la posibilidad de intervenir en el metabolismo de la planta, teniendo como fin la elevación de la productividad.

II.- NATURALEZA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

1.- INTRODUCCIÓN

Toda la variedad de sustancias orgánicas del suelo puede ser sistematizada en dos grupos fundamentales: las materias orgánicas de naturaleza individual y las sustancias húmicas propiamente dichas.

El primer grupo está formado por restos orgánicos, y representa los productos de su descomposición o los productos de la actividad vital (metabolismo y resíntesis) de la población viva (proteínas y aminoácidos, hidratos de carbono simples y compuestos, ácidos orgánicos de distinta naturaleza, ceras, resinas, ligninas y otros). En suma los compuestos orgánicos de naturaleza individual constituyen en los suelos minerales aproximadamente el 10-15% de la reserva total de materia orgánica.

El segundo grupo constituye la porción principal de la parte orgánica del suelo, es decir hasta el 85-95 % de la reserva total de humus.

1.1- Sustancias orgánicas del suelo de naturaleza individual

El estudio de su naturaleza comenzó ya en las primeras décadas de nuestro siglo. Así la lista hacia los años treinta, según los trabajos de A.A. Shmuk (1930) y Maiwald (1931), incluía los siguientes compuestos:

- Hidratos de carbono.
- Hidrocarburos.
- Ácidos orgánicos de la serie alifática y sus ésteres.
- Alcoholes.
- Ésteres.
- Aldehídos.
- Resinas.
- Compuestos nitrogenados.

En la actualidad se nota un evidente interés hacia el estudio de este tipo de sustancias, gracias sobre todo a la aplicación de nuevos métodos de investigación, que permiten descubrir e identificar sustancias en pequeñas cantidades, ya que sus funciones se presentan esencialmente a pequeñas dosis.

1.2.- Sustancias húmicas del suelo propiamente dichas

Las sustancias húmicas constituyen el complejo de compuestos orgánicos de color marrón, pardo y amarillo, que se extrae del suelo por soluciones de álcalis, sales neutras y disolventes orgánicos (Kononova, 1983).

La mayor parte de las sustancias húmicas se encuentran unidas de distintas formas con la parte mineral del suelo, quedando tan sólo una pequeña fracción en estado libre, por tanto, para pasar a estado soluble es preciso destruir esta unión.

La extracción del suelo de las sustancias húmicas en la actualidad se lleva a cabo con el empleo de diversos disolventes. Las sales neutras de los ácidos minerales, en particular el pirofosfato de sodio, al igual que algunas sales neutras de los ácidos orgánicos, se utilizan con este fin en base a la capacidad que tienen para formar precipitados insolubles o complejos solubles con el calcio, hierro, aluminio y otros cationes polivalentes, con los cuales están unidas en el suelo. Así, como resultado de dichas reacciones, éstas pasan a estado soluble. Pero a pesar de este hecho, con las soluciones citadas se extrae menos materia orgánica que con soluciones de álcalis.

1.2.1.- Ácidos húmicos del suelo

En el grupo de los ácidos húmicos están englobadas las materias que se extraen del suelo por disolventes (NaOH, KOH, NH_4OH , Na_2HCO_3 , $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, NaF, oxalato sódico,

urea, y otros), y que al acidificar con ácidos minerales, se precipitan de las soluciones obtenidas en forma de un gel oscuro (Kononova, 1983).

A pesar de la diversidad de los ácidos húmicos de distintos suelos, turbas, restos vegetales en descomposición, conservan unos principios de estructura muy semejantes.

1.2.1.1.- Naturaleza química de los ácidos húmicos

Los ácidos húmicos tienen una naturaleza muy particular, muy distinta a la de cualquier sustancia vegetal.

1.2.1.2.- Núcleo aromático de los ácidos húmicos

Sobre la naturaleza aromática de los ácidos húmicos de suelos y turbas hablan los datos obtenidos con ayuda de espectroscopía infrarroja.

En el estudio comparativo de distintos suelos, los autores registran un mismo tipo de carácter de espectros infrarrojos, lo que puede servir de indicación de la similitud de constitución de estos ácidos.

A la par con los ácidos húmicos de naturaleza aromática, hay sin duda en el suelo representantes de este grupo con núcleo aromático no manifiesto privados de tal; a ellos pertenecen las melanoidinas.

1.2.1.3.- Nitrógeno de los ácidos húmicos

En la actualidad el nitrógeno se considera como parte constitucional de las moléculas de los ácidos húmicos y su contenido es del 3,5-5,0 %.

Una parte del nitrógeno, aproximadamente la mitad, pasa a la solución en el caso de producirse una hidrólisis ácida; esta parte está representada por amidas, mono y diaminoácidos, cuya relación resultó ser característica para las proteínas de origen animal y vegetal.

La mayoría de los autores señalan que el contenido de aminoácidos de los ácidos húmicos de distintos suelos, es en general homogéneo, aunque la capacidad de hidrolizar el nitrógeno en los diferentes ácidos húmicos es distinta.

La situación del nitrógeno en las moléculas de las sustancias húmicas es muy importante, ya que determina en cierta medida la accesibilidad de éste a los microorganismos.

1.2.1.4.- Grupos funcionales y otros de los ácidos húmicos

Los grupos funcionales característicos de los ácidos húmicos son los carboxilos e hidroxilos fenólicos, cuyo hidrógeno es susceptible a las reacciones de sustitución. Por la presencia de estos grupos se determinan las propiedades ácidas y la capacidad de cambio de los ácidos húmicos. Para determinar la cantidad de estos grupos funcionales, habrá que considerar la naturaleza de dichos ácidos, así como los métodos empleados en su determinación.

Los ácidos húmicos son ácidos orgánicos polibásicos de débil disociación, que tienen el punto de equivalencia a pH cerca de 8,0-9,0, como indica el carácter de las curvas que se obtienen en la valoración potenciométrica.

Aparte de los grupos carboxilos, fenólicos y alcohólicos, hay en los ácidos húmicos grupos metoxilos OCH_3 , cuya cantidad en los distintos representantes es oscilante. Se ha

constatado que el contenido de los grupos metoxilos es mayor en los representantes menos "maduros" (6-8 %) y menor en los ácidos húmicos ya formados (1-2 %).

Sobre la presencia en los ácidos húmicos de la agrupación $-\text{CH}=\text{CH}-$, hablaban ya Mulder y Schmuk (1924), basándose para ello en una ligera cloración. La presencia de los grupos carbonilos ($\text{C}=\text{O}$) en los ácidos húmicos fue establecida por una serie de trabajos. Por métodos químicos su presencia fue demostrada por muchos investigadores, por ejemplo Ubaldini (1937), Sragunov y coautores (1948), Kujarenko (1950). En los últimos años, la presencia de los grupos carbonilos en los ácidos húmicos fue registrada, mediante espectroscopía infrarroja, por Kasatchkin, Zilberbrand (1956), Ziechmann y pawelke (1959), Orlow y coautores (1963), y otros.

1.2.1.5.- Composición elemental de los ácidos húmicos

La determinación del carbono e hidrógeno contenidos en los ácidos húmicos extraídos de distintos tipos de suelos, se efectuaba por el método de microanálisis, del nitrógeno, según Kjeldhal, mientras que el oxígeno se calculaba por diferencia. Los cálculos están efectuados sobre materia absolutamente seca, sin cenizas. El porcentaje de cenizas en los ácidos húmicos era de 3-4 y en los fúlvicos de 7-10. Este alto porcentaje en los ácidos fúlvicos señala la existencia de firmes uniones (posiblemente intracomplejas) con metales que sustituyen al hidrógeno, por lo cual, el contenido de este último puede resultar rebajado.

El porcentaje de carbono en los ácidos húmicos aumenta regularmente de los suelos podsol al suelo gris oscuro forestal y al chernozom; un descenso de esta magnitud se observa en los ácidos húmicos del suelo castaño y sierozem. Relación inversa se registra en el porcentaje del contenido de hidrógeno. Según estos datos, cambia claramente la relación C:H en la composición elemental de los ácidos húmicos.

De la experiencia de los investigadores en el dominio de los ácidos húmicos de carbones fósiles y turbas, se deduce que la relación C:H aumenta en el proceso de formación del carbón y refleja el grado de condensación de las rejillas del carbono aromático en la molécula.

Kumada (1955), indica que a medida que transcurre la "maduración" de los ácidos húmicos, aumenta el porcentaje de carbono y, al mismo tiempo, disminuye el de hidrógeno y nitrógeno.

Sin embargo, debemos señalar que las variaciones regulares del contenido elemental de los ácidos húmicos se logran determinar sólo para suelos acusadamente diferentes por su génesis.

1.2.1.6.- Principios de estructura de las moléculas de los ácidos húmicos

Actualmente se sabe que los ácidos húmicos son compuestos polímeros, y que por tanto están constituidos por monómeros, que a su vez están formados por otras unidades estructurales. Entre las unidades citadas, destacan los compuestos aromáticos de tipo fenólicos y nitrogenados, tanto cíclicos (indol, pirimidina, purinas y otros), como aminoácidos alifáticos.

Los compuestos aromáticos de tipo fenólico constituyen la rejilla de carbono de la molécula de ácido húmico; la presencia de puentes, que unen el sistema de anillos, proporcionan a la rejilla una estructura porosa, "esponjosa". Sirven de puentes, átomos aislados ($-\text{O}-$, $-\text{N}=\text{O}$) o agrupaciones elementales ($-\text{NH}-$, $-\text{CH}_2-$). El enlace puede efectuarse también directamente a través del carbono.

En lo que se refiere al peso molecular de los ácidos húmicos, aparecen ciertos problemas en su determinación debido a la inhomogeneidad propia de los polímeros. Por eso los índices obtenidos por distintos autores dependen mucho de las condiciones en que se efectúa la determinación y, en particular, de la desagregación de las partículas de los ácidos húmicos que se alcanzan empleando un disolvente u otro.

Mediante las técnicas de osmometría, crioscopía, viscosimetría y el método de difusión, se han obtenido valores de peso molecular de los ácidos húmicos que oscilan entre 700 y 1400. Sin embargo, los datos obtenidos por ultracentrifugación hablan de magnitudes del orden de 30 a 50 mil. Así que son deseables futuras investigaciones en este sentido para resolver el problema sobre el grado de polimerización de las moléculas de estos ácidos.

En cuanto a la polémica referente a la estructura amorfa o cristalina de los ácidos húmicos, actualmente ya no existen dudas, ya que se ha demostrado convincentemente la estructura amorfa de dichos ácidos.

El contenido de las moléculas de ácidos húmicos, según análisis por difracción (análisis roentgeno-estructural) es el siguiente:

- Rejillas atómicas de carbono aromático.

- Carbono no organizado en rejillas aromáticas que entra en la composición de los radicales laterales (cadenas).

La forma de las moléculas de la materia orgánica juega un importante papel en la formación de la estructura del suelo. Así, existe la opinión de que las sustancias de forma lineal (por ejemplo, los ácidos poliurónicos de la mucosidad bacteriana), participan más activamente en dicho proceso que los ácidos húmicos, cuyas moléculas tienen forma esférica.

Las moléculas de los ácidos húmicos no son compactas, sino que poseen una estructura blanda "esponjosa", con multitud de poros internos. Estos grados de estructura determinan de forma significativa su capacidad de retención de agua y sus propiedades de sorción. De este modo, la *hidrofilia* depende de la proporción de rejillas aromáticas del carbono en las moléculas, ya que poseen propiedades hidrófobas, y de los radicales laterales, portadores de los grupos hidrófilos. También la presencia de grupos hidrófilos determina la tendencia de las materias orgánicas a formar compuestos intracomplejos (quelatos) con cationes polivalentes.

II.- NATURALEZA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

1.2.2.- Fulvoácidos (crénico y apocrénico) del humus del suelo

La noción sobre los ácidos crénico y apocrénico fue introducida en la primera mitad del siglo XIX por Berzelius, quién los consideraba como sustancias completamente independientes.

El término "fulvoácidos" para el crénico y el apocrénico fue introducido por Oden, en cuya descripción los fulvoácidos se distinguen de los ácidos húmicos por su coloración más clara, por el contenido relativamente bajo en carbono (menos del 55 %), y por su buena solubilidad en agua, alcohol, álcalis y ácidos minerales. Pero por su naturaleza confusa, el papel de los fulvoácidos no fue estudiado hasta los años treinta, estableciendo su relación con el proceso de formación del podsol. Así que es en los años cuarenta cuando su

estudio es retomado por Tyurin (1940), y más tarde por Panomareva (1947, 1949), quienes extrajeron estos ácidos de suelos, y obtuvieron datos que caracterizan su naturaleza, propiedades y papel en el desarrollo del proceso de formación del podsol.

Según los datos de estos científicos, los fulvoácidos pertenecen al grupo de los ácidos hidroxicarboxílicos, y en la hidrólisis ácida forman sustancias reductoras y furfural. Los fulvácidos tienen alta capacidad de cambio (hasta 700 meq por 100 g de sustancia). Actúan destructivamente sobre los minerales; son propensos a formar compuestos complejos con R_2O_3 , que poseen gran movilidad.

Por tanto parece ser, que ya no existían dudas sobre los fulvoácidos como grupo independiente de materias húmicas con propiedades distintas a las de los ácidos húmicos. Pero, en los últimos años, se están acumulando materiales que obligan a volver de nuevo al problema de la posición de los fulvoácidos en el sistema de materias húmicas. La dificultad en la solución de este problema consiste en que muchos autores, incluso hasta hace muy poco, englobaban en el concepto "fulvoácidos" todas las sustancias orgánicas de la solución ácida que quedaban después de precipitar los ácidos húmicos del extracto.

El contenido de este grupo de materias resulta ser muy variado; aparte de los fulvoácidos propiamente dichos, se han descubierto hidratos de carbono, glucósidos, sustancias de naturaleza fenólica, ácidos urónicos y ácidos orgánicos nitrogenados.

Los trabajos en los que se estudiaban los fulvoácidos extraídos preparativamente, presentan un mayor interés. Así, Drosdova (1955) extrajo estas sustancias a partir de turba, de suelo podsólico y, mediante cromatografía sobre carbón, descubrió en su contenido compuestos de naturaleza aromática. Por procedimiento análogo, Kujarencó y Wedenskaya (1959) estudiaron la naturaleza de los fulvoácidos extraídos de carbones pardos y turba; llegaron a la conclusión de que estos ácidos poseen estructura aromática, contienen grupos metoxilos, carbonilos e hidroxilos fenólicos, es decir, los mismos grupos que son característicos para los ácidos húmicos.

Los datos obtenidos posteriormente mediante espectroscopía infrarroja, dan testimonio de la presencia de elementos de naturaleza aromática en los fulvoácidos.

Sobre la baja "aromatización" de los fulvoácidos hablan los datos de la composición elemental, en la cuál el porcentaje de carbono es significativamente más bajo y el de hidrógeno supera el de los ácidos húmicos.

Los ácidos fúlvicos, al igual que los húmicos, contienen nitrógeno. Bremner (1954), al hidrolizarlos con HCl 6N, encontró que el 20-30 % de su nitrógeno pasa a la solución, en la que descubrió diversidad de aminoácidos; este nitrógeno presenta gran movilidad.

En la composición de los fulvoácidos hay aminoazúcares. Así pues, contienen sustancias reductoras y, posiblemente en cantidades mayores que los ácidos húmicos, aproximadamente entre un 20-25 %.

Para concretar diré que, los fulvoácidos, poseyendo en esencia unidades estructurales similares a las de los ácidos húmicos, se caracterizan por la presencia de una fracción nuclear poco pronunciada (rejillas aromáticas del carbono) con predominio de cadenas laterales. Esto da fundamento para considerarlos como los representantes menos "maduros" del grupo de los ácidos húmicos.

Las tesis sobre la relación entre los grupos de los ácidos húmicos y los fulvoácidos deriva de trabajos más tempranos, y en la actualidad encuentra cada vez mayor aceptación.

En los trabajos de Scheffer y Welter (1950), Laatsch (1944, 1948), Schlichting (1953), se expone una serie de ejemplos que ilustran la posibilidad de adquisición por los ácidos húmicos de síntomas característicos para los fulvoácidos.

Las investigaciones de Freytag (1955, 1961), Mistersky y Loguinova (1959), y de Nikolaeva (1958, 1959), hablan sobre la transición de los ácidos húmicos a fulvoácidos y viceversa a causa del cambio de su estado químico coloidal.

Las propiedades comunes de los ácidos húmicos y fulvoácidos son inhomogeneidad y posibilidad de separación en una serie de fracciones por distintos procedimientos (mediante precipitación fraccionada por ácidos y soluciones buffer, métodos de ultracentrifugación, electroforesis y cromatografía). L.N. Aleksandrova (1949), obtuvo estas fracciones, y vió que se distinguían por el contenido elemental, capacidad de cambio, y por la relación a los electrolitos.

Trás éstos y otros trabajos, se puede hablar de la ausencia de una identidad completa de la naturaleza y propiedades de los ácidos húmicos en distintos suelos, y del "cierre" de su fila con los fulvoácidos. Es indudable que los representantes del primer grupo, próximos por naturaleza a los fulvoácidos, tienen también algo común en las funciones que determinan su participación en los procesos del suelo. A juzgar por los índices, los ácidos húmicos en los suelos fuertemente podsólicos son los más próximos por sus funciones a los fulvoácidos.

1.2.3.- Huminas del humus y carbones húmicos del suelo

Bajo el término de huminas se engloba el grupo de sustancias que no se extraen con soluciones alcalinas, de un suelo descalcificado (incluso por tratamientos múltiples).

La pérdida por los ácidos húmicos de la capacidad de disolverse en álcalis en las condiciones del suelo, puede ser el resultado de la alteración de las propiedades químico-coloidales, provocada por la desecación y congelación y, también, por interacción de los ácidos húmicos con la parte mineral del suelo.

Al estudio de la naturaleza de las huminas del suelo están dedicadas detalladas investigaciones de Tyurin y Gutkina (1940), Jan (1945) (1946) (1950), Zyrin (1948), Naydenova (1951). Ellos han demostrado que, si el residuo de suelo, después de la extracción de los ácidos húmicos solubles en álcali, se trata con H_2SO_4 , HNO_3 o HF, para romper los enlaces de las sustancias húmicas con silicatos, después de este residuo, que contiene huminas, al tratar con soluciones alcalinas se extraen de nuevo ácidos húmicos.

Los ácidos húmicos extraídos de huminas tienen un porcentaje de carbono algo menor, y mayor el de oxígeno e hidrógeno, en comparación con los ácidos húmicos extraídos del suelo descalcificado; poseen también menor capacidad de absorción. Probablemente los ácidos húmicos extraídos de huminas son por su naturaleza menos complejos.

De la revisión de los trabajos mencionados, se deduce que las huminas del humus del suelo representan en sí ácidos húmicos, en general muy próximos a los ácidos húmicos extraídos del suelo después de su descalcificación, y la pérdida de su capacidad para

disolverse en álcali se explica no tanto por el cambio de naturaleza de los ácidos húmicos, como por la firmeza de su unión con la parte mineral del suelo. Más sólidamente unidos están los ácidos húmicos con los minerales arcillosos del grupo montmorillonita.

Sin embargo, no en todos los casos el grupo de las sustancias orgánicas denominado "huminas" está representado por ácidos húmicos. Así, en los suelos turbosos o en los horizontes de césped, éste puede contener gran mezcla de restos vegetales que no están del todo humificados. En los sierozem las huminas están representadas en grado significativo por melaninas, procedentes del plasma de microorganismos, que están presentes en estos suelos en grandes cantidades.

Una forma particular son los restos vegetales carbonizados, presentes en mayor o menor proporción en todos los suelos. Najmr (1960) los descubrió en tierras de laboreo y pratenses de Checoslovaquia, y determinó que la alteración de un humedecimiento excesivo y desecación favorecen la carbonización de los restos vegetales. A través del estudio de los carbones húmicos, extraídos de los principales tipos de suelos (chernozom, burozem centroeuropeo, y suelos podsolizados), Najmr consiguió distinguir cuatro estadios esenciales de la masa carbonizada, que se caracterizan por una gradual disminución del contenido de carbón e incremento del de cenizas, lo cual va acompañado de la desaparición de síntomas de tejidos vegetales.

Los carbones húmicos son inclusiones inertes que no participan directamente en los procesos del suelo.

1.2.4.- Ácidos himatomelánicos

Los ácidos himatomelánicos no son un grupo independiente de materias húmicas, sino la fracción soluble en alcohol de los ácidos húmicos (Kononova, 1983). Por tanto, el problema del humus del suelo, a pesar de una serie de indiscutibles éxitos, tiene aún muchos puntos confusos.

Los materiales existentes permiten trazar únicamente los principios generales de las estructuras de las materias; sin embargo, es un problema extraordinariamente importante establecer las particularidades de su estructura, determinadas por las condiciones concretas del suelo. La necesidad del estudio de la naturaleza de las sustancias húmicas del suelo, se dicta en este aspecto por el hecho de que con las diferentes naturalezas de los representantes de un mismo grupo (ácidos húmicos), están relacionadas las diferencias de sus propiedades y, correspondientemente, el distinto papel en los procesos del suelo.

II.- NATURALEZA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

2.- BIOQUÍMICA DEL PROCESO DE FORMACIÓN DEL HUMUS

La fuente principal de materias húmicas del suelo son los restos orgánicos de origen vegetal y animal.

En el suelo los restos orgánicos se someten a cambios por los procesos, por ejemplo, de oxidación parcial e hidrólisis de las sustancias orgánicas de que están formados (hidratos de carbono, taninos, grasas, etc.), lo cual es posible por la acción del agua, luz, aire y reacción ácida o básica del suelo. Algunos cambios se operan bajo la influencia de los fermentos de los tejidos, cuya acción en las plantas muertas adquiere un carácter unilateral, oxidante, lo que contribuye a la formación de productos de condensación de

tinte oscuro.

Sin embargo, los responsables del proceso de humificación de los restos orgánicos son en total los microorganismos y animales que habitan en el suelo. Sólo como resultado de la actividad de los más diversos representantes de la microflora y fauna que transforman los restos orgánicos, se efectúa este proceso de importancia excepcional en el ciclo total de materias en la naturaleza en el proceso de formación del suelo y su fertilidad.

2.1.- Modificación de la composición química de los restos vegetales

La composición química de los restos orgánicos, así como las condiciones del medio suelo, son determinantes en el proceso de humificación, ya que influyen en la actividad de los microorganismos.

Tabla 11: composición química aproximada de organismos vegetales superiores inferiores (en % del peso seco).

Objeto de estudio	Ceras grasas resinas	Proteínas	Celulosa	Hemicelulosas hidratos y carbohidratos	Lignina
Hierbas leguminosas vivaces:					
Raíces	10-12	10-15	20-25	25-30	10-15
Hojas	-	12-20	15	10-12	5
Hierbas gramíneas vivaces					
	5-12	5-10	25-30	25-30	15-20
Árboles de hoja ancha:					
Hojas	3-5	4-10	15-25	10-20	10
Madera	-	0,5-1	40-50	20-30	20-25
Coníferas:					
Hojas	20-25	5-7	20	15-20	15
Madera	-	0,1-1	45-50	15-25	25-30
Musgos	-	5-10	15-25	30-60	No hay
Líquenes	-	3-5	5-10	60-80	8-10
Algas	-	10-15	5-10	50-60	No hay
Bacterias	-	40-70	No hay	Mucosidad	

Fuente: Kononova (1982).

Los organismos vegetales contienen en general los mismos grupos de sustancias (ceras, grasas, resinas, proteínas, carbohidratos simples y compuestos, lignina y otras), a pesar de lo cual, la proporción de estos componentes influye considerablemente en la velocidad de humificación. En la siguiente tabla se exponen los datos de la composición química de los organismos vegetales superiores e inferiores.

Lo que más rápidamente se descompone es el almidón, así como la celulosa; las pérdidas

menores de hemicelulosa y proteínas pueden atribuirse a una síntesis secundaria en forma de plasma de los microorganismos que participan en el proceso de descomposición. La reducción insignificante de la cantidad de lignina es el resultado de su relativa resistencia a la acción de los microorganismos.

La descomposición de los líquenes y, sobre todo, de musgos, transcurre bastante despacio. Posiblemente, la causa sea el elevado contenido de hemicelulosas en la composición de estas plantas y, en particular, de ácidos urónicos, resistentes a la descomposición.

Tabla 12: modificación de la composición química de los restos vegetales en el proceso de humificación.

Objeto de estudio	Peso (g)	Sust. extrad. por alcohol-benzol	Almidón	Hemicel	Celulosa	Resid. de lignina	Prot
Hojas de trébol	100 ¹	23,07 ³	3,00	8,07	15,4	4,29	21,67
	27,52 ²	18,6 ⁴	No hay	18,8	23,5	100	43,5
Raíces de alfalfa	100	11,24	17,75	11,94	20,97	8,61	13,31
	25,2	5,7	2,1	28,4	17,8	97,1	39,1
Raíces de <i>Agropyrum Tenerum</i>	100	6,97	No hay	22,86	25,49	18,43	7,94
	52,4	25,2		40,6	33,0	92,1	37,6
Agujas de pino	100	24,47	No hay	12,68	27,59	15,05	6,67
	34,9	11,9		37,4	12,7	86,03	No determinado

Fuente: Kononova (1982).

1 Muestra tomada para el ensayo.

2 Peso de la masa humificada que quedó al finalizar el ensayo.

3 Contenido de sustancias en los restos vegetales frescos (en % de materia seca, sin cenizas).

4 Contenido de sustancias en el material humificado (en % de la cantidad inicial).

A juzgar por la pérdida de peso (tabla 12), al humificarse los restos de vegetación herbácea, de hojas y de pinaza, se produce la mineralización completa de gran parte de sustancias húmicas que entran en su composición; ésta alcanza el 50-75 % del peso inicial. Estas cifras sirven de base para suponer que la cantidad de sustancias húmicas que pueden formarse en el proceso de humificación constituyen sólo el 50-25 % del peso inicial de los restos vegetales. En otras palabras, el coeficiente de humificación para la vegetación herbácea puede ser tomado igual a 0,5-0,25.

La humificación de los restos de vegetación herbácea se verifica por una compleja asociación de microorganismos:

- Al principio se desarrollan preferentemente los grupos de bacterias no esporógenas,

como son muchas de las mucilaginosas y mohos que consumen las materias orgánicas más asequibles como mono y disacáridos, aminoácidos y proteínas.

- Posteriormente estos grupos de microbios se sustituyen por bacterias esporógenas, las cuales pueden aprovechar compuestos más complejos. En el momento de la desaparición de las bacterias no esporógenas, se registra un desarrollo intenso de bacterias que descomponen la celulosa.

- Al final del proceso, se observa en el material humificado un abundante desarrollo de actinomicetos, los cuales, por lo visto, no sólo aprovechan los componentes estables de los restos vegetales, sino también las sustancias húmicas recién formadas.

2.2- Descomposición de las sustancias húmicas por microorganismos

La aparición de hongos y colonias de microorganismos sobre el gel de los ácidos húmicos, al igual que en las soluciones de humatos y fulvatos, reflejan que, a pesar de la compleja estructura de las sustancias húmicas, éstas pueden ser utilizadas por los microorganismos.

En muchos de los trabajos relacionados con el estudio de la función de los microorganismos en la descomposición de las sustancias húmicas, tan sólo se aprecia el aprovechamiento de las impurezas de dichas sustancias por la microfauna del suelo, o bien de sus cadenas laterales. Sin embargo, actualmente se sabe que también pueden utilizar los compuestos de naturaleza aromática.

La descomposición de las sustancias húmicas en el medio suelo está condicionada por dos factores:

- En primer lugar, dichas sustancias están presentes no en forma de preparados purificados, sino en mezcla con otras materias orgánicas, entre ellas las que se descomponen fácilmente por los microorganismos.

- En segundo lugar, las sustancias húmicas se someten en el suelo a la acción de asociaciones de microorganismos, con gran diversidad de funciones inherentes. En la actualidad, una serie de trabajos hablan sobre la elevación de la intensidad de descomposición de las sustancias húmicas al añadir compuestos orgánicos que se movilizan con facilidad por los microorganismos. Este hecho es de gran importancia en las condiciones del medio suelo, sobre todo cuando existe en éste una gran reserva de material orgánico inerte (por ejemplo, en turbas, cherniziom).

2.3.- Papel de los animales en las transformaciones de las sustancias orgánicas del suelo

La inmensa importancia de la actividad de diversos representantes del mundo animal en el suelo se conoció después de las excelentes investigaciones de Charles Darwin sobre las lombrices de tierra y, de la obra de Müller (1887), Ramann (1888), pertenecientes a la segunda mitad del siglo XIX, período en el que se estableció la tendencia biológica en el estudio del humus del suelo.

La acción de mullir el suelo, el transporte de los restos orgánicos dentro de los límites del perfil y fuera de él, la redistribución de las reservas de sales, el desmenuzamiento y transformación del material humificado, la creación de una estructura hidrorresistente, toman parte activa en todos estos procesos los distintos representantes de la macro,

meso y microfauna. A ellos pertenecen ácaros, colémbolos, enquitreidos, lombrices, cochinillas de la humedad, arácnidos, insectos, babosas, caracoles, nematodos, turbelarios, y otros invertebrados. De los vertebrados, juegan un importante papel en el suelo los roedores, topos y otros animales.

Por la actividad de la fauna se determina en cierta medida la naturaleza del humus del suelo. El humus grueso, mool, se forma en condiciones de humedad excesiva y con reacción ácida del suelo que obstaculiza la actividad de los animales. Por el contrario, en condiciones de reacción neutra y humedad moderada, los animales transforman los restos vegetales intensamente, favoreciendo la formación del mull.

La labor de los insectos en el desmenuzamiento del material vegetal se ha puesto de manifiesto en gran número de investigaciones, pero no es menos importante su papel en la maduración del estiércol, así como en la preparación de todo género de composts, en particular de composts de desperdicios de las poblaciones. El desmenuzamiento de los restos orgánicos gruesos y su transformación en una masa porosa movediza sucede por la participación activa de los animales.

Sin embargo, no hay ningún fundamento para limitar el papel de los animales sólo al desmenuzamiento del material vegetal y su entremezclado con la tierra. Cada vez se acumulan más datos que indican que en el intestino de los animales el material vegetal sufre una transformación, gracias a la presencia de microorganismos y fermentos.

Por otro lado, es también en el intestino de los animales donde se pueden formar sustancias húmicas, al interactuar los productos de descomposición de la lignina y de los compuestos orgánicos nitrogenados que forman parte de los restos vegetales que se están digiriendo. A la condensación de estos componentes contribuyen los fermentos de tipo fenoloxidasas, segregados por el epitelio del intestino.

Los protozoos también participan en la transformación de los restos orgánicos, gracias a la presencia en aquéllos de fermentos tales como celulasas, quitinasas, etc.

Por tanto se puede establecer, que en la población de suelo hay gran número de representantes de invertebrados y protozoos, cuyas complejas relaciones con los microorganismos, se reflejan sin duda en los procesos provocados por estos últimos.

III.- PAPEL DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA FORMACIÓN DEL SUELO Y EN LA CREACIÓN DE SU FERTILIDAD

1.- MATERIA ORGÁNICA Y EROSIÓN DEL SUELO

La acción de las sustancias orgánicas es responsable en gran medida de la formación del suelo y existen motivos para considerar que los pioneros en dicho proceso son los microorganismos, los cuales constituyen un eslabón fundamental en el ciclo del hierro, azufre, calcio, silicio, fósforo, y otros elementos.

Vernadskiy (1927) indicaba que, en las complejas condiciones de la acción bioquímica de los organismos y el agua con el oxígeno, ácido carbónico y sustancias orgánicas que en él se contienen, se produce la descomposición de los silicatos y aluminosilicatos, la liberación de hidróxidos de hierro de los compuestos ricos en protóxido de hierro, la formación de sales carbónicas alcalinas y alcalino-térreas, en su mayor parte solubles en

agua, la precipitación de coloides de sílice, arcillas caolínicas, y la destrucción de la unión de la sílice y alúmina con los metales.

Las formas de acción de los organismos vivos y los productos de su actividad vital sobre la corteza terrestre, son muy diversas. Así, la forma más sencilla es la disolución por los productos de la actividad vital de los microorganismos de minerales, tales como calcita (CaCO_3), magnesita (MgCO_3), dolomita ($\text{CaCO}_3 \text{MgCO}_3$), siderita (FeCO_3), sales del ácido fosfórico, y demás compuestos.

Entre los productos de la actividad de los microorganismos hay tanto compuestos minerales (CO_2 , HNO_3 , H_2S y otros) como ácidos orgánicos de bajo peso molecular (butírico, maleico, acético, propiónico, glucónico, fumárico).

Muchos investigadores han descrito la transformación de los fosfatos poco solubles (fosforitas y otros fosfatos de calcio), en estados asequibles a las plantas. Kreybig (1953) propuso los procedimientos para la obtención de "biofosfatos" a partir de la fosforita y apatita.

Novorossova, Remesov y Suslikina (1947) observaron la descomposición de caolina y feldespato por una microflora mixta, con formación de estados solubles de SiO_2 y Al_2O_3 , en un medio nutritivo con glucosa y nitrógeno orgánico.

Oberlies y Pohlman (1958) describieron la descomposición del feldespato por una mezcla de bacterias.

Aleksandrov (1949) mostró la posibilidad de descomposición de los silicatos, con obtención de formas de potasio solubles, asequibles a las plantas.

Sobre la destrucción del granate y los minerales que lo componen (cuarzo y mica), Yarilova (1947) estableció el papel de los líquenes en la erosión de rocas cristalinas macizas y los minerales aislados que las constituyen, gracias a la acción de sus cuerpos mucilaginosos sobre el substrato. La explicación del proceso anterior reside en el hecho de que dichas secreciones mucilaginosas poseen una gran capacidad aglutinante, y tras su secado, producen la ruptura de las partículas cohesionadas.

Existen productos de la actividad vital de los organismos que en su acción de contacto parece que "arranquen" de las rocas y minerales el aluminio, hierro, manganeso, cobre y otros elementos, para formar con ellos compuestos complejos e intracomplejos: los quelatos. Las sustancias orgánicas que tienen propiedades quelantes juegan un importante papel en el suministro a la planta de hierro y microelementos (Mn, CO, Mo, Zn).

Todo lo expuesto nos remite a la participación de los productos del metabolismo de los seres vivos en los procesos de formación primaria del suelo, pero sin duda, en estos procesos también participan activamente las sustancias húmicas propiamente dichas, cuya formación se registra ya en las etapas tempranas de formación del suelo, antes de que aparezcan las plantas superiores.

Ya Sprengel señalaba la posibilidad de descomposición de los silicatos por los ácidos húmicos, con formación de ácido silícico. La acción destructora de los ácidos crénico y apocrénico fue demostrada por Berzelius. La descomposición de distintos minerales (en particular, los pertenecientes al grupo de silicatos y alumosilicatos) por soluciones de

ácidos húmicos, crénicos y apocrénicos, fue demostrada experimentalmente por muchos investigadores y el carácter de esta acción depende tanto de la naturaleza de los ácidos húmicos como de la de los minerales. El papel más activo en la descomposición de rocas y minerales pertenece a los fulvoácidos, y también a los representantes de los ácidos húmicos, los cuales poseen propiedades quelatizantes.

La acción de la materia orgánica sobre la roca madre se intensifica con la población de los suelos primitivos por las plantas superiores. Se conocen casos de trituración mecánica de rocas por las raíces de plantas superiores y, asimismo, de disolución de minerales por las secreciones radiculares. Estas secreciones contienen compuestos orgánicos con propiedades quelatizantes (aminoácidos, ácidos orgánicos, aminas y otros), cuya importancia en el proceso de erosión y en el ciclo de sustancias (hierro, cobre, manganeso y otros) ya ha sido comentada.

2.- PARTICIPACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA FORMACIÓN DEL PERFIL DEL SUELO

La heterogeneidad del perfil es el resultado de la alteración de la roca madre y de la redistribución del material en el proceso de formación del suelo. Un papel bastante importante en estos fenómenos pertenece a las materias orgánicas del suelo.

Sólo una pequeña parte de estas últimas está presente en estado libre; la porción predominante está unida a la parte mineral del suelo. La naturaleza de los compuestos metalo-orgánicos (compuestos organo-minerales), diferentes en distintos suelos, todavía no está estudiada actualmente con suficiente plenitud.

Las posibles formas de unión con la parte mineral del suelo fueron sistematizadas en los años treinta por Tyurin (1937), Springer (1936), I.F. Tyulin (1938), aunque con posterioridad se realizaron otras clasificaciones para los distintos suelos.

3.- MATERIA ORGÁNICA Y ESTRUCTURA DEL SUELO

Ya en el siglo pasado diversos investigadores hablaron sobre el papel de la estructura en la creación de los regímenes hídrico, aéreo y nutricional favorables a la planta, y señalaron la importancia que tienen los sistemas radiculares de las plantas, el humus y la fracción limosa del suelo, en el proceso de formación de esta estructura.

El proceso de formación de la estructura consta de un complicado mecanismo, sobre el cual tiene influencia el complejo de condiciones del medio suelo: composición mecánica y mineralógica, naturaleza del humus, carácter de interacción entre la parte mineral y orgánica, condiciones de humedad y acción mecánica.

Las diferencias en la construcción de los agregados estructurales se han revelado con evidencia en distintos tipos de suelos, y dependen tanto de la naturaleza del humus como de la parte mineral del suelo.

Junto con la participación indudable de las sustancias húmicas propiamente dichas en la formación de agregados hidrorresistentes, muchos autores señalan el importante papel en este proceso de una serie de compuestos orgánicos de naturaleza individual que forman parte de los cuerpos microbianos y de los productos de su metabolismo. Así, muchos autores han establecido que el micelio de hongos microscópicos (*Cladosporium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, y otros), envolviendo las partículas de tierra, obstaculiza el

derrubio de éstas. Pero este fenómeno es de carácter efímero y cesa al desaparecer la microflora fúngica. Solamente en los casos en que el micelio de los hongos se transforma en productos estables de humificación, los agregados conservan durante largo tiempo la resistencia respecto al agua.

En la creación de la estructura hidrorresistente son de gran efectividad los mucílagos bacterianos, en particular los formados por representantes de *Pseudomonas*.

En general podemos decir que la mayoría de los microorganismos, cuyos productos de metabolismo participan en la formación de una estructura hidrorresistente, son aerobios. Por eso, las afirmaciones de algunos autores sobre la posibilidad de formación de la estructura del suelo bajo plantas anuales en condiciones aerobias, son indudablemente fundamentales.

Como medidas prácticas para el establecimiento de la estructura del suelo, se recomiendan procedimientos especiales de labor y, en los suelos ácidos, encalado. La revisión de los resultados del método de restablecimiento de la estructura mediante siembra de hierbas vivaces, demostró que, aún siendo normal su desarrollo, la mejora del estado estructural no alcanza el nivel señalado por V.R. Williams como criterio para el suelo estructural (contenido de agregados hidrorresistentes de 0,25 mm, debe constituir en éste el 65-75 % del peso del suelo).

Resultó además que, después de roturar la capa de hierbas vivaces, la estructura empeora rápidamente, sobre todo en suelos que se caracterizan por una actividad microbiológica intensa (suelos césped-podsol de composición mecánica ligera, sierosems).

En los últimos años se están elaborando nuevos procedimientos de mejora del estado estructural del suelo mediante aportación de sustancias aglutinantes. Ya en los años treinta, surgió esta idea en el Instituto Agrofísico de la Academia Lenin de Ciencias Agronómicas de la Unión Soviética. Fueron propuestos métodos de creación artificial de la estructura del suelo, aprovechando los residuos industriales con propiedades hidrófilas de coloides, a saber: celulosa (viscosa), hemicelulosas (xilana), lignina y, asimismo, ácidos húmicos de las turbas. Pero se recomendaba aplicar dichas sustancias en grandes cantidades, lo que impedía su amplia introducción a la práctica.

Los polímeros del grupo de los "kriliums" se utilizaron en los años de la postguerra con fines de estructuración, ya que siendo coloides hidrófilos, estas sustancias actúan de modo semejante a los poliuronidos de origen vegetal y mucílagos bacterianos y, en mayor o menor medida, contribuyen a la creación de una estructura hidrorresistente.

Los problemas referentes a la conservación de la estructura creada por los krilium, la posibilidad de restablecimiento en caso de su destrucción mecánica y, asimismo, las cuestiones de economía relacionadas con la producción y efectividad de los krilium, exigen futuras precisiones.

Teniendo en cuenta las amplias perspectivas de producción de polímeros, el procedimiento de estructuración artificial del suelo, merece indudable atención con el fin de luchar contra la pulverización del suelo y arraste de arenas.

4.- MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO COMO FUENTE DE ANHÍDRIDO CARBÓNICO PARA LAS PLANTAS

Las plantas utilizan los elementos nutricionales en condiciones del ciclo biológico y geológico de materias, de manera que, la acumulación de elementos dispersos en la atmósfera, hidrosfera y corteza terrestre por los organismos autótrofos y heterótrofos en formas de materia viva, y la liberación de dichos elementos, representa en sí un ciclo biológico de sustancias que se desarrolla en la trayectoria del ciclo geológico.

Después de la muerte, la descomposición de los organismos vegetales y animales no es total hasta los productos finales de mineralización, sino que va acompañada de una nueva formación de sustancias complejas de naturaleza orgánica (turberas, carbones fósiles, sapropelias, petróleo, sustancias húmicas del suelo) que poseen mayor resistencia a la descomposición de los restos orgánicos originales.

Esta reserva total de la Tierra contiene grandes cantidades tanto de anhídrido carbónico como de carbono, en formas inorgánicas y orgánicas. Sin embargo, la principal fuente de anhídrido carbónico que se consume por el mundo vegetal en el proceso de fotosíntesis es la atmósfera, donde el CO_2 constituye aproximadamente el 0,03 % o cerca de 0,57 mg en 1 litro de aire, y la reserva es de 2.100 billones de toneladas. Considerando que las plantas de la Tierra asimilan anualmente en el proceso de fotosíntesis cerca de 20.000 millones de toneladas de carbono (aproximadamente 80.000 millones de toneladas de CO_2), la reserva total de anhídrido carbónico alcanzaría sólo para unas cuantas decenas de años. Pero, es sabido que el contenido de CO_2 en el aire se va restableciendo continuamente de otras reservas, entre ellas la hidrosfera, cuya superficie está en comunicación libre con la atmósfera. La cantidad total de anhídrido carbónico en el aire y en las aguas del globo terráqueo, asequible a las plantas terrestres, supera las 1.10^{14} t, lo que cubre la necesidad de las plantas en anhídrido carbónico en miles de años. Sin embargo existen ciertas observaciones que indican que en los períodos de intenso crecimiento, a las horas de la fotosíntesis, las plantas pueden experimentar falta de este ácido. A estas horas la concentración de CO_2 en la capa de aire lindante con la tierra se hace inferior a la normal, y esta circunstancia puede ser un factor que reduzca la energía de la fotosíntesis.

Por esto, la cuestión de suministro ininterrumpido de anhídrido carbónico a la planta no se puede excluir en agricultura, sobre todo al solucionar los problemas de elevación brusca de la productividad de los cultivos. El método más importante que asegura la producción de anhídrido carbónico por el suelo es el de reponer las reservas de materias orgánicas frescas y regular los procesos de su descomposición.

5.- MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO COMO FUENTE DE ELEMENTOS DE NUTRICIÓN PARA LAS PLANTAS

5.1.- Naturaleza química de las formas orgánicas del nitrógeno, fósforo y azufre en el suelo

La principal parte del nitrógeno en las capas superiores del suelo está representada por formas orgánicas, sin embargo, en los horizontes inferiores una parte considerable se encuentra en forma de NH_4 , adsorbido por el retículo cristalino de los minerales arcillosos. Stevenson relaciona la presencia de nitrógeno en las capas inferiores con el pasado de la Tierra, y afirma que éste se incorporaba con las precipitaciones atmosféricas y fue fijado por las rocas aun antes de que se transformaran en suelo.

Una parte considerable del nitrógeno se puede hacer pasar a la solución, mediante hidrólisis del suelo, que se efectúa con la ayuda de HCl 6N. Cerca de 1/3 del nitrógeno del suelo no pasa al hidrolizado ácido; esta parte está representada por formas heterocíclicas o bien por compuestos de nitrógeno firmemente unidos con la parte mineral del suelo. Éste, llamado nitrógeno de las huminas, es la parte menos móvil de fondo nitrogenado del suelo.

La naturaleza de los compuestos organofosforados no está del todo clara. La forma más difundida de P_2O_5 es la finita, que representa el producto de interacción del ácido fosfórico con el inositol (alcohol cíclico hexatómico) y sales de calcio y magnesio. La finita constituye el 30-38 % de toda la reserva de fósforo orgánico en el suelo. El segundo grupo son los ácidos nucleicos, cuya cantidad total es aproximadamente el 10 % de la reserva de P_2O_5 en formas orgánicas. Entre los ácidos nucleicos han sido identificados el desoxirribonucleico (DNA) y el ribonucleico (RNA), evidentemente de origen microbiano. Algunas formas orgánicas del fósforo, especialmente la fitina, pueden asimilarse por las plantas directamente, o después de ser desintegradas por los fermentos, que contienen las secreciones radiculares de la planta.

Se sabe muy poco referente a las formas orgánicas del azufre en los suelos, aunque sí es seguro que la principal fuente de estas formas son los restos de animales y plantas, así como el plasma de los microorganismos, en los cuales el azufre forma parte de los distintos compuestos, entre ellos las proteínas y los aminoácidos. Por su participación en la formación de las sustancias húmicas, puede explicarse la presencia en éstas de aminoácidos que contienen azufre, metionina y cistina.

Las considerables reservas potenciales de nitrógeno y fósforo en el suelo se mineralizan gradualmente, pasando a ser formas asequibles a las plantas. Pero la agricultura no puede seguir la vía de movilización continua de estas reservas sin reponerlas. Por eso, la importancia del problema de la creación de un balance no deficitario de sustancias nutritivas en el suelo no deja lugar a dudas.

5.2.- Toma de sustancias nutritivas por la planta y reposición de sus reservas en el suelo

Al mismo tiempo que se produce la absorción de nutrientes por la planta, ésta devuelve al suelo sustancias nutritivas, preferentemente en forma de restos radiculares y rastrojo, con los que se incorpora cerca de 1/3 de la cantidad total del nitrógeno y fósforo que se emplean por la planta en el proceso de vegetación.

Pero hay que considerar también otras fuentes de aportación de sustancias nutritivas al suelo. Así, cierta cantidad de ellas se contiene en las secreciones radiculares y raicillas que van decayendo en el proceso de vegetación, aunque en el caso de los cereales esta cantidad es insignificante.

En el apartado de ingresos del balance, se debe incluir la aportación de nitrógeno a cuenta del material de siembra (cerca de $3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), así como de las precipitaciones atmosféricas, que lejos de las ciudades, en condiciones de clima moderado, constituye de 4 a $6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

No debe ignorarse la posibilidad de completar las reservas de nitrógeno del suelo a cuenta de la actividad de las bacterias libres fijadoras del nitrógeno atmosférico.

Una elevación considerable de las reservas del nitrógeno se consigue con cultivos de leguminosas vivaces, a condición de su buen desarrollo.

La reposición de reservas de nitrógeno y otros elementos nutritivos se puede realizar por medio de la aportación de abonos orgánicos, teniendo en cuenta que lo verdaderamente importante no es la cantidad de materia orgánica en el suelo, sino la velocidad con que ésta se mineraliza.

5.2.1.- Factores que regulan la velocidad de humificación

La velocidad de humificación de los materiales orgánicos es un parámetro muy importante a la hora de valorar el equilibrio húmico de un suelo y, por lo tanto, su fertilidad, que se ve favorecida al aumentar los valores de aquella.

Los factores que regulan dicha velocidad de humificación son (Urbano Terrón, 1988):

a) Naturaleza del residuo

En los residuos vegetales, la lignina engloba la mayor parte de la celulosa y hemicelulosa retrasando su descomposición.

b) Humedad

La multiplicación microbiana exige la presencia de agua en el propio residuo (tallos y hojas tiernas, estiércoles frescos, etc.), o en el suelo.

c) Aireación

La flora microbiana aerobia presenta mayor actividad y por tanto se puede beneficiar con las labores del suelo, un buen drenaje, con la disgregación de los montones de estiércol, etc. Por el contrario, en condiciones anaerobias la humificación es muy lenta e incompleta.

d) Temperatura

Según la ley de Van't Hoff, la velocidad de reacción se duplica o triplica por cada 10°C que aumenta la temperatura media anual de una zona, aunque esta ley sólo es válida para un intervalo entre 5°C y 40°C. Si se supera esta temperatura, al oxidación de los compuestos carbonados y la pérdida de nitrógeno es tan intensa que se reduce el valor fertilizante del humus que se forma a estas temperaturas. Si se superan los 70°C, las pérdidas vuelven a ser pequeñas, pues la actividad microbiana se reduce a la actuación de la microflora termófila.

e) Contenido en elementos minerales

La multiplicación microbiana exige la utilización de elementos minerales, tales como: nitrógeno fósforo, azufre, calcio, etc. Pero de todos ellos el que juega el papel más importante en la humificación es el nitrógeno, ya que actúa de elemento limitante. En este sentido los materiales orgánicos se clasifican de la siguiente forma:

- Materiales con un contenido en nitrógeno superior al 2,4 % en su materia seca. Existe suficiente nitrógeno y durante la humificación habrá liberación de nitrógeno mineral, que enriquecerá el suelo y favorecerá la nutrición de los vegetales cultivados.

- Materiales con un contenido en nitrógeno entre 1,2 y 2,4 % en su materia seca. Existe cierto equilibrio que permite la nutrición de los microorganismos sin que se produzca globalmente variación en el contenido de nitrógeno del suelo.

- Materiales con un contenido en nitrógeno menor del 1,2 % en su materia seca. Se manifiesta una falta de nitrógeno en los materiales orgánicos que da lugar a que los microorganismos utilicen el nitrógeno del suelo y, por lo tanto, establezcan una

competencia con las plantas, disminuyendo la fertilidad nitrogenada temporal ya que, al morir los microorganismos, el nitrógeno de su protoplasma se mineraliza.

f) Condiciones del suelo: pH y salinidad

Para que se produzca una adecuada evolución de la materia orgánica el pH debe estar comprendido entre 6 y 7,2, siendo las condiciones más desfavorables las de pH menor de 5,5, en el que se desarrolla una flora acidófila, y las de pH superior a 7,5, donde la flora es basófila.

CAPÍTULO II. CANALES DE COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS ECOLÓGICOS.

I.- INTRODUCCIÓN

La agricultura ecológica comienza en Europa al finalizar la Segunda Guerra Mundial, y va extendiéndose a diferente ritmo por los distintos países, de modo que no llega a España hasta los años setenta (FAO, 1990).

A partir de este momento se experimenta un incremento de las superficies cultivadas, así como del número de asociaciones de productores y consumidores, al mismo tiempo que aparece una legislación que protege y reconoce el interés de estas prácticas. Pero estos pasos no se corresponden con los dados en la experimentación, investigación y formación agraria en nuestro país, lo que ocasiona una gran falta de información en los procesos de producción, industrialización y comercialización en esta alternativa agraria.

En Andalucía se ha experimentado un significativo incremento de la superficie dedicada a la Agricultura Ecológica en los últimos años, de forma que en 1995 era de 6.450 Ha y cuatro años después, en 1999 ha alcanzado las 47.470 Ha. Este aumento también ha sido provocado por un incremento en el número de productores, que en 1995 era sólo de 277, llegando actualmente a cifras de 1.767 (Junta de Andalucía, 1999).

II.- MERCADO EXTERIOR

La producción de la agricultura ecológica en España generalmente está centrada hacia el mercado exterior, especialmente en lo que respecta a nuestra comunidad (Orbe, Martínez, Rodríguez y Díaz, 1994), que es a la que me voy a referir.

Aproximadamente el 94 % de la producción agrícola ecológica andaluza está destinada al mercado exterior (Junta de Andalucía, 1999), en el que la comunidad se ha visto sometida a grandes presiones, derivadas de la lucha con otros países muy competitivos (sobre todo Alemania), por ocupar cuotas de mercado cada vez mayores, soportando innumerables descalificaciones, que han mermado considerablemente la exportación, por ejemplo, de hortalizas y frutas. Por otro lado las exportaciones de aceite y vino han crecido considerablemente, ya que son productos de larga tradición en nuestro país.

III.- MERCADO INTERIOR

Muchos de los problemas de la comercialización están relacionados con la estructura productiva del sector, el cual se haya atomizado, con costes elevados, escasa gama de productos y una mala organización. Esto da lugar a una difusión localista del producto, que sería necesario superar implicando a estructuras de mayor calibre, que centralizasen la oferta, para desarrollar una comercialización a mayor escala y para poder regular el aprovisionamiento de distribuidores y comercializadores.

Por tanto la venta en fincas, mercados locales, etc., deberá evolucionar hacia la gran distribución y con ello admitir los compromisos que ésta implica, como: precios negociados, continuidad de aprovisionamiento, regulación de la calidad, etc.

Las descalificaciones que se dan en este sector, los precios y la presentación de los productos frenan la acción de los comercializadores, que no están dispuestos a arriesgarse ante este tipo de expectativas.

IV.- PUNTOS DE VENTA DE LOS PRODUCTOS ECOLÓGICOS

En España, de acuerdo con el informe Doxa (1991), y con las excepciones de Madrid y Barcelona, la venta de estos productos se desarrolla en tipos de establecimientos similares. Las dos ciudades citadas presentan la particularidad de poseer un comercio de productos de agricultura ecológica más completo y con mayor tradición que el resto del país. Los establecimientos citados son: tiendas especializadas en alimentación alternativa, grandes superficies, fincas, ferias, mercados de abastos, asociaciones y cooperativas de consumidores.

1.- TIENDAS ESPECIALIZADAS

Se encuentran dispersas en numerosas ciudades del país y son aquellas en las que, a pesar de su alto conocimiento de los productos que venden y de su especialización, los productos de dietética, herbolario, etc. se encuentran sin diferenciar de los que tienen su origen en la agricultura ecológica, y que por tanto provocan la confusión del consumidor. Además el nivel de demanda no suele ser suficiente como para sostener la viabilidad económica de este tipo de distribución.

2.- GRANDES SUPERFICIES

Están condicionadas por la debilidad de oferta y la casi inexistente demanda, y por tanto no les resulta rentable la venta de estos productos. Pero con ánimos de mejorar su imagen, y para poder soportar la presión del mercado que exige cada día en mayor medida el respeto por el medio ambiente, exponen algunos productos, aunque sin realizar las acciones de marketing que les corresponden.

3.- FERIAS, MERCADILLOS Y FINCAS

Este tipo de mercado resulta una solución localista, mediante la que gran número de pequeños productores pueden vender sus productos. Esta forma de venta contribuye en poca medida a desarrollar los mercados, aunque resulta eficaz para que productores menores que no pueden acceder a otros canales comerciales, den salida a su producción.

4.- ASOCIACIONES Y COOPERATIVAS DE CONSUMIDORES

Son numerosas las que existen en Andalucía, y en ellas se vende parte importante de las producciones de cada provincia.

Junto a la compra en la propia finca son la única forma de acceder en nuestra Comunidad a una oferta variada de productos agroecológicos a unos precios razonables.

A pesar de que su situación actual es precaria, son los únicos que inciden en el aumento de la demanda y son los que llevan el mensaje de la agricultura ecológica al tipo de consumidor llamado *emergente* (Doxa, 1991) en el que va a estar el futuro del mercado en los próximos años.

V.- EL CONSUMO DE PRODUCTOS ECOLÓGICOS Y MEDIDAS PARA EL DESARROLLO DEL MERCADO

1.- DINAMIZACIÓN DEL CONSUMO DE PRODUCTOS ECOLÓGICOS

El consumo de estos productos comienza a tomar importancia en Europa en la década de los setenta, como consecuencia de la creación de las primeras asociaciones agrobiológicas y debido al interés que países como Alemania y Francia demuestran por esta práctica (Orbe, Martínez, Rodríguez y Díaz, 1994).

Durante la década de los ochenta se produce un aumento de la demanda a causa de la creciente preocupación por la preservación del Medio Ambiente, con lo cual algunos países meridionales (entre ellos España) se sumaron a estas tendencias. Consecuentemente, al final de esta década la CE adoptó nuevas políticas para equilibrar la oferta con la cada vez mayor demanda, promocionando la calidad de las producciones agrarias en contraposición con la cantidad, al considerar que esa promoción podía resultar interesante para el desarrollo rural de zonas desfavorecidas, dentro del marco de los Programas de Desarrollo Rural europeo.

En estos momentos ya existía en España un respaldo normativo para el control de los métodos de producción de la agricultura ecológica, Denominaciones Genéricas, Protección de los Consumidores, etc., ya que anteriormente estas tareas habían sido asumidas por algunas de las asociaciones pioneras en la materia. Con la creación del Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica se establecieron las normas técnicas, se creó un registro de empresas e industrias y se controló, certificó y promocionó, el producto de origen ecológico.

Actualmente el Comité Territorial de la Agricultura Ecológica es el que ejerce la protección al consumidor andaluz y tendrá que luchar para que tanto los operadores del sector como los consumidores, refuercen su confianza en este organismo.

Para poder cumplir nuestro objetivo (el de dinamizar el consumo), habría que dinamizar en principio el perfil del consumidor medio de los productos en cuestión, que coincide, según los estudios realizados por la CEPA (Sevilla, 1992/93), con el de los conocedores de la agricultura ecológica con formación universitaria, de rentas superiores a 3.500.000 pesetas, con pocos o ningún hijo, y de ocupación empresario, profesional liberal, empleado administrativo y técnico. El colectivo citado supone un 12 % de la población total en Andalucía y constituye aproximadamente el 70 % de los consumidores que conocen la agricultura ecológica.

Según estudios realizados a nivel nacional y europeo, este comportamiento presenta ciertas similitudes con el del resto del país y no menos con los consumidores de algunos países europeos; una gran parte de los consumidores y conocedores del sector tiene un conocimiento impreciso del significado e identificación del producto ecológico, lo que puede hacer infructuoso el esfuerzo por divulgar la agricultura ecológica que se está haciendo (Oude Ophuis, 1991).

De todo esto se deduce que es fundamental informar al consumidor de todas las ventajas que ofrecen los productos ecológicos con respecto a los convencionales, tales como: los beneficios que reportan para la salud, la calidad comprobada de los mismos y la protección del medio ambiente. Pero este consumidor se encuentra con una serie de

inconvenientes limitadores: precio más elevado, aspecto menos atractivo y la dificultad de una oferta variada y regular a través de los circuitos normales, fundamentalmente. Además existe una cierta desconfianza acerca de su procedencia.

Por consiguiente las acciones para dinamizar el consumo en líneas generales serán:

- Conseguir una oferta diferenciada de productos.
 - Agilizar la distribución para asegurar la regularidad en el aprovisionamiento.
 - Crear una política de precios racional consensuada por todos los operadores del sector.
 - Dirigir la venta a tiendas especializadas, grandes superficies y grandes cadenas de supermercados, debiendo estar las primeras bien gestionadas, ubicadas y organizadas.
- Dentro del segundo grupo los productos ecológicos se diferenciarán perfectamente de los que no lo son, sin que esto suponga un aumento desorbitado de los precios. Pero también habrá que contar con la llegada de nuevas tendencias de la agricultura (como la agricultura integrada), que contribuirán, además de a una mayor confusión, a crear competidores fuertes.

2.- ALGUNAS MEDIDAS PARA EL DESARROLLO DEL MERCADO DE PRODUCTOS ECOLÓGICOS

A menudo nos encontramos con una situación similar entre la oferta y la demanda en este sector del mercado: aquella es débil, pero esta lo es aún más, y mientras la segunda no aumente lo suficiente para consolidar la viabilidad comercial, la primera no podrá ser regular y diversificada. Esto será posible si consideramos que el consumidor ecológico, dado su conocimiento de las dificultades por las que atraviesa la producción ecológica, asumirá estos problemas y se adaptará a la oferta existente.

Por tanto algunas medidas eficaces para el desarrollo del mercado de productos ecológicos serían (Petit, Hatrival y Lacaberate, 1991):

- Dinamizar la demanda instando a productores, comercializadores y distribuidores a realizar una gestión más profesional y comunicativa, mejorar sus estructuras y llevar a cabo una campaña de imagen, tanto para la sensibilización, como para la difusión de las propiedades del producto ecológico.
 - Realizar campañas en los medios de comunicación de forma continuada y sin exaltaciones, para que esta tendencia de la agricultura sea asimilada progresivamente.
 - Introducir la agricultura ecológica en la disciplina medio ambiental de la educación infantil como una alternativa acorde con la materia.
 - Incluso llevar a cabo una campaña dirigida a los llamados a influir en la alimentación de la población.
- Todas estas medidas sólo cumplirán su función si todas las partes muestran su plena confianza en las prácticas de esta agricultura y en la normativa a la que deben someterse, ya que en caso de incumplimiento, la sanción de quién defrauda será de suma importancia para la campaña de difusión.

Extraído de la página web Infoagro.com

Una página altamente recomendable por la amplitud, seriedad y eficacia de su información.

Resaltado y composición: Francisco Sáenz
milengrama@yahoo.es

