

**DOCUMENTO CODEX**

**JUSTIFICACIÓN BASADA EN CRITERIOS**

**USO DEL NITRATO DE SODIO NATURAL**

**EN**

**AGRICULTURA ORGÁNICA**

**Santiago de Chile**

**Febrero 2004**

**PRESENTACIÓN**

El presente documento ha sido preparado para ser presentado al Comité de CODEX ALIMENTARIUS sobre Etiquetado de Alimentos con los argumentos técnicos que respaldan la solicitud de la Delegación de Chile de incluir como fuente de nitrógeno para cultivos orgánicos la sustancia Nitrato de Sodio Natural.

La presentación de este documento fue autorizada durante la 31ª Reunión Anual del Comité de CODEX ALIMENTARIUS sobre Etiquetado de Alimentos, que tuvo lugar en Ottawa, Canadá, entre el 28 de Abril y 2 de Mayo de 2003 (ALINORM 03/22A) para ser presentado a la Secretaría de CODEX e incorporado como documento oficial de la próxima 32ª Reunión a celebrarse en Montreal, Canadá.

El documento esta estructurado según el orden de conceptos establecidos por CODEX para incorporar una sustancia en la Lista de Sustancias Aprobadas para Uso en Fertilización o Acondicionamiento de Suelo. El contenido se basa en el título de la Sección 5 del Documento CODEX sobre "requisitos para incluir sustancias en el Anexo 2 y criterios para la confección de listas de sustancias por país", que incluye los puntos, 5.1 Principios Generales y 5.1(a) Uso en fertilización y acondicionamiento de suelo. El punto 5.1 se refiere a la necesidad de ser consistente con los principios de producción orgánica, y en este punto, el documento presenta hechos, argumentos y conceptos agronómicos aceptados que respaldan la concordancia del uso del Nitrato de Sodio Natural con la adherencia a estos principios. En el punto 5.1 (a) se presenta en forma detallada la evidencia experimental y de investigación científica sobre el beneficio de usar Nitrato de Sodio Natural junto a fuentes orgánicas de nitrógeno en agricultura orgánica, los orígenes de esta sustancia, su impacto en el ecosistema y limitación es en su uso.

Un documento que analiza en detalle los beneficios del Nitrato de Sodio Natural en la Agricultura Orgánica estará disponible antes del la 32ª Reunión de CODEX.

## MATRIZ PARA EVALUAR SUBSTANCIAS EN BASE A CRITERIOS

Sustancias para uso en fertilización, acondicionamiento de suelos.

Puntaje: ++ muy positivo; + positivo; 00 sin evaluar; - negativo; - - muy negativo

Sustancia: Nitrato de Sodio Natural (NSN) como fuente de nitrógeno para cultivos.

### Sección 5.1 Principios Generales

Criterio	Evaluación en Base a Criterio	Puntaje	Propuesto por
Consistente con los principios de la agricultura orgánica	El Nitrato de Sodio Natural (NSN) es una fuente de nitrógeno (N) natural que complementa el N de fuentes orgánicas. Se encuentra en el mineral Caliche en la superficie inerte del Desierto de Atacama y se extrae por medios mecánicos e hidráulicos sin usar procesos químicos. Complementa el N orgánico, promueve la biodiversidad y aumenta la actividad biológica al entregar N disponible cuando fuentes orgánicas están impedidas de hacerlo. Ayuda a mantener la fertilidad a largo plazo al facilitar la formación de humus de sustancias con alto contenido de carbono en relación al N (relación C/N alta). Su uso adecuado no daña ni contamina el ambiente.	++	
Necesario para el uso pretendido	El NSN aporta nitrógeno (N) en la forma que es absorbida directamente por las raíces de las plantas sin necesidad de transformación biológica. Su N está prontamente disponible en todas las estaciones, en particular cuando las condiciones climáticas impiden la transformación orgánica necesaria para liberar N disponible. Su aporte de sodio natural ayuda a prevenir la acidificación del suelo y beneficia a cultivos halófilos (remolacha, hortalizas, forrajeras). El NSN aporta cantidades pequeñas pero significativas de Potasio, Magnesio y Azufre y microelementos Cobre, Boro y Manganeso que son esenciales para los cultivos.	+ / ++	
La manufactura, uso y desecho no resulta en, o contribuye a efectos perjudiciales para el medioambiente	El Desierto de Atacama es una región extremadamente seca con menos de 2 mm de lluvia por año, sin suelo superficial, sin trazas de organismos vivos y sin procesos de formación de suelo. El NSN es extraído con solución acuosa pero sin que efluentes líquidos salgan de la planta, excepto sólo pérdidas de agua por evaporación solar usada para concentrar solución. La radiación solar es básica en la extracción de NSN y la cantidad total de energía solar capturada es del orden de 57% del total de energía usada en el proceso. El uso del NSN por más de 80 años bajo condiciones experimentales controladas (UK) y en cultivos (Japón), y por más de 100 años en otros países no ha mostrado el más mínimo efecto negativo sobre el ambiente. El NSN no pierde sus propiedades con el tiempo y no debe ser desechado sino guardado para cultivos siguientes.	+	
Tiene el menor impacto negativo sobre la salud humana o animal y sobre	Todas las formas de N orgánico son transformadas en el suelo a las formas inorgánicas nitrato y amonio que son las únicas que absorben las plantas. El NSN tiene la misma naturaleza que el nitrato que resulta de la transformación orgánica. Por lo tanto no se puede esperar daño al suelo, cultivos, animales y calidad de vida cuando se lo usa según	+	

la calidad de vida	las necesidades de suelos y cultivos. El Sodio es también un constituyente natural del perfil de suelo, y las cantidades de Sodio aplicadas con el NSN están dentro de los límites normales de Sodio en el suelo. Siendo un elemento alcalino, el Sodio neutraliza la acidez producida por la descomposición de sustancias orgánicas. Los contenidos de Cadmio, Arsénico, Cromo y Plomo son menores que un $\text{mg kg}^{-1}$ , y el total de metales pesados expresados como Plomo es menos de $5 \text{ mg kg}^{-1}$ . Estos niveles están entre los más bajos de los fertilizantes naturales.		
No hay alternativa aprobada en cantidad o calidad suficiente.	El NSN es la única sustancia natural no orgánica que provee N en la forma disponible de nitrato y cuya disponibilidad no necesita de transformación biológica que dependen de la temperatura y otras condiciones que controlan la actividad de los microorganismos del suelo y la disponibilidad del N de fuentes orgánicas.	+	

### Sección 5.1 (a) Uso para fertilización, acondicionamiento del suelo.

Criterio	Evaluación en Base a Criterio	Puntaje	Propuesto por
Es esencial para obtener o mantener la fertilidad del suelo, para satisfacer requerimientos nutricionales específicos de cultivos, acondicionamiento del suelo y propósitos de rotación que no pueden ser satisfechos por las prácticas incluidas en el Anexo 1, u otros productos incluidos en la Tabla 2 del Anexo 2.	El N es esencial para la fertilidad de suelo y producción de cultivos. Todo el N orgánico tiene que ser transformado a formas amonio y nitrato para ser absorbido por las plantas. La transformación es realizada por microorganismos y depende de la temperatura, pH y otras propiedades del suelo. Investigaciones han demostrado que el N agregado solamente por fuentes orgánicas es menor a lo requerido para que los cultivos produzcan calidad y rendimientos aceptables. Esto se debe a (a) nivel insuficiente de N en fuentes orgánicas, y, (b) falta de sincronización de la tasa de entrega de N disponible desde fuentes orgánicas con la tasa de absorción de N por cultivos durante la estación de crecimiento. Esto último puede aún resultar en lixiviación del N entregado a destiempo. Debido a que el N suministrado por NSN puede ser absorbido en forma inmediata, se puede controlar la dosis de N aplicado como también el tiempo de aplicación, satisfaciendo así los requerimientos nutricionales específicos de cada cultivo particular.	+	
La sustancia es de origen vegetal, animal, microbiológico o mineral; puede someterse a los siguientes procesos: físicos (mecánicos, térmicos); enzimáticos o	El NSN es extraído por lixiviación del mineral Caliche molido con una solución débil de sales a $40-45^\circ\text{C}$ . Después de lixiviar el mineral, la solución es enfriada a $12^\circ\text{C}$ para precipitar el NSN. El NSN húmedo es secado, granulado y almacenado o despachado para ser usado como fuente de N para cultivos. Después de precipitar el	++	

<p>microbiológicos (compost, fermentación); solamente cuando estos procesos han sido agotados, se pueden considerar procesos químicos y sólo para la extracción de sustancias inertes y aglutinantes.</p>	<p>NSN, parte de la solución débil en sales puede ser concentrada en las pozas del sistema de evaporación solar antes de entrar a un nuevo ciclo de precipitación de NSN. La cantidad de energía solar capturada por el sistema es de 25 Giga Joule (GJ) por tonelada de N contenida en el NSN extraído. Los fertilizantes químicos en promedio utilizan 40 GJ de energía no renovable por tonelada de N, estando el Nitrato de Sodio Natural dentro de este promedio con 44 GJ por tonelada de N. La diferencia es que en el NSN sólo se ocupa 19 GJ de energía no renovable, igual a 43% del total utilizado, siendo el 57% restante energía solar renovable.</p>		
<p>Su uso no tiene impacto perjudicial para el equilibrio del ecosistema del suelo, las propiedades físicas del suelo, o la calidad del agua y el aire.</p>	<p>El uso continuado de NSN en cultivos por más de 80 años bajo condición es experimentales en Rothamsted (UK) y en agricultura práctica (Japón) y muchos otros países ha demostrado que no quedan trazas de efectos negativos sobre el medioambiente. También el nitrato del NSN no se volatiliza como ocurre con formas amoniacales de N.</p>	+ / ++	
<p>Su uso podrá estar restringido a condición es específicas, región es específicas o cultivos específicos.</p>	<p>El uso de NSN no se recomienda en suelos salinos y sódicos. Estas condición es son fácil de identificar en muestras enviadas a laboratorios de análisis de suelo. El uso de NSN tampoco está recomendado en suelos con mal drenaje y agricultura de secano con escasa agua de lluvia y sin acceso a agua de riego, Sin embargo bajo estas condición es limitantes a la agricultura, la restricción de uso no sólo afecta al NSN si no también a otros insumos. En Estados Unidos el uso de NSN esta limitado al 20% del N requerido por el cultivo.</p>	+	

## RESUMEN

El uso de Nitrato de Sodio Natural (NSN) con 16% N nítrico y 26% de sodio es consistente con los principios de agricultura orgánica de acuerdo a conceptos y evidencias conocidos por muchos años como también por resultados de estudios recientes que han sido revisados y citados en este documento. El NSN promueve la biodiversidad y aumenta la actividad biológica al entregar N disponible cuando las fuentes orgánicas están impedidas de hacerlo. También ayuda a mantener la fertilidad a largo plazo al facilitar la formación de humus de sustancias que tienen un alto contenido de carbono en relación al nitrógeno (relación C/N alta). Su aporte de sodio natural ayuda a prevenir la acidificación del suelo y beneficia a los cultivos halófilos (remolacha, hortalizas, forrajeras). Además, el NSN aporta cantidades pequeñas pero significativas de Potasio, Magnesio y Azufre y de los micro-elementos Cobre, Boro y Manganeso que son esenciales para los cultivos. Su uso adecuado no daña ni contamina el ambiente. Los contenidos de elementos contaminantes Cadmio, Arsénico, Cromo y Plomo son menores que  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ , y el total de metales pesados expresados como Plomo es menos de  $5 \text{ mg kg}^{-1}$ . Estos niveles están entre los más bajos de los fertilizantes naturales.

El Nitrato de Sodio Natural es una sustancia natural, en cuya extracción sólo se emplean medios mecánicos e hidráulicos, sin reacción química. Es una fuente natural de N en forma de nitrato, que junto al N amoniacal, constituyen las únicas formas químicas de N que pueden absorber las raíces de las plantas. Por tratarse de una forma de N prontamente disponible, es un complemento a las fuentes orgánicas de N. Estas últimas requieren tiempo y condiciones ecológicas favorables para que su N orgánico se transforme, en base a la actividad de los microorganismos del suelo, a las formas nitrato y amonio que pueden ser absorbido por las raíces. Los factores que pueden limitar el suministro de N de las fuentes orgánicas tienen el mismo efecto sobre las fuentes de azufre S, porque sus comportamientos orgánico y químico son similares. Sin embargo, el problema del azufre ya está resuelto para la agricultura orgánica, por cuanto las actuales

normativas orgánicas permiten suministrar azufre como sulfatos naturales inorgánicos. Esto se traduce en un tratamiento asimétrico para ambos nutrientes.

La formación del Nitrato de Sodio Natural data de más de 200.000 años y se encuentra en el Desierto de Atacama. Este Desierto es de aridez total, con menos de 2 mm de lluvia anual, y donde no hay vida biológica ni suelo ni procesos que lo formen, al punto que estudios de la NASA lo comparan con la superficie inerte de Marte. Se estima que la formación del NSN fue promovido por condición es atmosféricas.

Dada la escasez de agua, las instalación es mineras no emiten efluentes líquidos. Las solución es se reciclan y sólo se pierde agua por evaporación solar, lo que es parte fundamental del proceso. El manejo técnicamente adecuado de la sustancia como fertilizante garantiza que no exista impactos sobre la vida humana, ecosistema y medioambiente. Esto último es requisito para el uso de casi cualquier insumo agrícola. En relación a otras fuentes, que pudieran complementar las sustancias orgánicas de lenta entrega de N disponible, no hay alternativa conocida al Nitrato de Sodio Natural que sea a la vez natural y proporción e N prontamente disponible sin necesidad de transformación es.

En relación a su empleo como fertilizante, diversos estudios han demostrado que el uso exclusivo de fuentes orgánicas de N no permite obtener buenos rendimiento de los cultivos ni calidad de los alimentos cosechados. Esto debido a (a) las cantidades limitadas de N que suministran estas fuentes respecto a la cantidad requerida por el cultivo, y, (b) por la dificultad de sincronizar la tasa de suministro de N desde la fuente orgánica con el ritmo de absorción de N por el cultivo. Lo anterior es un problema importante especialmente en climas moderados o fríos y en estación es invernales, como lo ha demostrado diferentes investigación es tanto en Europa como en USA. Esto perjudica al agricultor orgánico, limitando su posibilidad de abastecer el mercado durante todo el año lo que disminuye sus ingreso, y también al público consumidor que es privado de alimentos orgánicos

durante ciertas épocas del año. El Nitrato de Sodio Natural provee N natural a los cultivos todo el año y bajo las más diversas condiciones de suelo, clima y manejo.

La obtención del Nitrato de Sodio Natural a partir del mineral Caliche en el Desierto de Atacama emplea solamente procesos mecánicos e hídricos, que no dañan el ambiente, y en los cuales la luz solar constituye una fuente esencial de energía renovable para el proceso. La energía solar capturada es del orden de 25 Giga Joule (GJ) por tonelada métrica de N natural contenida en el producto extraído del Caliche. Los fertilizantes químicos utilizan un promedio de 40 GJ de energía no renovable para producir una tonelada de N, estando el NSN dentro de este promedio con 44 GJ por tonelada de N. La gran diferencia es que en la extracción de NSN sólo se ocupa 19 GJ de energía no renovable, que equivale a sólo 43% del total de la energía utilizada para producir fertilizantes químicos, siendo el 57% restante energía solar. El Nitrato de Sodio Natural no sólo es de origen natural sino que también la mayor proporción de la energía utilizada en su extracción es renovable.

Las limitaciones al uso del Nitrato de Sodio Natural lo constituyen los suelos salinos y sódicos, cuyas condiciones son fáciles de identificar mediante análisis de rutina en laboratorios de suelo. Además, su uso puede no estar recomendado en suelos con mal drenaje interno o condiciones áridas con escasa agua de lluvia y ausencia de riego. Estas condiciones limitan la producción de cultivos y la restricción de uso no sólo afecta al NSN sino también a otros insumos.

En Estados Unidos el uso de NSN está limitado a 20% del N requerido por el cultivo.

Los conceptos contenidos en el texto de este documento como también materias relacionadas se presentan en forma más detallada en un documento complementario que estará disponible antes de la 32<sup>a</sup> Reunión de Comité de CODEX Alimentarius.

## CONTENIDO

<b>SUSTANCIA PROPUESTA: Nitrato de Sodio Natural Como fuente de nitrógeno para cultivos orgánicos.....</b>	<b>12</b>
<b>SECCIÓN 5. REQUISITOS PARA INCLUIR SUSTANCIAS EN EL ANEXO 2 Y CRITERIOS PARA LA CONFECCIÓN DE LISTAS DE SUSTANCIAS POR PAIS.....</b>	<b>12</b>
<b>Sección 5.1. Principios Generales.....</b>	<b>12</b>
<b>5.1.1. Consistente con los principios de producción orgánica.....</b>	<b>12</b>
<b>5.1.2. La sustancia es necesaria / esencial para el propósito que se utiliza.....</b>	<b>13</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disponibilidad del nitrógeno del suelo para el crecimiento de plantas..... 13               <ul style="list-style-type: none"> <li>Efecto de la temperatura..... 13</li> <li>Efecto del pH..... 14</li> <li>Relación Carbono Nitrógeno (C/N)..... 14</li> <li>Nivel sub-óptimo de humedad y oxígeno en el suelo..... 15</li> <li>Tipo de arcilla..... 15</li> </ul> </li> <li>▪ Similitud entre el ciclo del Nitrógeno y el ciclo del Azufre..... 15</li> <li>▪ Nitrato de Sodio Natural: una fuente complementaria de N en la agricultura orgánica..... 16               <ul style="list-style-type: none"> <li>Suministro de nitrógeno en forma de nitrato de origen natural..... 16</li> <li>Aporte de Micro-elementos..... 17</li> </ul> </li> </ul>	
<b>5.1.3. Su extracción minera, uso y eliminación de residuos no tienen efectos nocivos al medio ambiente ni contribuyen a éstos.....</b>	<b>17</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Características de la región de origen del Nitrato de Sodio Natural..... 17</li> <li>▪ Ausencia de suelos y de procesos de formación de suelos..... 17</li> <li>▪ Extracción del Nitrato de Sodio Natural y uso del agua..... 18</li> <li>▪ Uso del Nitrato de Sodio Natural..... 19</li> <li>▪ Eliminación..... 19</li> </ul>	
<b>5.1.4. El menor impacto negativo sobre la salud humana ó animal y la calidad de vida.....</b>	<b>20</b>
<b>5.1.5. No hay otras alternativas aprobadas disponibles.....</b>	<b>21</b>

<b>Sección 5.1(a). Si se usan con fines de fertilización o acondición amiento de suelos.....</b>	<b>22</b>
<b>5.1(a)-1 Son esenciales para obtener o mantener la fertilidad del suelo o para cumplir con requisitos específicos de nutrición de cultivos, o propósitos específicos de acondición amiento de suelos y rotación que no pueden ser satisfechos por prácticas incluidas en el Anexo 1, o por otros productos incluidos en la Tabla 2 del Anexo 2.....</b>	<b>22</b>
• Transformación de Nitrógeno Orgánico.....	22
▪ Efecto sobre rendimiento y calidad de trigo en experimentos de campo – Suiza.....	23
▪ Efecto sobre rendimiento y calidad de papa en experimento de campo – Suiza.....	25
▪ Rendimiento de tomates en ensayos de campo - California.....	27
▪ Transformación del nitrógeno de estiércoles y composts - California.....	30
▪ Transformación del nitrógeno orgánico de estiércoles - Reino Unido ....	34
▪ Rendimiento de maíz bajo el sistema orgánico y bajo otros sistemas de manejo, en una rotación de cultivos - Minnesota.....	36
▪ Sincronización de la mineralización de nitrógeno orgánico con la absorción de nitrógeno por los cultivos.....	37
▪ Estudio del destino del N aplicado como Nitrato de Sodio Natural y como Sulfato de Amonio al trigo - Bélgica.....	38
▪ Comportamiento similar del Nitrógeno y Azufre en Agricultura Orgánica.....	40
▪ Nitrato de Sodio Natural.....	41
<b>5.1 (a)-2. Los ingredientes serán de origen vegetal, animal, microbiano o mineral y puede ser sometida a los siguientes procesos: físicos (ej. mecánicos o térmicos), enzimáticos, microbianos (ej. compostado, fermentación); la utilización procesos químicos podrá considerarse sólo cuando los procesos mencionados y sólo para la extracción de sustancias inertes y aglutinantes.....</b>	<b>42</b>
▪ Ubicación de los Depósitos de Nitrato de Sodio Natural.....	42
▪ El Desierto de Atacama.....	42
▪ Descripción de los depósitos de Nitrato de Sodio Natural.....	43
▪ Minería del Caliche y Extracción del Nitrato de Sodio Natural.....	44
▪ Sistema de Evaporación Solar - Utilización de Energía Solar Renovable en la Extracción de Nitrato de Sodio Natural.....	45

<b>5.1 (a)-3. Su uso no tiene un efecto perjudicial en el equilibrio del ecosistema del suelo, o las características físicas del suelo, o la calidad del agua y el aire.....</b>	<b>46</b>
▪ Dinámica del ión Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) en el Suelo.....	46
▪ Dinámica del Sodio en el suelo.....	47
▪ El Sodio en la Agricultura.....	48
▪ Comparación del uso continuado por más de 80 años de Sulfato de Amonio y Nitrato de Sodio Natural.....	48
▪ Efecto de fuentes orgánicas e inorgánicas de N sobre la población de lombrices del suelo.....	49
<b>5.1 (a)-4. Su uso podrá restringirse a condición es específicas, región es específicas o productos específicos.....</b>	<b>51</b>
▪ Cosideración es generales.....	51
▪ Suelos Salinos y Sódicos.....	51
<b>Literatura Citada.....</b>	<b>52</b>

## **SUSTANCIA PROPUESTA: Nitrato de Sodio Natural como fuente de nitrógeno para cultivos orgánicos**

### **SECCIÓN 5. REQUISITOS PARA INCLUIR SUSTANCIAS EN EL ANEXO 2 Y CRITERIOS PARA LA CONFECCIÓN DE LISTAS DE SUSTANCIAS POR PAIS.**

#### **Sección 5.1. Principios Generales**

##### **5.1.1. Consistente con los principios de producción orgánica.**

El uso de Nitrato de Sodio Natural (NSN) junto a fuentes orgánicas de nitrógeno (N) en producción de cultivos es consistente con los principios de la agricultura orgánica, por tratarse de una sustancia producida por la naturaleza, no sometida a tratamientos químicos y amigable con el ambiente cuando se usa adecuadamente. Se encuentra en el mineral Caliche en la superficie inerte del Desierto de Atacama, Norte de Chile, y se extrae por medios mecánicos e hidráulicos sin usar procesos químicos. Promueve la biodiversidad y aumenta la actividad biológica al entregar N disponible cuando las fuentes orgánicas están impedidas de hacerlo. Ayuda a mantener la fertilidad a largo plazo al facilitar la formación de humus de sustancias con alto contenido de carbono en relación al N (relación C/N alta) y su uso adecuado no daña ni contamina el ambiente. El NSN proporciona N disponible a cultivos en crecimiento cuando el sistema biológico del suelo no puede transformar el N orgánico a formas disponibles, o lo hace solo a tasas inferiores a las que las plantas necesitan. La transformación tiene dos etapas, la “mineralización” consistente en transformar el N orgánico en ión amonio y la “nitrificación” que consiste en la oxidación del ión amonio a ión nitrato. El término transformación incluye ambas etapas. Las siguientes condiciones afectan el nivel de actividad de los microorganismos y la transformación del N orgánico en el suelo (Brady & Weil, 1999 p. 499-502):

- Bajas temperaturas de suelo,
- Suelo ácido ó alcalino,
- Amplia relación Carbono/Nitrógeno (C/N) en las sustancias orgánicas,
- Condiciones sub-óptimas de humedad u oxígeno en el suelo,
- Presencia de arcillas del tipo smectita o de alofán, y

- Otras situación es que pueden impedir la actividad normal del sistema biológico.

### **5.1.2. El producto es necesario / esencial para el propósito que se utiliza.**

#### Disponibilidad del nitrógeno del suelo para el crecimiento de las plantas.

El Nitrato de Sodio Natural es un complemento necesario para las fuentes de N orgánico que se usan en la producción de cultivos. Además de proveer N nítrico, el NSN también suministra pequeñas cantidades de elementos secundarios y micro-elementos, tales como potasio, magnesio, azufre, boro, cobre y manganeso . El N está presente en el suelo en diferentes formas químicas, en su mayor parte formando parte de compuestos orgánicos. Pero sólo una fracción muy pequeña del nitrógeno total del suelo constituida por las formas inorgánicas o “minerales”  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  , constituye la principal fuente de N absorbido por las raíces de las plantas superiores (Mengel & Kirby, 1987, p 347, 366). Los microorganismos del suelo descomponen las sustancias orgánicas y transforman el nitrógeno orgánico a las formas inorgánicas ó minerales (Brady & Weil, 1999. p. 449-460). Con pocas excepción es, la máxima tasa de crecimiento y el máximo rendimiento y calidad de las plantas se logra cuando las raíces absorben mayoritariamente nitrógeno como  $\text{NO}_3^-$  y el resto como  $\text{NH}_4^+$  (Marschner, 2002. p. 247-250). Algunos factores que afectan la disponibilidad del N del suelo y de sustancias orgánicas se revisan en las siguientes sección es.

Efecto de la temperatura. Durante las estación es frías, que en muchas región es del mundo corresponden al final del otoño, al invierno y parte de la primavera, la actividad microbiana en el suelo es muy lenta o casi nula. La mayor parte de las reacción es biológicas están influenciadas por la temperatura, entre ellas la transformación del nitrógeno orgánico y nitrificación. Así, el coeficiente de temperatura  $Q_{10}$  de la mineralización del nitrógeno es igual a dos dentro del rango de temperaturas de 5 a 35 °C. En este rango, la tasa de mineralización se duplica al cambiar la temperatura en 10 °C., siendo de igual magnitud el efecto inverso. Bajo 5 °C y sobre 40 °C la tasa de mineralización de nitrógeno generalmente cae en forma abrupta, siendo la temperatura óptima de 30 a 35 °C (Tisdale, Nelson, Beaton & Havlin, 1993. p. 134-135). A 10 °C la actividad microbiana puede disminuir a menos de 25% de la tasa normal. En este caso, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  que resulta de la lenta descomposición de las sustancias

orgánicas no es suficiente para producir la cantidad y la calidad de productos agrícolas que demandan los consumidores de productos orgánicos (Hebeisen, Ballmer, Torche & Reust, 2003; Tisdale, Nelson, Beaton & Havlin, 1993.; Nat. Organic Standards Board Tec. Advisory Panel Review, 2002; Small Planet Food, 2002).

El efecto inverso puede ocurrir en estaciónes calurosas, al final de primavera y durante el verano, ya que puede liberarse a partir de las sustancias orgánicas un exceso de nitrógeno mineral en relación a la demanda de los cultivos. Este exceso de nitrógeno mineral puede infiltrarse y contaminar el agua subterránea, produciendo así un daño al medio ambiente. No es posible almacenar nitrógeno disponible para las plantas en el suelo para estaciónes frías y / ó lluviosas. Dependiendo del nivel de humedad del suelo, el N mineralizado queda en el perfil del suelo después de la cosecha de cultivos en verano u otoño y puede ser infiltrado al subsuelo (lixiviado), reducido en su estado químico a la forma de gas  $N_2$  y liberado a la atmósfera, o bien ser absorbido por microorganismos del suelo (Blankenau, Klaus. 2000). En los primeros dos casos el N abandona el perfil del suelo por lo que no estará disponible para los cultivos siguientes. En el tercer caso, el nitrógeno absorbido por los microorganismos permanece en el suelo en forma orgánica durante la estación fría hasta que los cuerpos muertos de estos microorganismos se descomponen y el N orgánico es mineralizado por nueva generación de microorganismos durante la próxima estación cálida.

Efecto del pH. La acidez, reacción o pH del suelo es otro factor que limita la actividad de los microorganismos que efectúan la transformación de sustancias orgánicas en el suelo. El rango de acidez del suelo dentro del cual tiene lugar la transformación del nitrógeno orgánico a nitrato es desde pH 5,5 hasta alrededor de pH 10, siendo el óptimo alrededor de pH 8,5. Sin embargo algún grado de nitrificación ocurre en ciertos suelos a pH 4,5 ó aún más bajo (Tisdale, Nelson, Beaton, 1985. p. 129). La transformación continuada de sustancias orgánicas es de por sí un factor que genera acidez en el suelo, como resultado de la formación de iones  $H^+$  liberados durante la mineralización del nitrógeno orgánico. Un ión hidrógeno  $H^+$  es liberado al suelo por cada ión nitrato  $NO_3^-$  que resulta de la nitrificación. (Tisdale, Nelson & Beaton, 1985. p. 127).

Relación Carbono Nitrógeno (C/N). La transformación del N orgánico a N disponible realizada por microorganismos está influenciada por la relación C/N de la sustancia

agregada al suelo. Si la relación C/N es menor que 20/1 la transformación orgánica ocurre y se libera al suelo N disponible para las plantas. Sin embargo, si la relación C/N es mayor que 30/1 el desbalance debido al exceso de carbono impide que la transformación ocurra, a no ser que exista N disponible en el suelo que pueda ser usado por los microorganismos. El resultado neto es una disminución o inmovilización del N disponible del suelo. Para relación es C/N entre 20/1 y 30/1 puede no ocurrir ni liberación ni inmovilización de N disponible (Tisdale, S.L. et al., 1993. p. 124-125).

Nivel sub-óptimo de humedad y oxígeno en el suelo. El contenido de humedad regula el nivel de oxígeno y la relación entre actividad aeróbica y anaeróbica de los microorganismos en el suelo. El nitrógeno nítrico puede ser producido por transformación es orgánicas en el suelo solamente bajo condición es aeróbicas. El nivel máximo de actividad aeróbica y de formación de nitrato ocurre cuando 50 a 70% del espacio poroso del suelo esta ocupado por agua, mientras el resto del espacio permite la circulación de aire que provee oxígeno. Niveles de agua fuera de este rango dan como resultado un desbalance de la relación entre humedad y oxígeno en el suelo que reduce la formación de nitratos eventualmente originando una deficiencia de este elemento (Havlin, J.L. et al., 1999. p. 108-109).

Tipo de arcilla. Se ha encontrado que las arcillas Esmectita y Alofán estabilizan la materia orgánica y reducen la tasa de formación de nitrato en el suelo. Compuestos orgánicos que contienen N se adhieren a las superficies de las arcillas o se ubican en pequeños poros en la zona intermicelar quedando así protegidos de la descomposición por estar fuera del alcance del ataque microbiano (Brady & Weil. 1999).

Similitud entre el ciclo del Nitrógeno y el ciclo del Azufre.

El elemento azufre (S) tiene un “ciclo natural” similar al ciclo del N, siendo absorbido por las plantas y microorganismos del suelo como ión sulfato. En épocas iniciales de formación de los suelos, la descomposición de minerales del material original daba origen al ión sulfato en la solución del suelo. En época reciente, el compuesto anhídrido sulfuroso atmosférico, producto de quemar combustibles fósiles, ha sido arrastrado por la lluvia e incorporado al perfil del suelo después de ser oxidado a ión sulfato.

Las plantas y los microorganismos reducen el ión sulfato absorbido y las moléculas resultantes forman parte de los compuestos orgánicos en los organismos vivos. Desde esta etapa hacia delante, la molécula de azufre (S) entra en un ciclo orgánico similar al ciclo del nitrógeno (N), y la descomposición de sustancias orgánicas representa un suministro natural de S a los suelos agrícolas. Dado que el exceso de ión sulfato puede ser lixiviado desde el perfil del suelo por el agua, poco o nada del sulfato derivado del material original permanece en los perfiles de suelos maduros. Y debido a la creciente preocupación pública por la contaminación atmosférica, el suministro de sulfato desde la atmósfera se ha reducido sustancialmente. Consecuentemente, la descomposición de sustancias orgánicas representa hoy la principal fuente del ión sulfato de la misma manera que representa la principal fuente de nitrato en la agricultura orgánica.

Sin embargo y a pesar de las similitudes del comportamiento químicas entre los iones sulfato y nitrato, ambos elementos son tratados en forma muy diferente desde un punto de vista práctico. Mientras se acepta que la deficiencia de sulfato, producida por el suministro insuficiente proveniente de la descomposición de sustancias orgánicas, puede ser corregido en la agricultura orgánica mediante el uso de fuentes naturales minerales de azufre, la misma práctica no es permitida para las deficiencias de nitrato, y en particular rechazando el uso del Nitrato de Sodio Natural. Razones técnicas que justifiquen el tratamiento asimétrico dado a estos dos nutrientes no ha sido encontrado en una exhaustiva revisión realizada a la bibliografía mundial relación ada con el tema.

#### Nitrato de Sodio Natural: una fuente complementaria de N en la agricultura orgánica

Suministro de nitrógeno en forma de nitrato de origen natural. El NSN es la sustancia que complementa todas las fuentes de nitrógeno orgánico al proveer nitrógeno en forma de nitrato que puede ser absorbido inmediatamente por las plantas al margen de las condición es climáticas y del pH del suelo, aportando además pequeñas cantidades de micro-elementos. Además, la cantidad de sodio que contiene contribuye a neutralizar acidez del suelo, incluyendo la que se acumulada durante la estación calurosa como consecuencia de la descomposición de las sustancias orgánicas (Pinilla, 1993)

Aporte de Micro-elementos. Un aporte suficiente de micro-elementos esta asociado a la eficiencia del uso del N por los cultivos. Deficiencias de azufre (S), potasio (K), magnesio (Mg), cinc (Zn), cobre (Cu) y boro (B) pueden resultar en una baja eficiencia del N del orden de 19 – 31%, comparada con eficiencias de 74% bajo condición es de suministro óptimo de nutrientes (Schnug, 1991). La aplicación de 35 kg N ha<sup>-1</sup> equivalente a 220 kg de NSN ha<sup>-1</sup> suministra 20% de las necesidades de B, 25% de las necesidades de Mn, 10-15% de las necesidades de Cu, 1-2% de las necesidades de azufre además de 450 y 1000 g de Mg y K, respectivamente.

### **5.1.3. Su extracción minera, uso y eliminación de residuos no tienen efectos nocivos al medio ambiente ni contribuyen a éstos.**

#### Características de la región de origen del Nitrato Natural.

El Nitrato de Sodio Naturales un componente del mineral Caliche , presente en el Desierto de Atacama, ubicado a 1500 km al norte de Santiago, Chile. El Desierto de Atacama es una de las región es más secas del mundo y recibe menos de 2 mm de lluvia al año. El agua de lluvia se evapora casi inmediatamente, quedando la superficie del desierto en una condición seca permanente. La falta de humedad es una condición crítica que ha permitido que el Nitrato de Sodio Natural permanezca en la capa superficial del mineral Caliche del desierto por más de 200.000 años, sin una traza de lixiviación (Ericksen, 1981).

#### Ausencia de suelos y de procesos de formación de suelos.

La condición de sequía permanente del Desierto de Atacama tiene una consecuencia importante sobre su estado geomorfológico. La falta de humedad ha impedido la descomposición de las rocas superficiales (material madre) y el desarrollo de organismos vivos (microbiano, vegetal, animal, humano). Ambos son factores principales en el proceso de formación de suelos y, como consecuencia directa, nunca ha habido un proceso de desarrollo de suelo en el desierto de Atacama. Vida microbiana y vegetal existe solamente donde hay agua de origen subterráneo o traída desde la cordillera para

la minería. En Ciencia del Suelo, estudios pioneros hechos en el campo por V. V. Dukochaev a fines del siglo 19, seguidos por el trabajo de Hans Jenny en el siglo XX y por una cuantiosa investigación de campo y de laboratorio, llevaron a reconocer cinco factores principales que controlan la formación de suelos (Brady, N.C. & R.R. Weil, 1999):

1. Material original (precursores geológicos u orgánicos del suelo).
2. Clima (fundamentalmente precipitación y temperatura).
3. Biota ( organismos vivos, especialmente vegetación natural, microbios, animales del suelo y seres humanos).
4. Topografía (pendiente, aspecto y posición en el paisaje).
5. Tiempo (período de tiempo desde que los materiales originales fueron expuestos a la formación del suelo).

Los suelos se definen en términos de estos factores como “cuerpos naturales dinámicos que tienen propiedades derivadas del efecto combinado de actividades climáticas y bióticas, modificadas por la topografía, que actúan sobre los materiales originales a lo largo de períodos de tiempo”. Como consecuencia de la falta de humedad y de organismos vivos, no existe suelo actualmente en el desierto de Atacama y tampoco se ha encontrado evidencia de suelos enterrados. La superficie del desierto está cubierta sólo por polvo y rocas y nunca ha sido objeto de un proceso de interperización.

Esta clase de superficie particular del desierto de Atacama ha atraído a la NASA a probar sus vehículos de aterrizaje y procedimientos para estudiar la Luna y Marte. En una publicación reciente en la revista Science Magazine (Navarro-Gonzalez, R., Rainey, F.A., & Others. 2003), un equipo de investigadores de Luisiana State University, NASA y la Universidad Nación al Autónoma de México informan del descubrimiento de un área de la Tierra que es sorpresivamente similar a la superficie del planeta Marte. La Misión Viking de la NASA a Marte durante la década de 1970 mostró que la superficie marciana no tiene vida ni materiales orgánicos que son los precursores necesarios para la vida. Durante el año pasado, se condujeron experimentos similares a los realizados por la Misión Viking para identificar la presencia de microorganismos en el Desierto d Atacama, sin encontrarse evidencia de ninguna forma de vida.

Extracción del Nitrato de Sodio Natural y uso de agua.

Durante el proceso de extracción el mineral Caliche se muele y el nitrato es lixiviado con agua a 35-40 °C bajo condición es controladas, y posteriormente separado de la solución por cristalización a menor temperatura.

La disponibilidad de agua para el proceso de extracción es muy limitada y proviene de la Cordillera de Los Andes, por lo que todas las solución es acuosas son recicladas. La única pérdida de agua es desde las pozas de evaporación en que las solución es se someten a concentración por energía solar directa. Este sistema que captura energía solar en forma permanente durante los 365 días del año compensa el uso de otro tipo de energía en el proceso de extracción. En todo el período de extracción del Nitrato de Sodio Natural no se producen efluentes líquidos.

#### Uso del Nitrato de Sodio Natural

Cuando se aplica Nitrato de Sodio Natural a los cultivos es posible ejercer un alto nivel de control sobre la cantidad y oportunidad del nivel de nitrato aprovechable en el suelo. Experimentos con nitrógeno marcado <sup>15</sup>N demostraron que dividiendo el aporte de nitrato en varias aplicación es, éstas pueden sincronizarse con la tasa de absorción de nitrógeno por el cultivo. De este modo se reduce al mínimo la cantidad de nitrato que queda en el perfil del suelo después de la cosecha, el cual puede ser objeto de lixiviación y así llegar a ser dañino para el ambiente (Riga, A. Et al., 1988). Respecto al contenido de sodio del Nitrato Natural, este fertilizante se ha aplicado en el Experimento Clásico de Rothamsted en Inglaterra por más de 100 años sin perjuicio para el suelo (Cooke, 1982). Este tema se discute más en detalle en sección es posteriores de este documento.

#### Eliminación.

Siendo un producto de gran utilidad para la producción de cultivos, no se debería eliminar el Nitrato de Sodio Natural por cuanto no pierde sus propiedades a través del tiempo. El NSN no debería eliminarse y puede almacenarse por períodos prolongados para ser usado en siguientes temporadas de cultivo ya que no se alteran sus características si se cumplen las recomendación es de almacenaje comunes a los fertilizantes.

Toda la evidencia científica y técnica indica que tanto la minería, como el uso apropiado y almacenamiento del Nitrato de Sodio Natural no produce, o contribuye a ningún efecto perjudicial para el medio ambiente. Esta conclusión es apoyada además por el hecho histórico de que esta sustancia ha sido usada con seguridad por agricultores para proporcionar N a sus cultivos, en muchos países en diferentes continentes, por más de cien años.

#### **5.1.4. El menor impacto negativo sobre la salud humana ó animal y la calidad de vida.**

El correcto uso del Nitrato de Sodio Natural como fuente de N para los cultivos no tiene efecto negativo sobre la salud humana ó animal y la calidad de vida. Si se usa en forma incorrecta, es posible que pueda ocurrir un impacto negativo de los nitratos del suelo cuando éstos se lixivian al subsuelo y contaminan el agua subterránea. Sin embargo, como se indicó en el # 5.1.3 anterior, la lixiviación de nitratos ocurre sólo cuando no se emplean adecuadamente. Esto es, cuando (a) la dosis aplicada excede por amplio margen la adecuada a las condición es del cultivo y del suelo, y, (b) el calendario de aplicación o la disponibilidad de nitrógeno en el suelo no se sincronizan con la tasa y oportunidad de la absorción de nitrógeno por el cultivo en desarrollo (Havlin, Beaton, Tisdale & Nelson, 1999; Riga, A. Et al., 1988; McGill & Myers, 1987). Sin embargo, como se explica en otras sección es del presente documento, el Nitrato Natural es el que menos contamina entre las fuentes de nitrógeno fertilizante siempre que se cumplan las siguientes condición es, que son válidas para todas las fuentes de N, (a) que la dosis que se aplica corresponda a la necesidad real del sistema suelo / planta, y, (b) que el momento de aplicación esté sincronizado con el ritmo de absorción de nitrógeno por la planta a lo largo de su ciclo de crecimiento. El Sodio es también un constituyente natural del perfil de suelo, y las cantidades de Sodio aplicadas con el NSN están dentro de los límites normales de Sodio en el suelo. Siendo un elemento alcalino, el Sodio neutraliza la acidez producida por la descomposición de sustancias orgánicas. Además, sirve de nutriente a las plantas halófilas, reemplazando parte del potasio en remolacha azucarera y otras especies. Los contenidos de Cadmio , Arsénico, Cromo y Plomo son menores que un  $\text{mg kg}^{-1}$  , y el total de metales pesados expresados como Plomo es menos de  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  . Estos niveles están entre los más bajos de los fertilizantes naturales.

### **5.1.5. No hay otras alternativas aprobadas disponibles.**

Como se analiza en varias partes de este documento, la liberación biológica de ión es amonio y nitrato – las formas de N que pueden ser absorbidas por los cultivos – a partir de sustancias o productos orgánicos en el suelo está fuertemente limitada por (a) el contenido relativamente bajo de N en las sustancias orgánicas, (b) por las bajas temperaturas del suelo durante la estación fría, y, (c) por otras condiciones del suelo, cultivo y clima. El efecto limitante de las bajas temperaturas sobre la mineralización de nitrógeno orgánico es una consecuencia inevitable de la dependencia de los sistemas biológicos terrestres de este importante factor ecológico. Este factor natural no puede ser controlado por el hombre en terrenos abiertos, en contraposición al control que se puede ejercer, por ejemplo, en invernaderos u otros sistemas cerrados de producción.

Sólo las formas de N cuya disponibilidad para las plantas no depende de transformación biológica en el suelo (mineralización, nitrificación) pueden alimentar cultivos durante todas las estaciones, incluso durante aquellas en que las condiciones de suelo y clima son desfavorables. El Nitrato de Sodio Natural es la única fuente de nitrógeno no-sintética - que existe en forma natural, que es extraída sólo con tratamientos mecánicos con uso de energía solar - que proporciona el suplemento de nitrógeno necesario dentro de la definición de Agricultura Orgánica. El uso de esta fuente natural de N permite que grandes áreas del mundo bajo producción agrícola orgánica continúen con su producción orgánica a lo largo de todo el año. El beneficiario final será no sólo el productor sino también el consumidor de productos orgánicos, ya que este último puede contar con abastecimiento seguro de éstos productos orgánicos durante todo el año.

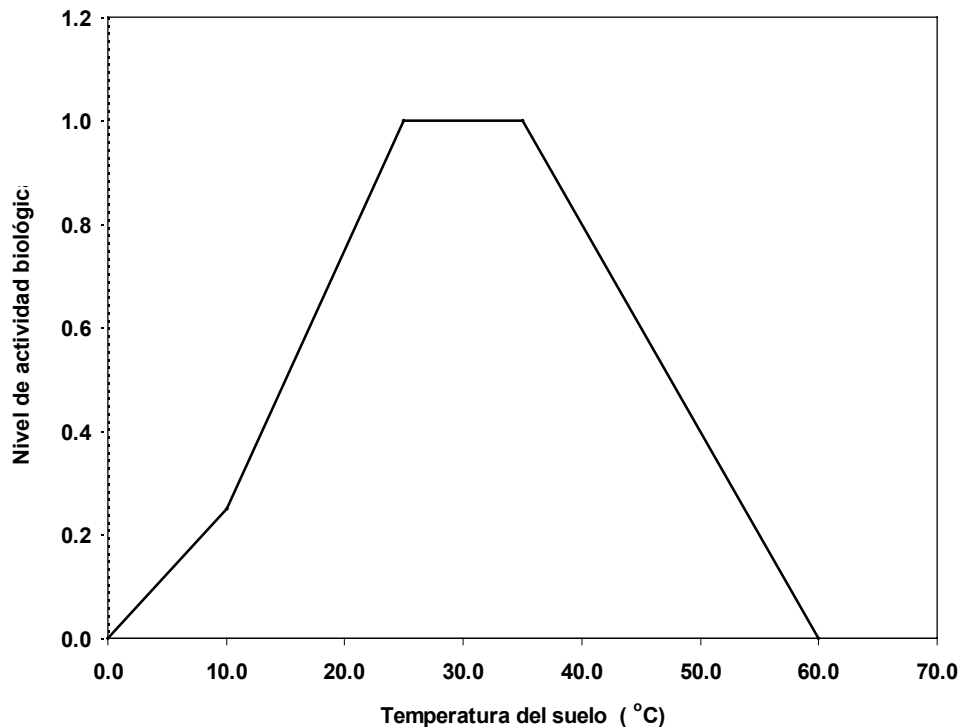
## Sección 5.1(a). Si se usan con fines de fertilización o acondicionamiento de suelos.

5.1(a)-1. Son esenciales para obtener o mantener la fertilidad del suelo o para cumplir con requisitos específicos de nutrición de cultivos, o propósitos específicos de acondicionamiento de suelos y rotación que no pueden ser satisfechos por prácticas incluidas en el Anexo 1, o por otros productos incluidos en la Tabla 2 del Anexo 2.

### Transformación del Nitrógeno Orgánico.

Todas las formas de nitrógeno orgánico, i.e., en cultivos de leguminosas para abono verde, compost, estiércol, etc., necesitan ser transformadas en forma natural en el suelo a formas minerales de nitrógeno, principalmente nitrato, para poder ser absorbidas por las raíces de las plantas. Esta transformación es llevada a cabo por microorganismos del

**FIG. 1. Efecto de la temperatura del suelo en el nivel de actividad biológica.**



**Fuente:** Doran, J.W. & M.S. Smith. 1987. Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients. In Follet, R.F. & others. Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. Madison, WI, USA, SSSA Special Publication No. 19. p. 53-72.

suelo y es dependiente, entre otros factores, de la temperatura del suelo, el pH y la aireación del suelo. Cuando la temperatura del suelo es inferior a 12 °C, la actividad relativa de los microbios del suelo es menor de 25% (Fig. 1) (Doran and Smith, 1987) con lo que no se genera suficiente  $\text{NO}_3^-$ -N aprovechable para satisfacer las necesidades de un cultivo saludable a fines de invierno o temprano en primavera.

No se puede almacenar suficiente ión nitrato  $\text{NO}_3^-$  en forma disponible en el perfil del suelo en verano y en otoño. Durante fines de otoño, invierno y comienzos de primavera ocurre la mayor parte de la lixiviación de nitrato en zonas con climas templado húmedo y mediterráneo (Brady & Weil, 1999. p. 505). Parte del nitrato  $\text{NO}_3^-$  del suelo puede también ser absorbido por microorganismos (Blankenau, Klaus. 2000. p 25-45) y no es liberado hasta la siguiente estación cálida de crecimiento, cuando sus cuerpos en descomposición son mineralizados. Los efectos iniciales más visibles de la restricción del suministro de nitrato  $\text{NO}_3^-$  en la producción de cultivos son la reducción del rendimiento y de los parámetros de calidad.

#### Efecto sobre el rendimiento y la calidad de trigo en experimentos de campo - Suiza.

En un ensayo de rotación de largo plazo de siete años que incluía trébol Rosado / pasto, trébol Rosado / pasto, papas, trigo de invierno, repollo, colza, trigo de invierno y centeno invernal, se comparó el método de producción convencional al con el método orgánico. El método convencional incluyó fertilizantes minerales y orgánicos mientras que el método orgánico incluyó sólo fuentes orgánicas de elementos nutritivos. Luego de completar el tercer ciclo de rotación, el rendimiento promedio del trigo producido orgánicamente fue de sólo 86% de aquel producido por el método convencional. El rendimiento de las papas producidas orgánicamente fue de sólo 63% del de las papas producidas en forma convencional (Dubois, D. Et al., 2003). Los resultados de dos años de un ensayo de variedades de trigo cultivado bajo los sistemas orgánico y convencional se muestran en la Tabla 1. En este ensayo, el promedio del rendimiento de todas las variedades que recibieron fertilizantes orgánicos fue 20% inferior al rendimiento promedio de las mismas variedades que recibieron fertilizantes convencionales. Además, el contenido promedio de proteína en el tratamiento orgánico fue 11% menor que el

contenido de proteína del tratamiento convención al. De este modo, el efecto más significativo del tratamiento orgánico, además de la reducción de rendimiento de grano y

**TABLA 1. RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE PROTEINA DE VARIEDADES DE TRIGO DE INVIERNO EN CULTIVO CONVENCIONAL Y ORGÁNICO. PROMEDIO 2000 AND 2001.**

Variedad de trigo	Rendimiento de grano				Contenido de Proteina			
	Convencional	Orgánico	Diferencia		Convencional	Orgánico	Diferencia	
	tm ha <sup>-1</sup>	tm ha <sup>-1</sup>	tm ha <sup>-1</sup>	%	%Pc	%Po	%Pc-%Po	%Dif
Arina	5.81	4.89	0.92	15.83	13.6	12.1	1.5	11.0
Tamara	5.81	4.45	1.36	23.41	14.3	13.4	0.9	6.3
Runal	6.22	4.98	1.24	19.94	14.2	12.6	1.6	11.3
Lona	5.91	4.57	1.34	22.67	14.1	12.5	1.6	11.3
Titlis	6.32	5.19	1.13	17.88	14.5	12.6	1.9	13.1
Taneda	6.56	4.81	1.75	26.68	14.0	12.9	1.1	7.9
Levis	7.14	5.31	1.83	25.63	13.0	11.4	1.6	12.3
Pegassos	7.52	6.62	0.90	11.97	11.8	9.9	1.9	16.1
Promedio	6.41	5.10	1.31	20.41	13.7	12.2	1.5	11.1

Fuente: Menzi, M. & M. Anders. 2003. Essais varietaux de cereales dans les conditions de l'agriculture biologique. Zurich-Rekenholz, Swiss, Station federale de recherches en agroecologie. Les Cahiers de la FAL 45, pp 24-29

de contenido de proteína, es el efecto compuesto que se refleja en la disminución de la proteína vegetal producida por unidad de área cultivada. La Tabla 2 muestra el efecto combinado del menor rendimiento y menor % de contenido proteico sobre el rendimiento de proteína por unidad de superficie, así como también los resultados de la prueba de sedimentación de Zeleny.

**TABLA 2. RENDIMIENTO DE PROTEINA Y TEST DE SEDIMENTACION ZELENY PARA VARIEDADES DE TRIGO BAJO CULTIVO CONVENCIONAL Y ORGÁNICO. PROMEDIO 2001 Y 2002.**

Variedad de trigo	Rendimiento de Proteina				Test de Sedimentación Zeleny			
	Convencional	Orgánico	Diferencia		Convencional	Orgánico	Diferencia	
	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	%	mL	mL	mL	%
Arina	790	592	198	25.1	54.3	50.8	3.5	6.4
Tamara	831	596	235	28.2	71.3	64.5	6.8	9.5
Runal	883	627	256	29.0	62.5	57.5	5.0	8.0
Lona	833	571	262	31.4	66.3	58.0	8.3	12.5
Titlis	916	654	262	28.6	67.5	59.5	8.0	11.9
Taneda	918	620	298	32.4	65.9	62.3	3.6	5.5
Levis	928	605	323	34.8	60.4	51.8	8.6	14.2
Pegassos	887	655	232	26.1	54.6	41.2	13.4	24.5
Promedio	873	615	258	29.6	62.9	55.7	7.1	11.4

Fuente: Menzi, M. & M. Anders. 2003. Essais varietaux de cereales dans les conditions de l'agriculture biologique. Zurich-Rekenholz, Swiss, Station federale de recherches en agroecologie. Les Cahiers de la FAL 45, pp 24-29

El rendimiento de proteína disminuyó en promedio 258 kg ha<sup>-1</sup> equivalente a 30% menos en el tratamiento orgánico en comparación al convencional. Más aún, la prueba de sedimentación de Zeleny es un 11,4% más bajo en el tratamiento orgánico. La disminución de ambos, el contenido de proteína y la prueba de sedimentación tienen un importante efecto negativo en la calidad panadera de la harina y en el pan, y esto se verá reflejado en el precio que el agricultor orgánico recibe por su trigo. También para el consumidor de productos orgánicos la importancia del trigo orgánico como fuente de proteína vegetal disminuye sustancialmente.

#### Efecto sobre el rendimiento y la calidad de papas en experimentos de campo - Suiza.

En el ensayo de rotación es de largo plazo citado al comienzo de la sección Trigo, el rendimiento de papas que recibieron los fertilizantes orgánicos permitidos fue de sólo un 63% del rendimiento de las papas fertilizadas con fertilizantes orgánicos y minerales que están en el Programa PER (Agricultura Integrada de Bajos Insumos, con algún terreno adición al usado para “compensación ecológica”, i.e., relativamente cercana a una agricultura orgánica), (Dubois, D. Et al. 2003).

Un grupo de ensayos con variedades de papas cultivadas bajo los sistemas orgánico y PER durante las cuatro estaciones desde 1997/1998 a 2000/2001 (Hebeisen et al., 2003) confirmó los resultados obtenidos por Dubois et al. (2003). Los resultados de estos ensayos de variedades se muestran en la Tabla 3.

El rendimiento promedio de los cuatro años para todas las variedades de papas cultivadas por el sistema PER fue de 34,4 tm ha<sup>-1</sup>, mientras que el rendimiento promedio con el sistema orgánico fue de 18,9 tm ha<sup>-1</sup>. El rendimiento promedio con el sistema orgánico fue sólo 55% del rendimiento obtenido con el sistema PER.

En la Tabla 3 también es importante notar que a pesar de las diferencias normales que deberían esperarse entre variedades y años, la relación entre el rendimiento del sistema orgánico con respecto al rendimiento con el sistema PER permaneció casi constante, en 0,55 ó 55%, durante los cuatro años. De acuerdo a los autores (Hebeisen et al., 2003), el rendimiento potencial de las variedades de papas no puede alcanzarse plenamente bajo

el sistema orgánico debido principalmente a enfermedades tempranas (roya o tizón) y a un insuficiente aporte de nitrógeno, que se traduce en un desarrollo débil y una senescencia temprana de las hojas. Más aún, incluso las variedades tolerantes a la roya no tuvieron un rendimiento significativamente mejor.

**TABLE 3. RENDIMIENTO PROMEDIO DE VARIEDADES DE PAPA COMERCIAL. ENSAYOS 1997 - 2001.**

Year	Variedad	Norma orgánica tm ha <sup>-1</sup>	Norma PER tm ha <sup>-1</sup>	Org / PER %
1997/1998	Marabel	19.3	40.6	47.5
	Velox	21.9	33.1	66.2
	Sirtema [1]	23.5	38.1	61.7
	Bintje [1]	18.0	36.9	48.8
	Average	20.7	37.2	55.6
1998/1999	Victoria	17.5	37.1	47.2
	Appel	20.2	36.1	56.0
	Bintje	18.0	29.6	60.8
	Average	18.6	34.3	54.2
1999/2000	Naturella	19.4	30.8	63.0
	Synfonia	21.7	34.4	63.1
	Bintje	11.3	30.7	36.8
	Average	17.5	32.0	54.6
2000/2001	Agata	22.3	34.8	64.1
	Cherie	18.2	31.5	57.8
	Laura	19.7	36.4	54.1
	Sistema	18.7	32.7	57.2
	Bintje	14.2	32.8	43.3
	Average	18.6	33.6	55.4
Overall average		18.9	34.4	55.1

[1]: Variedades estandar.

Source: Hebeisen, Thomas, et al. 2003. Etude varietale pour la culture biologique des pommes de terre: le point de la situation. Zurich-Rekenholz, Swiss, Station Federale de Recherches en Agroecologie. Les Cahiers de la FAL 45, pp 30-36

En comparación a otros cultivos, la papa tiene una necesidad relativamente alta de nitrógeno que debe ser satisfecha en un período de tiempo más bien corto. De acuerdo a Walter, 1990, y a Walter et al., 1996, citados por Hebeisen et al. (2003), la papa absorbe el 80% del nitrógeno dentro de cuatro a seis semanas después de la emergencia. Más aún, debido al desarrollo limitado del sistema radicular, el aporte de nutrientes debe concentrarse en un volumen de suelo más bien pequeño.

Respecto al efecto del sistema de cultivo sobre la calidad de las papas, Hebeisen et al. (2003) hicieron las siguientes observaciones sobre los resultados del experimento.

- Almidón. El contenido de almidón no fue diferente entre los dos sistemas de cultivo. En consecuencia, la producción de almidón por unidad de área cultivada en el sistema orgánico fue casi la mitad del almidón producido bajo el sistema PER.
- Calidad física. Bajo el sistema orgánico, más tubérculos tenían huecos y los tamaños estaban por encima de las normas comerciales. Esto se debió a un abastecimiento de nutrientes más limitado, particularmente de nitrógeno.
- Época de comercialización. Las papas producidas orgánicamente maduraron temprano por lo que fueron al mercado antes que las papas de la misma variedad producidas convencionalmente. Esto trastorna la época normal de la cadena logística y requiere mayores gastos de almacenaje.

#### Rendimiento de tomates en ensayos de campo - California.

Se estudió cuatro rotaciones de cultivos y sistemas de manejo en 1994 y 1995, en relación al crecimiento y rendimiento de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) para procesamiento industrial, bajo condiciones de riego, en el valle de Sacramento, cerca del Campus de Davis de la Universidad de California. Las rotaciones de cultivos fueron:

1. Convención al, rotación de cuatro años (conv-4).
2. Convención al, rotación de dos años (conv-2).
3. Con bajos insumos, rotación de cuatro años, y
4. Orgánico, rotación de cuatro años.

En la rotación de cuatro años (conv-4) los cultivos fueron tomate-azafrán-maíz-trigo (ó avena + habas) / frijol. En la rotación de dos años (conv-2) los cultivos fueron tomate-trigo. En los sistemas convencionales el N se proporcionó mediante fertilizantes minerales; en

el sistema de bajos insumos se proporcionó en forma de abono verde de habas más fertilizante mineral; y en el sistema orgánico se proporcionó en forma de abono verde de habas más estiércol de pavo. Las dosis de aplicación se indican en la Tabla 4.

**TABLA 4. DOSIS Y FUENTES DE NITROGENO APLICADAS A TOMATE CULTIVADO BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE AGRICULTURA**

Sistema de producción	N aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )							
	1994				1995			
	Fertilizante sintético	Abono verde	Estiercol	Total	Fertilizante sintético	Abono verde	Estiercol	Total
Convencional-4	162			162	173			173
Convencional-2	162			162	173			173
Bajo insumos	95	111		206	95.0	64		159
Orgánico		103	130	233		82	125	207

Fuente: Cavero, J., Plant, R.E., Shennan, C. & D.B. Friedman. 1997. The affect of nitrogen source and crop rotation on the growth and yield of processing tomatoes. The Netherlands, Kluwer Academic Publ., Nutrient Cycling for Agroecosystems 42:271-282.

El cultivo de tomate se estableció mediante siembra directa en los dos sistemas convencionales. En los sistemas de bajos insumos y orgánico hubo que efectuar un trasplante debido al control de malezas menos completo en estos dos sistemas. Los rendimientos de tomates por año y por sistema de producción se muestran en la Tabla 5.

**TABLA 5. RENDIMIENTO DE TOMATE POR AÑO Y SISTEMA DE PRODUCCIÓN**

Sistema de producción	Rendimiento de tomate (tm ha <sup>-1</sup> )		Rendimiento promedio	
	1994	1995	tm ha <sup>-1</sup>	%
Convencional-4	92.9	74.5	83.7	100
Convencional-2	83.0	67.2	75.1	90
Bajo insumos	62.6	80.3	71.5	85
Orgánico	54.6	64.5	59.6	71

Fuente: Cavero, J., et al. 1997. The affect of nitrogen source and crop rotation on the growth and yield of processing tomatoes. The Netherlands, Kluwer Academic Publisher, Nutrient Cycling in Agroecosystems 42:271-282.,

En 1995 los tomates producidos con los sistemas bajos insumos y conv-4 tuvieron rendimientos similares, los cuales fueron superiores a los de los sistemas conv-2 y orgánico. El menor rendimiento con el sistema orgánico en 1995 se debió a una deficiencia de nitrógeno relacionada con un bajo nivel de N mineralizado en el suelo y a la lenta liberación de N mineral desde el cultivo protector + estiércol. Durante la temporada, se mineralizó una alta proporción del N proveniente del abono verde de habas pero sólo una baja proporción del nitrógeno del estiércol de pavo. El bajo nivel de N disponible en el suelo con el sistema orgánico se reflejó en la baja concentración de N en forma de nitrato medido en los pecíolos de hojas de tomate en tres estados de desarrollo de las plantas (Tabla 6).

**TABLA 6. N-NO<sub>3</sub> EN PECÍOLOS DE TOMATE EN DIFERENTES ESTADOS DE DESARROLLO**

Sistema de producción	N-NO <sub>3</sub> (ppm MS)					
	1994			1995		
	Floración	Fruto de 1 pulgada	Primer color	Floración	Fruto de 1 pulgada	Primer color
Convencional-4	14,275	9,225	775	7,920	7,653	240
Convencional-2	14,850	11,095	1,225	7,770	6,968	587
Bajo insumos	1,373	2,327	233	8,580	5,630	80
Orgánico	4,267	845	50	1,022	690	60

Fuente: Cavero, J., et al. 1997. The affect of nitrogen source and crop rotation on the growth and yield of processing tomatoes. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers. Nutrient Cycling in Agroecosystems 42:271-282.

Otras mediciones y análisis efectuados en las plantas, que no se muestran en este informe, confirmaron los bajos niveles de N disponible en el suelo (Cavero et al., 1997).

Durante 1994 las plantas de tomate cultivadas con los sistemas de bajos insumos y orgánico también fueron objeto de niveles bajos de N disponible en el suelo durante la temporada 1994. Esto se manifestó en los bajos niveles de N en forma de nitrato en los pecíolos (Tabla 6) así como también en otras determinaciones analíticas.

La medición directa de (nitrato + amonio) en muestras de suelo tomadas a 0-30 y 30-90 cm de profundidad, confirmaron también los bajos niveles de nitrógeno disponible en los suelos bajo sistema orgánico (Cavero et al., 1997).

No hay referencia sobre efectos de fuentes y disponibilidad de N en la calidad de tomate en la publicación de Cavero (1997) analizada en los párrafos anteriores.

#### Transformación del nitrógeno de estiércoles y composts - California

El estudio de Cavero et al. (1997) revisado en la sección anterior indica que una de las razones de la baja disponibilidad de N para el tomate cultivado mediante el sistema orgánico fue la baja proporción de mineralización de N a partir del estiércol de pavo durante la estación de crecimiento.

Dada la importancia de las sustancias orgánicas como fuentes suplementarias de N para cultivos producidos bajo el sistema orgánico, Hartz, Mitchel y Gianini (2000) condujeron una investigación en dos partes para evaluar la dinámica de la mineralización de nitrógeno (N) y carbono (C) en estiércoles, estiércoles compostados y composts de residuos vegetales y de residuos de patios municipales. Una parte del estudio fue un ensayo biológico en el cual para medir el N liberado por las diferentes enmiendas se empleó plantas de Festuca (*Festuca arundinacea* Shreb.) cultivadas en macetas bajo condiciones ambientales controladas. La otra parte del estudio consistió en mediciones directas de laboratorio del N y C mineralizados por las enmiendas incubadas bajo técnicas estandarizadas de laboratorio a 25 °C. Como afirman los autores, “el objetivo primordial de este estudio fue determinar la dinámica de la mineralización de N en una variedad de estiércoles y composts representativo de aquellos de uso común como enmiendas del suelo en la producción hortícola de California” (Hartz and Gianini, 2000).

En la Tabla 7 se describe un resumen de características seleccionadas de las enmiendas orgánicas incluidas en el estudio.

La concentración de N total en las enmiendas osciló entre 4,7 y 1% y la de N orgánico entre 3,9 y 1%. Los estiércoles no compostados tuvieron los mayores niveles de N y las máximas diferencias entre los dos tipos de N, debido probablemente a un mayor

contenido de N mineral. El compostaje ocasiona a una reducción de la diferencia entre N total y orgánico, siendo este efecto más marcado a medida que el contenido de N de la

**TABLA 7. RANGO DE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE SUSTANCIAS ORGANICAS**

Suatancia	Número de muestras	N Total %	N Organico %	P %	K %	Relación C/N
<u>Estiercol</u>						
Ave, peletizado	1	4.7	3.9	5.2	2.6	4.5
Ave, desecado	1	3.3	3.0	1.1	2.0	9.0
Ave, envejecido	3	3.1 - 2.5	2.9 - 2.2	2.6 - 1.9	3.2 - 2.7	9.1 - 11.6
Corral engorda, envej.	2	2.4 - 2.0	2.0	1.3 - 1.1	1.7 - 1.4	12.4 - 12.5
<u>Compost de estiercol</u>						
Ave	7	3.8 - 1.3	3.6 - 1.3	1.4 - 2.9	0.5 - 3.0	5.7 - 10.2
Corral engorda	6	2.2 - 1.9	2.2 - 1.8	1.2 - 0.6	3.2 - 2.0	8.8 - 11.4
Lechería	2	1.5 - 1.2	1.4 - 1.2	1.1 - 0.5	1.8 - 1.5	10.5 - 14.0
<u>Compost de residuos</u>						
Cultivos	1	1.2	1.2	0.2	1.4	9.3
Sitios municipales	8	1.7 - 1.0	1.7 - 1.0	0.4 - 0.2	1.4 - 0.6	9.3 - 15.5

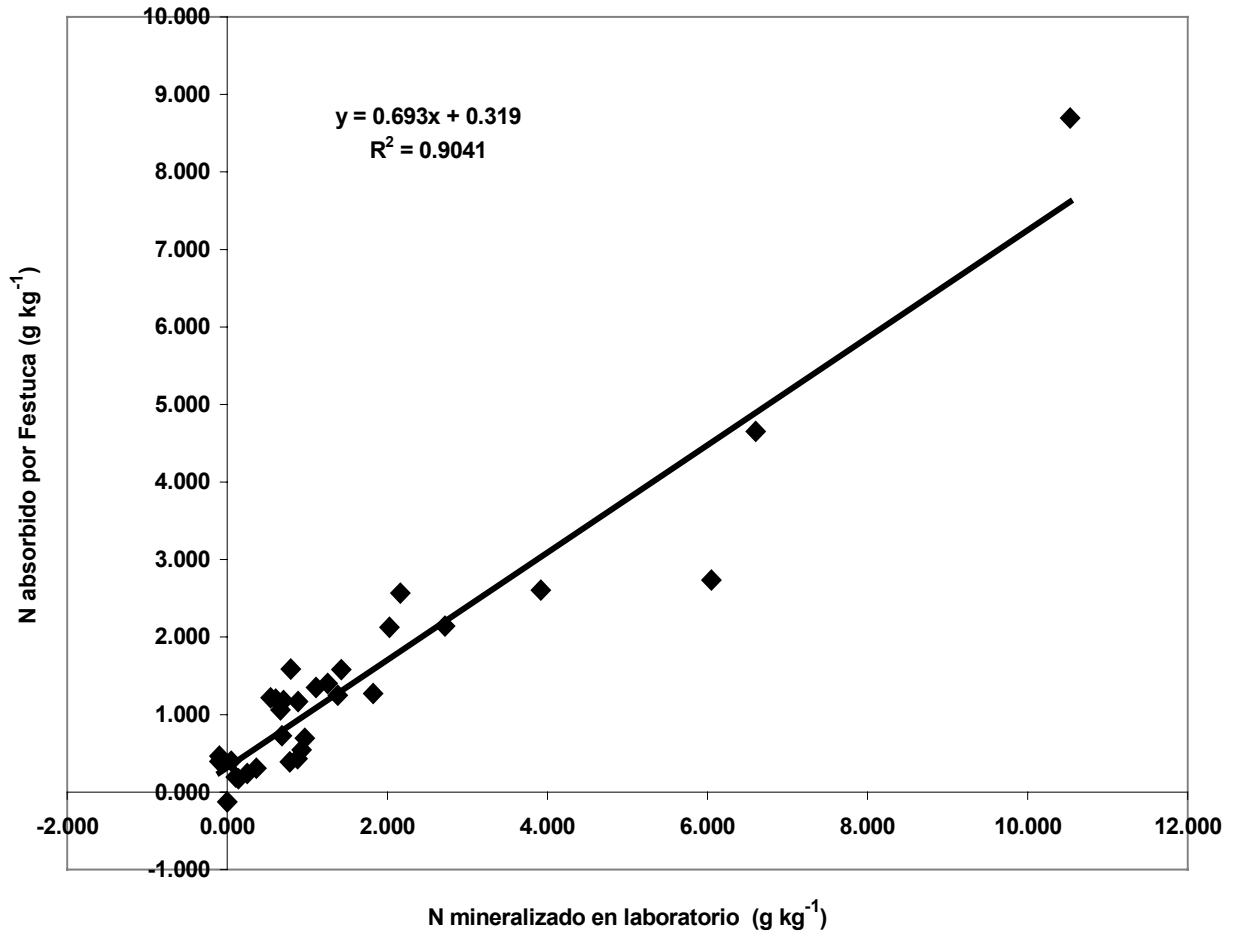
Fuente: Hartz, T.K., Mitchell, J.P. & C. Giannini. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. HortScience 35(2): 209-212.

enmienda disminuye. No se observó diferencia bajo una concentración de N inferior a 1,4%, excepto para los residuos de patios municipales. La relación C/N muestra una

tendencia a aumentar cuando disminuye el contenido de N de la enmienda. Las tasas de mineralización de N desde las enmiendas orgánicas, medidas en el ensayo que usó Festuca (*Festuca arundinacea* Shreb) y por la prueba de incubación en laboratorio, presentaron un alto coeficiente de correlación,  $R^2 = 0,91$ . La ecuación de regresión lineal y el coeficiente de determinación  $R^2$  se muestran en la Fig. 2.

La alta correlación entre el método de incubación en laboratorio y el método de ensayo en macetas con plantas indica que el primero es un procedimiento analítico adecuado para estimar la cantidad de nitrógeno orgánico que será disponible para la planta proveniente de enmiendas orgánicas. Sin embargo, dado el fuerte efecto de la temperatura sobre la actividad microbiana antes indicada en este documento, se puede esperar menores tasas de mineralización a las temperaturas más bajas que prevalecen durante épocas frías en muchas región es agrícolas del mundo.

FIGURA 2. CORRELACION ENTRE N ABSORBIDO POR FESTUCA (*Festuca arundinacea* Shreb.) EN ENSAYO DE MACETAS Y N MINERALIZADO BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO



**Fuente:** Hartz, T.K., Mitchell, J.P. & C. Giannini. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. *HortScience* 35(2): 209-212.

En la Tabla 8 se muestran valores promedios de absorción total de N por las plantas de Festuca y tasas de mineralización de N orgánico promediadas para diferentes tipos de enmiendas. Las cantidades absolutas de N mineralizado variaron desde 10,5 a menos de 1,0 kg de N tm<sup>-1</sup> de enmienda, lo que corresponde a un rango que va desde 27,0% a 1,3% del nitrógeno orgánico presente. Los estiércoles animales no compostados tienen los mayores contenidos de N orgánico y el mayor porcentaje de aquel N que se mineraliza, variando de 39 a 20 kg de N tm<sup>-1</sup> y de 27% a 11,4% respectivamente.

**TABLA 8. NITRÓGENO ABSORBIDO POR FESTUCA (*Festuca arundinacea* Shreb.) DESDE EL N TOTAL Y N MINERALIZADO DESDE EL N ORGÁNICO, CONTENIDOS EN SUSTANCIAS ORGÁNICAS. VALORES PROMEDIO.**

Sustancias orgánicas	Número de muestras	N total promedio kg tm <sup>-1</sup>	N absorbido por Festuca [1]		N orgánico promedio [1]		N orgánico mineralizado [2]	
			kg tm <sup>-1</sup>	%	kg tm <sup>-1</sup>	%	kg tm <sup>-1</sup>	%
<u>Estiercol</u>								
Ave, peletizado	1	47	8.70	18.5	39	83	10.53	27.0
Ave, desecado	1	33	4.70	14.2	30	91	6.60	22.0
Ave, envejecido	3	28	2.43	8.7	26	93	2.70	10.4
Corral engorda, envej	2	22	1.71	7.8	20	91	2.27	11.4
<u>Compost de estiercol</u>								
Ave	7	24	1.47	6.1	23	96	1.83	8.0
Corral engorda	6	21	1.01	4.8	20	95	0.74	3.7
Lechería	2	14	0.82	5.8	13	93	0.74	5.7
<u>Compost de residuos</u>								
Cultivos	1	12	0.40	3.3	12	100	-0.06	-0.5
Sitios municipales	8	15	0.27	1.8	15	100	0.19	1.3

[1]: kg N por tm de sustancia; % del N total en la sustancia.

[2]: kg N por tm de sustancia; % del N orgánico en la sustancia; .

Fuente: Hartz, T.K., Mitchell, J.P. & C. Giannini. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. HortScience 35(2): 209-212.

Los composts de residuos, ya sea de cultivos o de desechos de patio municipales, tienen el más bajo contenido de N orgánico y las menores tasas de mineralización, variando de 15 a 12 kg tm<sup>-1</sup> y de 1,3% a -0,5% respectivamente. Esta última cifra, correspondiente al compost de residuos vegetales, representa una inmovilización neta de N mineral por parte de la enmienda en vez de una liberación de N mineralizado. Los composts de estiércoles presentan cifras intermedias entre los estiércoles no compostados y los composts de residuos. Las cifras promedio de N total recuperado en el bioensayo con Festuca siguen un patrón similar a aquellas de la prueba de laboratorio para mineralización de N, lo que concuerda con la alta correlación entre las observaciones individuales respectivas, como se vio en la Fig. 2.

Desde un punto de vista práctico, la información en la Tabla 8 indica que para proporcionar a un cultivo, por ejemplo, 50 kg de N disponible ha<sup>-1</sup> cuando la temperatura del suelo al menos durante el día es de alrededor de 25 °C, la cantidad requerida de enmienda variará en un rango de 5 a 20 tm ha<sup>-1</sup> cuando se emplea estiércoles no

compostados, de alrededor de 25 a 65 tm ha<sup>-1</sup> cuando se usa estiércoles compostados, y más de 200 tm ha<sup>-1</sup> cuando se usa compost de desechos de patio municipales.

#### Transformación del nitrógeno orgánico de estiércoles - Reino Unido

Se realizó un estudio para caracterizar las diferentes fracciones de N del estiércol, y determinar la tasa de mineralización de su N orgánico mediante un bioensayo usando plantas en un experimento en macetas. Esta información es necesaria para predecir el N disponible para las plantas, tanto a corto como a largo plazo, para evitar su acumulación en el suelo y también eventuales pérdidas tanto por lixiviación y desnitrificación (Chadwick, D., John, F., Pain, B., Chambers, B. & J. Williams, 2000). El estudio incluyó cincuenta muestras de diferentes estiércoles. La composición promedio de los tipos de estiércoles se indica en la Tabla 9.

**TABLA 9. VALORES PROMEDIO DE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS DE ESTIERCOL.**

Tipo de estiércol	Número de muestras	Materia seca %	Base peso fresco		Base peso seco			Relación C / N
			N total kg mt <sup>-1</sup>	N orgánico kg mt <sup>-1</sup>	N total kg mt <sup>-1</sup>	N orgánico kg mt <sup>-1</sup>	% [1]	
Purines vacuno	12	11.1	4.1	2.9	37	26	71	9.63
Purines cerdo	8	5.7	4.5	1.6	80	28	35	4.01
Corral vacuno	14	20.2	5.2	4.5	26	22	87	14.8
Corral cerdo	6	22.7	8.6	6.1	38	27	71	9.84
Camada ave	6	56.3	24.9	20.2	44	36	81	7.64
Bajo jaulas ave	4	44.0	19.8	12.4	45	28	63	3.67

[1]: N orgánico como % de N total, bases peso seco

Fuente: Chadwick, D., John, F., Pain, B., Chamber, B. & J. Williams. 2000.

Mineralization of organic nitrogen from animal manures. Fertilization for sustainable plant production and soil fertility.- 11th World Fertilizer Congress of CIEC.

Se efectuó un experimento en macetas para estimar la tasa de mineralización de N orgánico en una submuestra de 17 estiércoles, que se aplicaron a una dosis deseada de 200 kg de N total ha<sup>-1</sup>. Se sembró Ballica perenne (*Lolium perenne* L.) y se mantuvo por 200 días a 18 °C durante 16 horas en el día y a 12 °C durante 8 horas nocturnas. En la Tabla 10 se presenta un resumen de los resultados.

**TABLA 10. CONTENIDO PROMEDIO DE NITROGENO Y ABSORCIÓN DE N DESDE EL CONTENIDO DE N ORGANICO EN SUSTANCIAS APLICADAS A UN ENSAYO EN MACETAS.**

Tipo de estiércol	Número de muestras	Materia seca %	N Total PF [1] kg tm <sup>-1</sup>	N Orgánico PF		N absorbido desde N Org. -- PF	
				kg tm <sup>-1</sup>	% [2]	kg tm <sup>-1</sup>	% [3]
Purines vacuno	3	11.08	4.12	2.92	70.87	0.36	12.20
Purines cerdo	3	5.71	4.54	1.60	35.24	0.44	27.60
Corral vacuno	3	20.15	5.20	4.50	86.54	0.63	14.00
Corral cerdo	4	22.66	8.58	6.08	70.86	1.30	21.30
Camada ave	3	56.28	24.86	20.22	81.34	4.17	20.60
Bajo jaulas ave	1	44.04	19.75	12.38	62.68	6.81	55.00

[1]: PF = basado en el peso fresco de la sustancia.

kg tm<sup>-1</sup> = kg por tm de sustancia.

[2]: N orgánico como % de N total.

[3]: N absorbido como % del N orgánico.

Fuente: Chadwick, D., John, F., Pain, B., Chamber, B. & J. Williams. 2000.

Mineralization of organic nitrogen from animal manures. Fertilization for sustainable plant production and soil fertility.- 11th World Fertilizer Congress of CIEC.

El estiércol bajo jaula de aves y purines o estiércol líquido de cerdo tuvieron las mayores tasas de mineralización, 55% y 27,6% respectivamente, medido por la absorción de N de la ballica cultivada en macetas bajo condición es controladas. La tasa de mineralización para los otros productos varia desde 21,3% para el estiércol de establo a 12,2% para purines (estiércol fresco) de vacuno. La tasa de mineralización mostró una relación inversa respecto de la relación C/N de las enmiendas orgánicas, similar al resultado de Hartz & Gianini (2000).

De acuerdo a estos resultados, excepto para el estiércol bajo jaula de aves y el de cama de pollo broiler, la aplicación de una dosis aún moderada de N a un cultivo requerirá aplicar cantidades muy altas de estiércol por hectárea. La aplicación de, i.e., 50 kg N ha<sup>-1</sup> necesitará dosis de estiércol en el rango de 38 tm ha<sup>-1</sup> de estiércol de establo de cerdos a 138 tm ha<sup>-1</sup> de purines o estiércol líquido de vacunos.

Se observa una concordancia general de los resultados de este estudio (Chadwick, D. et al., 2000) con el estudio realizado por Hartz et al. (2000). Con la excepción de unos pocos productos, las tasas de mineralización del nitrógeno orgánico en la enmienda son de alrededor de 20% o menos.

#### Rendimiento de maíz bajo el sistema orgánico y bajo otros sistemas de manejo, en una rotación de cultivos - Minnesota.

Se efectuaron ensayos con rotación es de cultivos de dos y cuatro años en 2 sitios, V1 y V2, cerca de Lemberon, Minnesota, en el Southwest Research and Outreach Center (Porter, P.M. et al., 2003). Su objetivo fue comparar cuatro sistemas de manejo, altos insumos (HI), bajos insumos (LI), insumos orgánicos (OI) y sin insumos (ZI), bajo sistemas de rotación de dos y cuatro años. La rotación de dos años fue una secuencia de maíz-soya. La rotación de cuatro años incluía maíz-soya / avena-alfalfa-alfalfa y el ensayo tuvo tres repeticiones. Como base de comparación se usó los rendimientos de la rotación de dos años HI maíz-soya porque esta estrategia de cultivo es la que más se asemeja a la práctica de la mayoría de los agricultores en la región norte del medio-oeste de Estados Unidos. En la Tabla 11 se presenta un resumen de los resultados más importantes, correspondientes a las estrategias HI, OI y ZI.

En el sitio V1, el rendimiento de maíz con la rotación de 2 años y estrategia altos insumos (HI) fue en promedio de 8,96 TM ha<sup>-1</sup> durante el período de 7 años 1993-1999. Tomando este rendimiento como base de comparación, la estrategia orgánica (OI) de 4 años rindió 91%, la estrategia de 4 años HI rindió 96% y la estrategia de 4 años sin insumos (ZI) rindió 49%. Bajos niveles de P en el suelo pueden contribuir a explicar el bajo rendimiento promedio de maíz en la estrategia ZI.

**TABLA 11. RENDIMIENTO DE MAIZ EN EXPERIMENTOS DE ROTACION - MINNESOTA.**

Rotación de cultivos	Estrategia productiva [1]	Dosis promedio			Rendimiento maiz Media 1993-1999		Aumento rendimiento dY [2]	Eficiencia de N dY/dN [3]
		N kg ha <sup>-1</sup>	P2O5 kg ha <sup>-1</sup>	K2O kg ha <sup>-1</sup>	tm ha <sup>-1</sup>	%		
<b>Sitio V1</b>								
2 años	HI	146	70	44	8.96	100	4.57	31.3
4 años	OI	318	136	289	8.15	91	3.76	11.8
4 años	HI	69	69	43	8.60	96	4.21	61.0
4 años	ZI	0	0	0	4.39	49		
<b>Sitio V2</b>								
2 años	HI	143	24	22	8.72	100	1.05	7.3
4 años	OI	185	90	158	8.11	93	0.44	2.4
4 años	HI	62	29	17	8.72	100	1.05	16.9
4 años	ZI	0	0	0	7.67	88		

[1]: HI = nivel alto de insumos; OI = insumos orgánicos; ZI = Cero insumo.

[2]: dY = diferencia de rendimiento sobre rendimiento de ZI .

[3]: dY/dN = Aumento de rendimiento por unidad de N fertilizante (kg kg<sup>-1</sup>)

Fuente: Porter, P.M., Huggins, D.R., Perillo, C.A., Quiring, S.R., & R.K. Crookston.

2003. Organic and other management strategies with two- and four-year crop rotations in Minnesota. Madison, Wisconsin, Agronomy Journal 95:233-244

En el sitio V2, el rendimiento de maíz con la rotación de 2 años y estrategia altos insumos (HI) promedió 8,72 TM ha<sup>-1</sup> durante el período de 7 años 1993-1999. Tomando este rendimiento como base de comparación, la estrategia orgánica de 4 años (OI) rindió 93%, la estrategia de 4 años HI rindió lo mismo (100%) y la estrategia de 4 años sin insumos (ZI) rindió 88%. Todas las respuestas en rendimiento por sobre el de la estrategia ZI en el sitio V2 fueron más bien bajas y el más alto nivel de P en el suelo, en comparación al nivel de P de suelo del sitio V1, puede ser un factor que explica el alto rendimiento de 88% de la estrategia de 4 años ZI en el sitio V2. El alto nivel de rendimiento promedio de la estrategia Z1 puede explicar también la baja eficiencia del fertilizante nitrogenado aplicado en el sitio V2. Sin embargo la eficiencia del nitrógeno en la estrategia OI es la más baja en ambos sitios.

#### Sincronización de la mineralización de nitrógeno orgánico con la absorción de nitrógeno por los cultivos.

Cuando se usa sólo estiércol de establo como fuente de nutrientes para las plantas, un problema es que es difícil coordinar la disponibilidad de nutrientes en el suelo con la tasa

variable de demanda de nutrientes por las plantas en un período relativamente corto de tiempo. La mineralización de nitrógeno orgánico depende en gran parte de condiciones meteorológicas y de propiedades del suelo. Y al contrario de lo que puede hacerse en la agricultura convencional, en la agricultura orgánica no es posible aplicar nitrógeno prontamente disponible mediante una fuente externa de fertilizante (Hebeisen et al., 2003), al menos que ello sea permitido específicamente (USDA 2002). Se puede enfatizar que es importante no sólo el contenido absoluto de nutrientes disponibles en el suelo, sino que también la oportunidad en que esos nutrientes quedan disponibles en relación al ritmo de absorción por las plantas.

Según Hebeisen (2003), la disponibilidad de nutrientes en el suelo es hoy en día un factor que limita la productividad de la agricultura orgánica. En algunos casos la oportunidad en el tiempo, las condiciones ambientales o restricción de mercado pueden limitar el uso de composts y cultivos de protección, incrementando así la necesidad de fertilizar con fuentes de nitrógeno prontamente disponible. Esto es particularmente cierto en sistemas de agricultura orgánica intensiva ubicados en tierras de alto valor comercial, en que los cultivos protectores y el compost proporcionan aportes de nitrógeno significativamente inferiores en cantidad de nitrógeno por unidad de peso, respecto a las necesidades (Nación al Organic Standards Board Technical Advisory Panel Review. 2002; Small Planet Foods. 2002.).

#### Estudio del destino del N aplicado como Nitrato de Sodio Natural y como Sulfato de Amonio al trigo - Bélgica.

En un experimento de campo realizado en Bélgica (Riga, A. et al. 1988), se estudió el destino del nitrógeno aplicado en parcelas como Nitrato de Sodio Natural y como Sulfato de Amonio, mediante balance de N marcado  $^{15}\text{N}$  en micro-parcelas. El objetivo fue evaluar el efecto de las épocas de aplicación y del tipo de fertilizante nitrogenado sobre el destino del N aplicado en cada ocasión. La dosis total de  $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ , se dividió en  $35 \text{ kg ha}^{-1}$  al final del ahijado (macollos),  $45 \text{ kg ha}^{-1}$  en el espigado y  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  a comienzos de floración. Para determinar el destino de cada aplicación se usó Nitrato Chileno Natural marcado con  $^{15}\text{N}$ , ( $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$ ), y Sulfato de Amonio marcado con  $^{15}\text{N}$ ,

$(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . El porcentaje de recuperación del N de los fertilizantes por el cultivo se muestra en la Tabla 12.

**TABLA 12. EFECTO DEL TIPO DE FERTILIZANTE NITROGENADO EN LA RECUPERACION POR EL TRIGO DE  $^{15}\text{N}$  APLICADO EN PARCIALIDADES EN DIFERENTES ESTADOS DE DESARROLLO DEL CULTIVO.**

Fertilizante	Componente de la planta	N aplicado ( $\text{kg ha}^{-1}$ )		
		Fin de macolla	Espigadura	Inicio floral
		35	45	20
		----- N recuperado (%) -----		
$\text{NaNO}_3$	Grano	34.2	51.5	55.7
	Paja	20.4	16.3	14.2
	Planta completa	54.6	67.8	69.85
	Suelo	17.9	10.4	11.6
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Grano	32.2	48.4	52.5
	Paja	19.4	15.2	13.6
	Planta completa	51.6	63.6	66.1
	Suelo	22.5	12.7	15.2

Fuente: Riga, A., Francois, E., Destain, J.P., Guiot, J. & R. Oger. 1988. Fertilizer nitrogen budget of  $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$  and  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  split-applied to winter wheat in microplots on a loam soil. Plant and Soil 106:201-208.

El mayor porcentaje de N recuperado por la planta entera cosechada, así como también por los componentes individuales grano y paja, corresponde al Nitrato de Sodio Natural, quedando en el suelo un mayor porcentaje de N cuando se aplicó Sulfato de Amonio. Este resultado indica que el nitrógeno disponible en el suelo –aplicado como Nitrato de Sodio Natural- puede sincronizarse mejor con la absorción por la planta que cuando se aplica N en forma de amonio.

El Nitrato Natural Chileno es un complemento a las fuentes orgánicas de N en los sistemas de producción orgánicos. La aplicación oportuna de dosis parciales de N nítrico contenido en el Nitrato Natural Chileno puede ser sincronizada con la tasa de absorción de N por el cultivo, produciendo los mejores resultados en términos de rendimiento, calidad y protección del medio ambiente.

### Comportamiento similar del Nitrógeno y Azufre en Agricultura Orgánica.

Las plantas absorben el azufre (S) del suelo en forma de ión sulfato que está disuelto en la solución del suelo. Los sulfuros metálicos de las rocas constituyeron las primeras fuentes de azufre del suelo, los que por efecto de factores ambientales fueron oxidados a la forma de ión sulfato. Otra fuente de S ha sido la atmósfera. La quema de carbón mineral y de otros productos que contienen S libera anhídrido sulfuroso al aire, el cual, después de ser oxidado a la forma de sulfato es transportado hacia el suelo por la lluvia. Luego de ser absorbido por las raíces de las plantas y microorganismos en el suelo, el ión sulfato es reducido e incorporado en compuestos orgánicos productos del metabolismo, de forma similar al ión nitrato. Desde este estado la molécula de S sigue un ciclo natural similar al del N, y la descomposición de la materia orgánica pasa a ser una fuente no sólo de nitrógeno si no también de azufre para los cultivos.

El ión sulfato es fácilmente lavado desde el perfil del suelo y muy poco o nada del sulfato derivado de la descomposición del material original del suelo permanece en suelos maduros. Por otra parte, debido a la creciente preocupación por la contaminación del aire, se ha restringido la liberación a la atmósfera de gases que contienen azufre, con la correspondiente reducción del suministro de S atmosférico al suelo. Como consecuencia de lo anterior, y a continuación de la deficiencia de N, la deficiencia de azufre ha pasado a ser un desorden nutricional importante y frecuente en la agricultura orgánica (Hagel, 2000; Haglund et al, 2000).

Las sustancias orgánicas tienen una cantidad muy limitada de S con un promedio de 0.07 kg de S por kg de N. Una tonelada métrica de guano de campo o un metro cúbico de guano líquido de vacas aportan solamente 0.3 a 0.4 kg de S al suelo. Además, la liberación del ión sulfato disponible para las plantas depende de etapas de descomposición orgánica similares a las del nitrógeno (Revue Suisse d'Ágriculture, 2001). Para compensar el bajo suministro de azufre de las sustancias orgánicas y para prevenir o corregir deficiencias de S en la agricultura orgánica, se pueden utilizar sustancias naturales no-orgánicas específicas, tales como Sulfato de Calcio o Sulfato de Potasio entre otras (Lampkin, N., 2002). En base a los mismos argumentos, y para corregir la simetría actualmente existente, se debería permitir el uso del Nitrato de Sodio

Natural en todo el ámbito de la agricultura orgánica para compensar el suministro insuficiente de nitrógeno de las fuentes orgánicas.

#### Role del Nitrato de Sodio Natural en la Agricultura Orgánica.

El Nitrato de Sodio Naturales una sustancia que complementa a las fuentes orgánicas de nitrógeno porque proporciona a cantidades controlables de N en forma de nitrato disponible que puede ser sincronizado con la demanda de los cultivos, independiente de las condiciones climáticas, pH y otras propiedades del suelo. También suministra parte de las necesidades de algunos micro-elementos importantes para cultivos y seres humanos junto a una cantidad de sodio que contribuye a neutralizar la acidez que se acumula durante la estación cálida como resultado de la descomposición de fuentes orgánicas de nitrógeno y azufre. Como se indica en varias partes del presente documento, esta fuente natural de nitrógeno disponible, que no ha sido objeto de tratamientos químicos, y en cuya extracción se utiliza mayoritariamente energía solar renovable, cumple con los principios de la agricultura orgánica y por ello su uso es aceptado por importantes grupos de agricultores orgánicos.

**5.1 (a)-2. Los ingredientes serán de origen vegetal, animal, microbiano ó mineral y puede ser sometida a los siguientes procesos: físicos (ej. mecánicos o térmicos), enzimáticos, microbianos (ej. compostado, fermentación); la utilización procesos químicos podrá considerarse sólo cuando los procesos mencionados y sólo para la extracción de sustancias inertes y aglutinantes**

### Ubicación de los Depósitos de Nitrato de Sodio Natural.

El Nitrato de Sodio Natural se extrae de depósitos naturales de "Caliche". El mineral de nitrato, "Caliche", se encuentra en el Desierto de Atacama, en Chile, en una franja discontinua en la parte este de la cordillera de la costa entre las latitudes 19° y 26° Sur (Fig. 1). La mayoría de los depósitos están ubicados en altitudes de menos de 2.000 m. Los terrenos con nitrato están en áreas típicamente bajas en relieve. En el distrito de Tarapacá, que fue la principal fuente de nitrato antes de 1870, se encuentran los minerales más ricos. La actividad minera actual se centra en el distrito de Tocopilla, en la provincia de Antofagasta. Depósitos de nitrato de grado variable entre 1 y 7% de NSN están diseminados en todo el desierto de Atacama.

Fig. 1. Ubicación de los depósitos de nitrato

### El Desierto de Atacama

En un artículo recientemente publicado en la revista Science por Navarro-Gonzalez, Rainey y Otros (2003), un equipo de científicos de la NASA informan haber descubierto una región sobre la Tierra, el Desierto de Atacama, que es



sorpresivamente similar a la superficie del planeta Marte. En 1970 la Misión Viking de la NASA a Marte demostró que en el suelo marciano no hay vida y que está desprovisto de materiales orgánicos, precursores necesarios para la existencia de vida. Durante el año 2002 los científicos de la NASA condujeron en sectores mas secos del Desierto un experimento similar al de la Misión Viking para detectar microorganismos y tampoco se encontró evidencias de la existencia de vida.

El Desierto de Atacama es de clima temperado y se extiende por 1000 km con una temperatura media entre 16 y 14 °C que es muy uniforme a través del año ( $\pm 3$  °C). La extrema aridez se debe a los efectos combinados de un sistema de alta presión situado en la parte Oeste del Océano Pacífico, el efecto secante de la corriente oceánica de Humboldt que corre hacia el Norte, el efecto de barrera que la Cordillera de la Costa presenta a las nubes oceánicas y el efecto de cortina de la Cordillera de Los Andes que intercepta las lluvias provenientes de la Convergencia Intertropical (Navarro-Gonzalez, Rainey y Otros, 2003). Evidencias geológicas y mineralógicas sugieren que las condición es de extrema aridez han persistido en Atacama por 10 a 15 millones de años, convirtiéndolo en uno de los más antiguos, si no el más antiguo desierto sobre la Tierra. La edad y aridez del Desierto de Atacama son probablemente responsables por la gran acumulación de nitratos que hoy existe en la región. Los nitratos probablemente son de origen atmosférico (Ericksen, 1983).

#### Descripción de los depósitos de Nitrato de Sodio Natural.

Los depósitos de "Caliche" se encuentran en rocas y sedimentos no consolidados que no presentan ninguna variación sistemática en su contenido mineral. Los más comunes son los conglomerados regolíticos de material insoluble y estéril cementado por sales solubles oxidadas, predominantemente sulfatos, nitratos y cloruros de Na, K y Mg. Aparte del Nitrato de Sodio Natural, el Caliche tiene cantidades significativas de boratos, cromatos, cloratos y yodatos así como alrededor de 30 elementos trazas, incluyendo yodo, cobre, zinc, boro y molibdeno. Hay varias teorías sobre la formación y el origen de los depósitos de nitrato natural. Su análisis va más allá de los objetivos de este documento y el lector interesado puede recurrir a Ericksen (1983) donde encontrará los resultados de sus propias investigación es y un documentado análisis sobre el tema. Sin embargo, es importante destacar que el factor individual más importante en la acumulación de material

salino en el Desierto de Atacama ha sido la aridez extrema de la región que ha existido desde 10 a 15 millones de años. Pero a pesar que el clima de la región ha sido extremadamente árido durante la época Terciaria y Cuaternaria, han existido épocas de cambio climático en las cuales lluvias crecientes han provocado grandes modificaciones o han destruido depósitos preexistentes de nitratos. De acuerdo a Ericksen (1981), si los depósitos de nitrato se formaron durante los últimos 10 – 15 millones de años a través de una historia compleja de repetidas etapas de acumulación y destrucción, se estima como razonable una tasa de acumulación que complete la formación de los depósitos en 200.000 años. Esta sería la estimación teórica del período de tiempo necesario para la formación de los depósitos que hoy día existen, lo que implica además que durante este tiempo no ha ocurrido lluvia capaz de lixiviar los nitratos.

Suelos ricos en nitrato existen localmente en otras áreas desérticas del mundo pero en ningún lugar son tan extendidos ni con las concentraciones de los que se encuentran en el Desierto de Atacama.

#### Minería del Caliche y Extracción del Nitrato de Sodio Natural

La extracción del NSN se basa en un sistema de disolución – cristalización que no incluye procesos químicos o de intercambio de catiónes.

El Caliche se muele a un tamaño de 1 centímetro. Entre 75 y 80% del tonelaje de Caliche reducido a este tamaño se deposita en grandes estanques de lixiviación de 10.000 m<sup>3</sup> de capacidad. Los residuos finos del proceso de molienda se envían a un sistema de lixiviación diferente, en el cual se efectúa extracción del yodo.

En los estanques se hace circular una “solución madre débil”, calentada a 48 °C, a través de las partículas de Caliche, hasta que se convierte en solución saturada de NSN, ó “solución madre fuerte”. Esta solución se enfría a 12 °C para cristalizar y precipitar el NSN disuelto. La “solución madre débil” resultante – después de ser enviada a la Planta de Yodo para recuperar el yodo disuelto – es devuelta a los estanques de lixiviación para iniciar un nuevo ciclo en el circuito cerrado de lixiviación- precipitación. En este circuito cerrado sólo hay pérdidas de agua por evaporación, especialmente cuando parte de la

“solución madre débil” entra al Sistema de Evaporación Solar, que se describe en la sección siguiente.

No se ingresa agua fresca al ciclo de lixiviación, excepto la necesaria para desplazar la “solución madre fuerte” desde el material que se va a desechar. Debido a limitación es en la cantidad de agua que se usa para lavar el desecho y como este volumen limitado no es plenamente eficiente en el desplazar toda la “solución fuerte”, la recuperación de Nitrato de Sodio Natural es sólo de alrededor del 75%.

El NSN cristalizado se centrifuga y se envía a la planta de granulación quedando listo para ser usado como fuente natural de nitrógeno a la forma de nitrato en la producción de cultivos.

#### Sistema de Evaporación Solar - Utilización de Energía Solar Renovable en la Extracción de Nitrato de Sodio Natural.

En el sistema de enfriado y centrifugado de la “solución madre fuerte”, sólo se puede recuperar NSN y yodo del Caliche. Sin embargo, el proceso de Evaporación Solar permite una mayor recuperación de NSN y otras sales de las solución es débiles que resultan luego de la cristalización de sales por enfriado y centrifugación. Además se utiliza este sistema para concentrar solución es provenientes del lavado de pilas de material de desecho de Caliche procesados con anterioridad.

La operación del Sistema de Evaporación Solar se inicia agregando más agua para el lavado de los desechos en los estanques de lixiviación. Esta agua no sólo desplaza más NSN que de otro modo se pierde en el desecho, sino que también disuelve sales dobles de potasio, boratos, yodo, sulfatos, sales de magnesio y otras, las cuales son sólo parcialmente solubles en la “solución madre fuerte”. Las nuevas solución es no son devueltas al ciclo de lixiviación normal sino que se bombean a las pozas de evaporación solar para que allí aumenten su concentración.

Se dispone de dos plantas de evaporación solar, Coya Sur con 550.000 m<sup>2</sup> y Pampa Blanca con 544.000 m<sup>2</sup> de superficie de evaporación efectiva. Las tasas promedias de evaporación diaria, para 365 días del año, son de 4,5 y 3.5 L m<sup>-2</sup>, respectivamente,

lo cual es posible gracias a las condiciones permanentes de alta temperatura, sequía y transparencia de la atmósfera. El sistema evapora anualmente más de 1.6 millones de metros cúbicos de agua utilizando solamente energía solar, lo que significa capturar una cantidad total de energía solar igual a 3.6 millones de Giga Joule (GJ). Esta energía equivale a 25 GJ por tonelada métrica de nitrógeno natural (N) obtenido del Caliche. En la producción de fertilizantes químicos, el promedio de energía no renovable utilizada para producir una tonelada de N está en torno a 40 GJ (EFMA, ca 2000). El Nitrato de Sodio Natural está dentro del rango correspondiente a este promedio (44 GJ). La gran diferencia es que la extracción de NSN ocupa solo 19 GJ de energía no renovable, igual a 43% de lo ocupado para producir una tonelada de N en fertilizantes químicos, siendo el resto energía solar. El Nitrato de Sodio Natural no sólo es de origen natural sino que también la mayor proporción de la energía utilizada en su extracción es renovable.

**5.1 (a)-3. Su uso no tiene un efecto perjudicial en el equilibrio del ecosistema del suelo, o las características físicas del suelo, o la calidad del agua y el aire.**

Dinámica del ión Nitrato en el Suelo.

Cualquier clase de nitrógeno orgánico en los suelos, i.e., de rastrojos vegetales, cultivos protectores de leguminosas, compost, estiércol, etc., se transforma de modo natural en nitrógeno mineral, la mayor parte de éste en forma de ión nitrato, para que pueda ser absorbido por las raíces de las plantas. La transformación la realizan microorganismos del suelo y es afectada principalmente por la temperatura, humedad, disponibilidad de oxígeno, pH, tipo de arcilla y relación carbono / nitrógeno (C/N) en las sustancias orgánicas del suelo. De modo que el nitrato es una sustancia natural en los suelos que constituye la principal fuente de nitrógeno para los cultivos en crecimiento. Pero, como se indica en varias partes de este documento, bajo condición es de campo no siempre es posible mantener en niveles óptimos los factores naturales que controlan la actividad de los microorganismos. Como consecuencia directa, la tasa de transformación del N de la materia orgánica del suelo no siempre está sincronizada con la tasa de absorción de nitrógeno por los cultivos. Aún si se mantiene los factores más importantes en sus niveles adecuados, durante las estaciones frías la tasa de transformación puede no ser suficiente para proporcionar el N en forma de nitrato que necesita un cultivo en

crecimiento para producir el rendimiento y calidad que se espera. Pero en estación es cálidas, la tasa de transformación será alta y puede ser necesario emplear prácticas especiales de cultivo para evitar lixiviación de nitrógeno en forma de nitrato que exceda la demanda de los cultivos. El invierno y comienzos de primavera son las estación es en las que se produce la mayor parte de la lixiviación de nitrato en climas templado húmedos y mediterráneos (Brady & Weil, 1999. p. 505). Consecuentemente, el nitrógeno disponible en forma de nitrato no puede ser almacenado como tal en el perfil del suelo en verano y en otoño para ser usado por cultivos en invierno y primavera. El exceso de N en forma de nitrato producido durante la estación cálida sólo puede almacenarse en el suelo si es reconvertido en nitrógeno orgánico por los microorganismos del suelo o es capturado por cultivos establecidos específicamente para este efecto. Este nitrógeno se mineralizará de nuevo sólo a comienzos de la siguiente estación cálida.

Bajo las circunstancias antes mencionadas, la aplicación de nitrógeno nítrico mediante NSN en estación es de bajas temperaturas, es un complemento para los bajos niveles de nitrato producidos por los microorganismos del suelo debido a las desfavorables condiciones ecológicas de temporada. El Nitrato de Sodio Natural se produjo por procesos ecológicos en épocas remotas y su empleo es totalmente análogo al uso de guano fosilizado de aves, también producido en épocas anteriores, como suplemento fosfórico, o el uso de compuestos minerales de calcio, potasio o magnesio, producto de reacción es naturales en épocas remotas.

#### Dinámica del ión Sodio en el suelo.

Los iones positivos calcio, magnesio, potasio y sodio, son componentes normales de la solución del suelo. Sin embargo, ellos también son retenidos (adsorbidos) en la superficie de los coloides del suelo por cargas electrostáticas negativas que constituyen la Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC) del suelo. Pero una característica muy importante de la CIC es que los diferentes elementos no son retenidos con igual energía. El orden decreciente en que se ordenan los iones es de acuerdo a la energía de adsorción, llamado Serie Liométrica, es: calcio > magnesio > potasio > sodio (Tisdale, S.L. et al. 1993. p. 89-90). El sodio es retenido con la menor energía, siendo por ello el ión positivo más fácilmente lixiviado por el agua de lluvia o riego. Por ello, el proceso normal de lixiviación del suelo evita la acumulación de sodio en el perfil. La única excepción lo

constituyen los suelos con muy escasa disponibilidad de agua o mal drenaje interno, en los cuales no se deben utilizar compuestos de sodio.

Es un hecho histórico que el Nitrato de Sodio Natural ha sido usado en producción de cultivos bajo condición es adecuadas de suelo y clima en muchos países desde alrededor de 1860 y sigue empleándose hoy sin que se haya informado de daño específico al suelo. Trigo, maíz, algodón, tabaco, remolacha azucarera, hortalizas y frutales son solo una muestra de los cultivos más comunes que se han fertilizado exitosamente con NSN. En Japón, la fertilización de remolacha azucarera con NSN data de más de 80 años y continúa su aplicación anual sin el menor signo de efecto negativo al suelo o cultivos (Mitsubishi Co., 2001) La aplicación continuada de sales de sodio, incluyendo Nitrato Natural Chileno, por casi 100 años en los Experimentos Clásicos de Rothamsted, Reino Unido, no ha mostrado ningún daño al suelo (Cooke 1982. p. 158). A continuación de la sección siguiente se muestran resultados de los Experimentos Clásicos de Rothamsted que indican que el NSN no sólo no causa daño al suelo sino que también producen mayores rendimientos que otro conocido fertilizante nitrogenado de base amoniacal.

### El Sodio en la Agricultura

El uso adecuado del Sodio en la agricultura, excepto en suelos salinos y / o sódicos, de mal drenaje y con disponibilidad de agua limitada, tiene efectos beneficiosos no sólo para los suelos cultivados, si no que también para los cultivos halófilos (halófilos) y animales domésticos. Una discusión completa de este tema esta fuera del objetivo de este documento, pero el lector interesado puede referirse a Lunt (1966), Marschner (2002. p. 405-417) y Phillips & Chiy (1995).

### Comparación del uso continuado por más de 80 años de Sulfato de Amonio y Nitrato de Sodio Natural

Esta comparación específica de tipos de Sulfato de Amonio y Nitrato Chileno Natural es parte del Experimento Broadbalk que ha sido conducido en Rothamsted, Reino Unido, desde 1844. La comparación se extiende durante los años 1885 y 1967, en que ambos fertilizantes fueron aplicados en 2 dosis de nitrógeno, 48 y 96 kg N ha<sup>-1</sup>, primero sobre cultivo continuado de trigo (1885-1925) y luego sobre ciclos de 6 años con barbecho . Los

otros nutrientes se aplicaban a todas las parcelas para evitar deficiencias. En la Tabla 13 se presenta un resumen de resultados.

La ventaja del Nitrato de Sodio Natural fue mayor durante los primeros 41 años cuando el trigo se cultivo en forma continuada, especialmente para la dosis mas baja en que el promedio de rendimiento fue superior en 376 kg grano ha<sup>-1</sup> (26%) y 916 kg paja ha<sup>-1</sup> (40%). La práctica de barbecho aumentó el rendimiento promedio de grano y paja pero la

**TABLA 13. COMPARACION DE NITRATO DE SODIO NATURAL Y SULFATO DE AMONIO POR MÁS DE 80 AÑOS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL ROTHAMSTED, REINO UNIDO.**

Rotación de cultivo	Período de tiempo	Dosis de N fertilizante kg N ha <sup>-1</sup>	Rendimiento grano de trigo		Rendimiento de paja	
			Sulfato de Amonio kg ha <sup>-1</sup>	Nitrato de Sodio Natural kg ha <sup>-1</sup>	Sulfato de Amonio kg ha <sup>-1</sup>	Nitrato de Sodio Natural kg ha <sup>-1</sup>
Trigo continuado	1885-1925	0	904		1,268	
		48	1,456	1,832	2,309	3,225
		96	2,108	2,221	3,803	4,418
		Efecto medio N	1,782	2,027	2,460	2,548
Ciclo 6 años con barbecho	1935-1964	0	1,606		2,748	
		48	1,995	2,134	3,577	3,828
		96	2,472	2,711	4,706	5,083
		Efecto medio N	2,234	2,422	4,142	4,455
Período completo	1885-1967	0	1,142		1,795	
		48	1,606	1,870	2,761	3,414
		96	2,184	2,359	4,142	4,606
		Efecto medio N	1,895	2,115	3,451	4,010
		Diferencia		220		558
		% diferencia		12		16

Fuente: Garner, H.V. & G.V. Dyke. 1968. The Broadbalk yields. Harpenden, UK, Rothamsted Experimental Station. Report for 1968, Part 2 pp. 34-35

superioridad del NSN se mantuvo en este segundo período.

Promediando los resultados de las dos dosis de N sobre todo el período de 83 años, el Nitrato de Sodio Natural rindió 220 kg adicionales de grano y 558 kg adicionales de paja por hectárea sobre el Nitrato de Amonio, lo que representa aumentos de rendimiento de 12% y 16% respectivamente.

#### Efecto de fuentes orgánicas e inorgánicas de N sobre la población de lombrices del suelo.

Las lombrices tienen un rol único en la formación de la estructura del suelo, al favorecer la

agregación del suelo y formación de estructura de gránulos. Al procesar suelo y residuos orgánicos a través de su intestino, la arcilla y la materia orgánica quedan íntimamente mezcladas y recubiertas con sustancias gomosas y óxido de calcio secretados por glándulas especiales del tracto digestivo. El resultado, o residuo de lombrices, consiste en el tipo y tamaño de agregado que el suelo necesita para proveer capacidad de retención de humedad, aireación y reserva de nutrientes para el crecimiento de las plantas (Lampkin, N., 2002). Las lombrices no toleran la acidez del suelo, el uso de sulfato de amonio, ciertos herbicidas y funguicidas, los cultivadores rotatorios y la no mantención de residuos orgánicos en el suelo.

Todavía queda mucho por aprender sobre la interacción entre el uso de tipos y cantidades de fertilizantes, especie cultivada, prácticas culturales y actividad de las lombrices. Investigación es realizada por Edwards y Lofty (1982) en Rothamsted, y otros trabajos citados por Lampkin, N., (2002) encontraron que la remoción de la paja y ciertas técnicas de cultivo afectan a las lombrices y otros organismos del suelo. También se encontró un mayor número de especies de lombrices en suelos tratados con fertilizantes orgánicos que en suelos no tratados. Se observó una alta correlación positiva entre dosis de N inorgánico y población de lombrices, probablemente por la mayor producción de raíces y residuos, aunque también se observó que las fuentes orgánicas de N aumentaban más la población que fuentes inorgánicas. Sin embargo, los suelos que recibieron ambas fuentes de N, orgánico e inorgánico resultaron con las más alta población es de lombrices.

Edwards y Lofty (1982) consideran que el efecto perjudicial de fertilizantes informado en otras publicación es se puede deber al aumento de la acidez del suelo causada por su uso.

De acuerdo a estos resultados, el nitrógeno orgánico combinado con Nitrato Chileno Natural debe resultar en un ambiente favorable para el desarrollo de lombrices, debido, entre otras cosas, a que el efecto alcalino de este fertilizante ayuda a neutralizar la acidez resultante de la descomposición de las sustancias orgánicas y producción de nitrógeno nítrico..

#### **5.1 (a)-4. Su uso podrá restringirse a condiciones específicas, regiones específicas o productos específicos.**

##### Cosideración es generales.

El uso de Nitrato de Sodio Natural puede ser restringido en suelos Salinos y Sódicos, en agricultura de región es áridas que dependen de aportes limitados de agua de lluvia sin agua de riego y en suelos de mal drenaje, y en general, bajo condición es que el sodio tienda a acumularse en el perfil del suelo. Sin embargo, las restricción es derivadas de limitación es de agua también se aplican a otros insumos y sistemas de producción.

##### Suelos Salinos y Sódicos.

Los suelos salinos y sódicos se desarrollan bajo condición es especiales en ciertos lugares del mundo. Los suelos salinos tienen exceso de sales solubles. La Conductividad Electrica (CE) de su extracto saturado es de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  (decisiemens  $\text{m}^{-1}$ ) o mayor. Algunos suelos salinos son sódicos por tener exceso de sodio y en general su pH es mayor que 8.5. Un suelo clasifica como sódico si el Porcentaje de Sodio de Intercambio (PSI) o porcentaje de saturación con sodio de la Capacidad de Intercambio Catiónico es igual o mayor que 15%. Otro criterio para definir un suelo como sódico es que la Razón de Absorción de Sodio (RAS) sea igual o mayor que 13 (Brady & Weil, 1999. p. 385-389).

Las determinación es de CE, PSI y RAS utilizados para definir suelos salinos y sódicos son procedimientos analíticos de rutina y pueden ser solicitados en la mayoría de los Servicios de Análisis de Suelo (Westerman, 1990). Estas determinación es pueden aclarar dudas sobre el uso apropiado del NSN. Sin embargo, se deben tener en cuenta dos consideración es especiales en el caso de suelos de agricultura orgánica. La descomposición de fuentes orgánicas y liberación de nitrógeno en forma de nitrato producen acidez del suelo. En este contexto, agregar NSN no solo constituye un complemento de N de pronta disponibilidad sino que también el sodio agregado es un agente neutralizante de la acidez producida por la transformación de las fuentes orgánicas de N. Además, la materia orgánica descompuesta es una fuente de cargas negativas adición ales que aumentan la Capacidad de Intercambio de Cationes, mejorando la capacidad del suelo para manejar bien las cantidades de sodio contenidas en el NSN.

## Bibliografía Citada

- Blankenau, Klaus. 2000.** Einfluss der Stickstoffimmobilisation auf die Verfügbarkeit von Dungerstickstoff für Getreide. Dissertation Universität Hannover, Institute für Pflanzenernährung. Verlag Grauer, Beuren, Stuttgart, Germany. 151 p
- Brady, N.C. & R.R. Weil. 1999.** The nature and properties of soils. 12<sup>th</sup> edition. New Jersey, USA, Prentice-Hall, Inc. 881 p.
- Chadwick, D.R., John, F., Pain, B.F., Chambers, B., & J. Williams. 2000.** Mineralization of organic nitrogen from animal manures. 11<sup>th</sup> World Fertilizer Congress, Fertilization for sustainable plant production and soil fertility.
- Chadwick, D.R., John, F., Pain, B.F., Chambers, B., & J. Williams. 2000.** Plant uptake of nitrogen from the organic nitrogen fraction of animal manures: a laboratory experiment. Journal of Agricultural Science 134: 159-168.
- Cooke, G.W. 1982.** Fertilizing for maximum yield. 3<sup>rd</sup> ed. London, UK, Granada Publishing Limited. 465 p.
- Doran, J.W. & M.S. Smith. 1987.** Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients. In Follet, R.F. & others. Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. Madison, WI, USA, SSSA Special Publication No. 19. p. 53-72.
- Edwards, C & J.R. Lofly. 1982.** Nitrogenous fertilizers and earthworm populations in Agricultural soils. Soil Biology and Biochemistry 14: 515-521.
- EFMA. ca 2000.** Harvesting Energy with fertilizers. European Fertilizer Manufacturers Association. Av. E. va. Nieuwenhuysse 4, B-1116 Brussels, Belgium.
- Ericksen, George E. 1981.** Geology and origin of the Chilean nitrate deposits. US Department of Interior, Geological Survey Professional Paper 1188. 37 p.
- Ericksen, George E. 1983.** American Scientist 71: 366
- Garner, H.V. & G.V. Dyke. 1968.** The Broadbalk yields. Harpenden, Hert, UK. Rothamsted Experimental Station, Report for 1968, Part 2, p. 34-35.
- Hagel, I. 2000.** Auswirkungen einer Schwefeldüngung auf Ertrag und Qualität von Weizen schwefelmangelgefährdeter landbouw. Landbouwuniversiteit Wageningen.
- Haglund, S, Ebbesvik, M & S. Hansen. 2000.** Is ley production in organic farming limited by sub-optimum sulphur supply?. Proc 13<sup>th</sup> IFOAM Scientific Conference, Basel, Switzerland. P.31.
- Hartz, T.K., Mitchell, J.P & C. Gianini. 2000.** Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. HortScience, Vol. 35(2):209-212.
- Havlin, J.L, Beaton, J.D., Tisdale, S.L. & W.L. Nelson. 1999.** Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. 6<sup>th</sup> ed. New Jersey., USA, Prentice-Hall Inc. 499 p.

- Hebeisen, T., Ballmer, T., Torche, J.M. & Werner Reust. 2003.** Etude varietale pour la culture biologique des pommes de terre: le point de la situation . In: Station federale de recherches en agroecologie et agriculture, Zurich-Reckenholz, Swiss Les Cahiers de la FAL 45 : 30-36.
- Kuo, S., Sainju, U.M., & E.J. Jellum. 1997.** Winter cover cropping influence on nitrogen In soils. Madison, Wisconsin, Soil Science Soc. of Am. Journal 61:1392-1399.
- Lampkin, Nicolas. 2002.** Organic Farming. 104 Valley Road, Ipswich IP1 4PA, United Kingdom, Old Pond Publishing. 747 p.
- Lunt, Owen Raynal. 1966.** Sodium. In Chapman, H.D. ed. Diagnostic criteria for plants and soils. University of California, Division of Agr. Sciences. p. 409-432.
- Marschner, Horst. 2002.** Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> ed. London, UK, Academic Press Limited. 889 p.
- McGill, W.B. & R.J.K. Myers. 1987.** Control on dynamics of soil and fertilizer nitrogen. In: Follett, R.F., Stewart, J.W.B. & C.V. Cole. Eds. Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. Madison, Wisconsin, USA, Soil Sci. Soc. of Am. Inc. & Am. Soc. of Agronomy. p. 73-99.
- Mengel, K. & E.A. Kirby. 1987.** Principles of plant nutrition . Bern, Switzerland, International Potash Institute. 687 p.
- Menzi, M. & M. Anders. 2003.** Essais varietaux de cereals dans les conditions de lagriculture biologique. Zurich-Rekenholtz, Swiss, Station Federal de Recherches en Agroecologie. Les Cahiers de la FAL 45: 24-29.
- Mitsubishi Co. 2001.** History of Chilean Nitrate in Japan imported by Hokuren. Personal communication .
- Navarro-Gonzalez, R., Rainey, F.A., & Others. 2003.** Mars-like soils in the Atacama Desert, Chile, and the dry limit of microbial life. Science Vol. 302 No. 5617 : 1018-1021.
- Nación al Organic Standards Board Technical Advisory Panel Review. 2002.** Chilean Nitrate for general use as an adjuvant in crop production . USA, University of California Sustainable Agriculture Research and Education Program, USDA Nación al Organic Program. 11 p.
- Phillips, C.J.C. & P.C. Chiy. 1995.** Sodium in agriculture. United Kingdom, Chalcombe Publication s. 217 p.
- Pinilla, H. 1993.** Efecto del uso sucesivo de nitrógeno nítrico y amoniacal en la Acidificación de suelos trumaos. Frontera Agrícola 1(1): 18-22.
- Porter, P.M., Huggins, D.R., Perillo, C.A., Quiring, S.R., & R.K. Crookston. 2003.** Organic and other management strategies with two- and four-year crop rotation s in Minnesota. Madison, Wisconsin, Agronomy Journal 95:233-244.
- Power, J.F. & J.W. Doran. 1988.** Role of crop residue management in nitrogen cycling and use. p. 101-113. In J.W. Doran et al., (ed.) Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. ASA Spec. Publ. 51. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

- Revue Suisse d'Agriculture. 2001.** Données de base pour la fumure des grandes Cultures et des herbages. Suisse, Station fédérale de recherches agronomiques de Changins et Fédération des sociétés d'agriculture de la Suisse Romande. Vol 33, Nr. 3.
- Riga, A., Francois, E., Destain, J.P., Guiot, J. & R. Oger. 1988.** Fertilizer nitrogen budget of  $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$  and  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  split-applied to winter wheat in micro-plots on a loam soil. *Plant and Soil* 106: 201-208.
- Schnug, E. 1991.** Das Raps-Handbuch. 5. Aufl. Bad-Homburg: ELANCO, pp. 72-87.
- Small Planet Foods. 2002.** Personal communication . National Organic Standards Board Members. USDA, Washington, DC. 4p.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D. & J.L. Havlin. 1993.** Soil fertility and fertilizers. 5<sup>th</sup> ed. New York, USA, Macmillan Publishing Company. 634 p.
- Utomo, M., Frye, W.W., & R.L. Blevins. 1990.** Sustaining soil nitrogen for corn using hairy vetch cover crop. Madison, Wisconsin, *Agronomy Journal* 82:979-983.
- Westerman, R.L. editor. 1990.** Soil testing and plant analysis. 3<sup>rd</sup> ed. Madison, Wisconsin, USA., Soil Science Society of America, Inc. 784 p