



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

TOPICOS SELECTOS DE LA PRODUCCION
AGRICOLA ACTUAL LA CONTAMINACION DEL
SUELO POR USO EXCESIVO DE FERTILIZANTES
(N-P-K)

TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO-AGRICOLA
P R E S E N T A :
BERNARDO DE JESUS APOLINAR

ASESOR: M.C. EDVINO J. VEGA ROJAS

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: OFICIO DE TERMINACIÓN
DE LA PRUEBA ESCRITA.

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S.-C.

Con base en los art. 19 y 20 del Reglamento General de Exámenes, informo a ud., que ha sido
concluido el trabajo de Seminario: "Tópicos Selectos de la Producción Agrícola
Actual. La contaminación del suelo por uso excesivo de
fertilizantes (N-P-K)".

que presenta el pasante: Bernardo de Jesús Apolinar
con número de cuenta: 7608702-4 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero Agrícola

Bajo mi asesoría, cubriendo los requisitos académicos.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 10 de Noviembre de 1994.

Eloy José Vega Rojas

NOMBRE Y FIRMA DEL ASESOR

ESCUELA DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES
PROFESIONALES

UAE/DEP/ATO1

DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

A mis Padres:

*Con cariño y admiración. Gracias por su apoyo,
y por sus palabras de aliento que hoy se cristalizan
en este logro profesional, que también les pertenece.*

A mis hermanas:

*Isabel, Magdalena, Teresa,
Maximina, Leonor y Cristina.*

M. en C. Edvino J. Vega Rojas:

***Gracias por su amistad y por su orientación
en la elaboración de este trabajo.***

M. en C. Laura B. Reyes Sánchez:

Gracias por su apoyo en la realización de este trabajo.

Al Honorable Jurado.

*" Cuido la tierra porque la amo.
Solo el que conoce la tierra se
puede enamorar de ella, y yo la
conozco mucho, me ha dado la vida ".*

*Cleofas Santos
Ejidataria de la Estrella
y la Barca, La Laguna, Méx.*

I N D I C E

1.	Introducción.....	3
1.1.	Objetivos.....	4
2.	Revisión de literatura.....	5
2.1.	Contaminación atribuida a los fertilizantes.....	5
2.1.1.	Eutroficación de aguas superficiales.....	8
2.1.2.	Alta concentración de nitratos en aguas freáticas.	10
2.1.3.	Emisión de óxido nítrico a la atmósfera..	13
2.1.4.	Acumulación de nitratos en plantas.....	14
2.1.5.	Acumulación en el suelo de metales pesados y otros.	15
2.1.6.	Problemas de salud asociados al uso de .. fertilizantes.	16
2.2.	La contaminación del suelo.....	18
2.2.1.	Cómo contaminan los fertilizantes.....	20
2.2.2.	Importancia de la eficiencia agronómica del fertilizante.	23
2.2.3.	El consumo de fertilizantes en México....	27
2.2.4.	Otras fuentes contaminantes.....	29
3.	Empleo de fertilizantes y calidad ambiental.....	31
3.1.	Prácticas de manejo para disminuir el efecto ... contaminante de la fertilización química.	32

3.2.1. Uso de inhibidores de nitrificación.....	33
3.2.2. Fraccionamiento de la fertilización nitrogenada.	35
3.2.3. Uso de fertilizantes de liberación lenta.	36
3.2.4. Suplemento con fertilización foliar.....	37
3.2.5. Otras prácticas.....	37
4. Discusión y Conclusiones.....	39
5. Bibliografía.....	42

1. INTRODUCCION

Para poder satisfacer las necesidades alimentarias de una población mundial en rápido crecimiento - 80 a 100 millones de personas más cada año según la FAO -, la agricultura moderna recurre al uso de fertilizantes químicos, en su afán por incrementar el rendimiento y productividad de los cultivos. Sin embargo, existen informes que indican que el empleo excesivo de este tipo de insumos industriales tan necesarios para obtener una alta producción agrícola, constituye un riesgo potencial de contaminación y deterioro ambiental.

Generalmente, es el menosprecio de los técnicos de campo que no aplican los conocimientos que ya se tienen para el correcto aprovechamiento de los fertilizantes - selección apropiada de la fuente nutrimental con base en las características de clima y suelos, momento más oportuno de aplicación, adecuada colocación en el terreno -, lo que propicia los problemas de contaminación del suelo y posteriormente de los mantos acuíferos, al ser acarreados o lixiviados por la lluvia o el agua de riego.

Actualmente, los fertilizantes no son considerados en nuestro medio como una fuente contaminante de gran

importancia, es por ello que debemos tener presente que estos al igual que los biocidas utilizados en los sistemas de producción agrícola de gran rendimiento, pueden crear problemas de contaminación, cuando son manejados inadecuadamente y/o son usados en forma indiscriminada.

Por lo tanto, este trabajo tiene como finalidad informar acerca de los efectos nocivos atribuidos a los fertilizantes y de las prácticas de manejo generadas para reducir al mínimo la contaminación resultante de la adición al suelo de estos insumos químicos.

1.1. Objetivos.

Informar sobre los principales efectos contaminantes atribuidos a los fertilizantes químicos empleados por la agricultura convencional, para lograr altos rendimientos en la producción de cultivos.

Informar acerca de las prácticas de manejo que pueden implementarse, para prevenir los riesgos de contaminación generados por el uso inadecuado de los fertilizantes minerales.

Indicar la importancia de conocer la eficiencia agronómica del nutrimento-fertilizante aplicado, a fin de poder discernir su efecto contaminante en el suelo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Contaminación Atribuida a los Fertilizantes

El gran éxito para la producción de alimentos fue el surgimiento de la llamada " revolución verde ", término con que comunmente se conoce a la introducción y establecimiento de paquetes tecnológicos, que a partir de la década de los cincuenta lograron incrementar notablemente los rendimientos agrícolas, mediante el uso de semillas de cultivares genéticamente mejorados con alto rendimiento, la irrigación de suelos, la mecanización de las labores agrícolas y la utilización de insumos químicos - fertilizantes y pesticidas - (Gracia *et al.*, 1988; FAO-ONU, 1989; Jiménez, 1992; Bifani, 1992).

Es innegable que desde esa época la fertilización química ocupa un lugar esencial dentro de los sistemas productivos de gran rendimiento, pues es bien conocido que la explotación intensiva de la tierra puede ocasionar un empobrecimiento paulatino del suelo, si los nutrientes tomados por los cultivos no son restituidos constantemente a través de la incorporación de abonos verdes, estiércoles, residuos orgánicos de variada naturaleza y/o con la aplicación de fertilizantes (Etchevers, 1991; FAO-ONU, 1991)

La importancia de los agronutrientes químicos en las explotaciones agrícolas, se refleja en el hecho de que más del 50% de las cosechas obtenidas actualmente son atribuidas al uso de fertilizantes (Bifani, 1992; Lira y Trujillo, 1992). Además, sin la participación de estos insumos, hoy día resultaría imposible cubrir las exigencias alimentarias de una población mundial cada vez mayor, estimada en aproximadamente 5,300 millones de habitantes (Bifani, *op. cit.*; Nuñez, 1991).

Los fertilizantes, contribuyen significativamente a elevar los rendimientos de los cultivos y durante mucho tiempo se les consideró productos inofensivos y más bien benéficos, ya que ayudan a la nutrición de las plantas (Bellapart, 1988). No obstante, durante los últimos años se han venido registrando problemas de contaminación de aguas freáticas y superficiales asociados al uso de fertilizantes (FAO-ONU, 1989; FAO-ONU, 1991). Esta situación es particularmente grave en partes de la Comunidad Económica Europea (CEE), los Estados Unidos y la antigua Unión Soviética, en regiones donde predominan las empresas agrícolas o pecuarias intensivas (FAO-ONU, 1989).

A raíz de esto, existe inquietud por el deterioro ambiental que pueden ocasionar estas sustancias químicas, maxime cuando es evidente que no podemos en estos momentos

prescindir de ellas, dado que son el único medio conocido para suministrar de manera inmediata y en las cantidades necesarias, los elementos esenciales que demandan los cultivos de alto rendimiento en la mayoría de las explotaciones agrícolas (Etchevers, 1991; FAO-ONU, 1986).

La contaminación de suelos en el sector agrícola es especialmente crítica en aquellas regiones donde existe una gran inversión de capital, es decir, en zonas altamente tecnificadas, donde aunado al mal manejo, se dan aplicaciones excesivas de fertilizantes (Crisostomo y Cuevas, 1984; Nuñez, 1991). Es en estos lugares sometidos a una intensa actividad agrícola que se generan los siguientes problemas:

- 1) Eutroficación de aguas superficiales.
- 2) Aumento de la concentración de nitratos en aguas freáticas.
- 3) Emisión de óxido nitroso a la atmósfera.
- 4) Acumulación de nitratos en plantas de consumo humano.
- 5) Acumulación en el suelo de metales pesados y otros.

Comunmente, el nitrógeno y el fósforo son los elementos relacionados con el deterioro ambiental, por ser los que con mayor frecuencia se adicionan para reponer las cantidades absorbidas por las cosechas y mantener la capacidad

productiva del suelo (Etchevers, 1991). Pero es el nitrógeno en su forma nítrica el que merece mayor cuidado, por ser el más susceptible a transformaciones químicas y bioquímicas, a movilización en el perfil del suelo y a posibles pérdidas por la volatilización y/o eluviación (Nuñez, 1991).

En relación al potasio, aunque es lixiviado a concentraciones muy bajas, no hay evidencias de contaminación por el uso agrícola de fertilizantes potásicos (FAO-ONU, 1986; Etchevers, 1991; PPI-FAR, 1991).

2.1.1. Eutroficación de aguas superficiales.

La eutroficación es en sí un proceso natural que puede tardar miles de años, sin embargo, como resultado de la actividad antrópica, este fenómeno se ha visto acelerado y es uno de los problemas más graves de contaminación de aguas superficiales - estanques, lagos, presas, etc. -. La eutroficación consiste en el excesivo crecimiento de algas y plantas acuáticas, debido a concentraciones elevadas de nutrientes - fundamentalmente nitratos, fosfatos y materias orgánicas -. Esto conduce a un alto consumo de oxígeno por parte de la vegetación acuática, que sumada al oxígeno consumido durante la descomposición de los detritos de plantas y de otros organismos, provocan la muerte de peces y

demás fauna acuática útil (Viets, 1971; Albert, 1976; Nava y Tirado, 1979; FAO-ONU, 1986; Gilliam *et al.*, 1985).

Los fertilizantes contribuyen a la eutroficación porque su uso incrementa los niveles de fósforo y de nitrógeno en los suelos agrícolas, desde donde ambos nutrientes químicos son llevados en el agua de escurrimiento superficial a los ríos, lagos y otros acuíferos (Albert, 1976; Nuñez, 1991; Jiménez, 1992).

El nitrato contenido en las aguas de avenamiento y de escorrentía superficial, es la forma más común en que el nitrógeno fertilizante es transportado a los cuerpos de agua, dado que el suelo no tiene capacidad para retener este anión. En cambio debido a la baja solubilidad de los fosfatos y a que están fuertemente retenidos en la fracción coloidal del suelo - la pérdida por eluviación se estima de cero a dos kg/ha/año, cantidad considerada insignificante -, la forma en que el fósforo aplicado se transporta, es mediante el arrastre físico de partículas de suelo en suspensión, como parte del efecto erosivo provocado por la escorrentía superficial de los terrenos agrícolas (Nava y Tirado, 1979; Gilliam *et al.*, 1982; FAO-ONU, 1986; Nuñez, 1991).

2.1.2. Alta concentración de nitratos en aguas freáticas.

El nitrógeno es un elemento muy soluble en su forma nítrica, por lo tanto muy móvil en el perfil del suelo y fácilmente arrastrado por las aguas de percolación hacia mantos freáticos profundos. La lixiviación del ión nitrato se ve favorecida en suelos con alta permeabilidad, sometidos a riego abundante o a alta precipitación pluvial (Nava y Tirado, 1979; Nuñez, 1991). Díaz y col. (1972 en Domínguez, 1987), indican en un estudio realizado mediante lisímetros - a lo largo de tres años -, que las pérdidas por lavado de nitrógeno-fertilizante fueron de más del 50 % cuando la aplicación coincidía con fuertes lluvias y escaso crecimiento vegetativo del cultivo.

La presencia de elevadas cantidades de nitratos en el agua potable es indeseable, tanto si provienen de escorrentías superficiales como si, son de origen subterráneo - eluviados -. Altas concentraciones de nitratos en el agua de consumo doméstico, pueden causar metahemoglobinemia -"enfermedad azul de los bebés"- en niños menores de un año. Esta es consecuencia de la reducción de los nitratos a nitritos en el aparato digestivo. Cuando los nitritos se combinan en la sangre con la hemoglobina, forman metahemoglobina, la cual es incapaz de transportar oxígeno

en la sangre y consecuentemente se producen síntomas de asfixia (Albert, 1976; Nava y Tirado, 1979; Bellapart, 1988; Nuñez, 1991; Ortiz-Monasterio y Bell, 1994). En los adultos la ingesta y conversión de nitratos a nitritos está asociada a la formación de nitrosaminas cancerígenas (FAO-ONU, 1986 y Bellapart *op. cit.*).

En el ganado un alto contenido de nitratos en el agua que consumen puede propiciar el "envenenamiento por nitratos", ya que las bacterias presentes en el rumen reducen los nitratos a nitritos, que una vez formados son los responsables del envenenamiento (Albert, 1976). Castellanos y Peña-Cabriales (1990), señalan que el límite de concentraciones aceptado en los Estados Unidos es de 10 ppm de nitrógeno nítrico en el agua potable y de 100 ppm en la de uso agropecuario.

Si bien el grado de contaminación producida por los fertilizantes no se conoce con precisión, no cabe duda de que éstos constituyen una causa importante en la concentración de nitratos en las aguas freáticas, que en algunas zonas han superado los niveles seguros para consumo humano (FAO-ONU, 1989). Por ejemplo, Albert (1976) menciona que en los Estados Unidos en algunos pozos se han llegado a encontrar concentraciones diez veces más altas que el máximo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Este organismo recomienda que el agua potable no contenga más de 11.3 mg/l de nitrógeno-nítrico, siendo aceptable hasta 22.6 mg/l en algunas circunstancias (FAO-ONU, 1986).

Addiscott y colaboradores (1991) citan que en Europa durante los últimos 30 años, la concentración de nitratos en el agua ha venido aumentando constantemente y que esto coincide con el incremento del uso de fertilizantes nitrogenados en las granjas europeas.

Power y Schepers (1989), refieren que en unas cuantas décadas las áreas bajo irrigación y sujetas a fertilización nitrogenada, crecieron rápidamente en los Estados Unidos y que esta es la razón del aumento en el contenido de nitratos en las aguas subterráneas. Además, señalan que las regiones con más problemas son aquellas donde se requiere de la irrigación para controlar la acumulación de sales en la zona de las raíces.

Khanif y colaboradores (1984) realizaron en Bélgica un trabajo donde evaluaron la contaminación resultante de la adición de fertilizante nitrogenado a un suelo arenoso cultivado con cebada y maíz. Ellos determinaron que el agua contenía una concentración de 11.3 mg/dm³ de nitrógeno nítrico, en cada uno de los estratos evaluados del perfil - 50, 100, 150 y 200 cm de profundidad -. Así mismo, indican

que lavados profundos de nitratos ocurrieron cuando hubo fuertes precipitaciones.

Embleton *et al.* (1980), exponen que aplicaciones anuales de nitrógeno fertilizante mayores a 100 kg/ha, incrementan el riesgo potencial de contaminación de las aguas freáticas.

2.1.3. Emisión de óxido nitroso a la atmósfera.

La fertilización nitrogenada ha sido asociada al incremento de la concentración de óxido nitroso (N_2O) en la atmósfera terrestre, dado que este gas es uno de los productos obtenidos durante el proceso bacteriano de desnitrificación. El óxido nitroso es una sustancia peligrosa que contribuye a consumir el ozono atmosférico que protege a la tierra de la radiación ultravioleta, pero su significancia en relación al volumen generado a partir del nitrógeno-fertilizante aplicado al suelo, aún es incierta (Gilliam *et al.*, 1982; Nuñez, 1991; Jiménez, 1992).

Bifani (1992) señala que los niveles de concentración del óxido nitroso exhiben un aumento generalizado de un 8% desde el periodo preindustrial hasta 1985, pasando de 285 ppbv a 307 ppbv, y que al margen de problemas tales como contaminación nitrítica de aguas, eutroficación,

metahemoglobinemia, etc., pareciera que la mayor denitrificación debida al uso masivo de fertilizantes nitrogenados es causa de la reducción de ozono en la atmósfera. También menciona que hay cálculos de que por cada 1% de aumento del óxido nitroso se reduce la cantidad de ozono en 0.2 %.

Aldrich (1980) refiere que la academia nacional de las ciencias de los Estados Unidos concluye, que el uso continuo de una cantidad anual de 200 millones de toneladas de nitrógeno agrícola podrían consumir un 3.5% de ozono dentro de 120 años.

2.1.4. Acumulación de nitratos en plantas.

Las plantas absorben el nitrógeno añadido al suelo principalmente en sus formas nítrica y amoniacal, pero es la primera la que es asimilada en mayor proporción, por lo que los nitratos estan presentes de manera natural en la savia antes de ser combinados con compuestos de carbono para dar aminoácidos y subsiguientemente proteínas.

Se ha encontrado que en ciertas verduras y hortalizas se acumulan niveles elevados de nitratos, lo cual depende principalmente del nitrógeno nítrico presente en el suelo y

de la rapidez con que el nitrato absorbido es reducido a nitritos y compuestos amoniacales para acudir a la síntesis de proteínas.

Vegetales como la lechuga, la espinaca, la berenjena, el betabel, el apio, la acelga, el pepino, y el jitomate, pueden contener una alta concentración de nitratos, que les constituye en un riesgo para la salud por la reducción de nitratos a nitritos descrita anteriormente.

Se considera que la fertilización nitrogenada es la responsable del enriquecimiento y acumulación de nitratos en verduras y hortalizas (Albert, 1976; Nava y Tirado, 1979; Bellapart, 1988).

2.1.5 Acumulación en suelos de metales pesados y otros.

La roca fosfórica fuente mineral utilizada para la producción comercial de fertilizantes fosfatados, es portadora en algunos casos de impurezas como el cadmio, por lo que este elemento puede estar presente en los fertilizantes fosfóricos en cantidades variables, que dependen de los niveles contenidos en el mineral empleado para la fabricación del fertilizante. Nuñez (1991) comenta que la roca fosfórica del oeste de los Estados Unidos llega a tener

hasta 980 ppm de cadmio, generando superfosfato triple con 50 a 200 ppm, mientras que el superfosfato elaborado con roca de la Florida contiene solo de 10 a 20 ppm.

Sauerberck (1982) indica que en los suelos de la antigua República Federal Alemana, la aplicación de 70 kg/ha/año de fósforo, corresponden a un suministro promedio anual de 3.5 gr de cadmio, cantidad que si bien no representa un peligro inmediato, debe ser tomado en cuenta por la posibilidad de acumulación tóxica de cadmio a largo plazo. No hay información sobre el contenido de cadmio en las rocas fosfóricas nacionales (Nuñez, 1991).

Por otra parte, se ha determinado que la componente mineral fosfórica también es portadora de elementos radioactivos naturales, pero en especial de los pertenecientes a la cadena radioactiva del uranio - U-238 y Ra-226 -, por lo que el uso extensivo de fertilizantes fosfatados presupone el depósito de radionúclidos en los suelos cultivables, que pueden provocar cierto impacto radiológico para el medio ambiente y la población (Proenza, 1994).

2.1.6. Problemas de salud asociados al uso de fertilizantes.

Los nitratos en sí no son tóxicos ni al hombre ni a los animales, pero su forma reducida, los nitritos, si

representan un peligro para nuestro organismo. A continuación se presentan los problemas de salud más comunmente asociados a los efectos contaminantes atribuidos a la fertilización química (Albert, 1976; Nava y Tirado, 1979; Bellapart, 1988; Ortiz-Monasterio y Bell, 1994; Addiscott, 1991):

- a) Cianosis o metahemoglobinemia; se desarrolla principalmente en niños menores de tres meses de edad, cuando se les proporciona agua con un alto contenido de nitratos. Como ya se ha dicho, los nitratos son convertidos en nitritos por las bacterias del tracto digestivo y el duodeno, y al pasar al torrente sanguíneo, los nitritos transforman a la hemoglobina en metahemoglobina, que es incapaz de transportar oxígeno, esta es la razón del porque se adquiere coloración azul de la piel - " blue-baby syndrome "-.
- b) Formación de nitrosaminas; la transformación de nitratos a nitritos en el cuerpo humano, puede conducir a la formación de nitrosaminas cuando los nitritos se combinan con aminas secundarias y terciarias. Estos compuestos son potencialmente cancerígenos y se les ha relacionado con algunos tipos de cáncer.

En Inglaterra, en la villa de Workshop, el número de cánceres gástricos y hepáticos era muy elevado y se vio que el agua de este lugar era excesivamente alta en

nitratos. En Israel y Narino - Colombia -, hay una correlación entre el nivel nítrico del agua y los cánceres del intestino y del estómago, respectivamente.

- c) Los nitratos reducen la actividad de la glándula tiroidea y provocan carencia de vitamina A; y esta vitamina tiene un papel protector contra determinados tipos de cáncer.
- d) Los nitratos tienen otros efectos patológicos:
 - Disminuyen las funciones de reproducción. En las ratas una ingesta de 500 mg/día, hace abortar a un 25% de hembras gestantes.
 - Provocan carencias de vitaminas del grupo B.

2.2. La contaminación del suelo.

Hablar del uso de fertilizantes y contaminación nos lleva a considerar cuanto, cuando, como y en que forma debemos aplicar los agronutrientes químicos, puesto que no todos los nutrientes incorporados al suelo son absorbidos por la planta (FAO-ONU, 1986; Etchevers, 1991; Jiménez, 1992).

En el caso del nitrógeno solo un 50% del nutrimento fertilizante es aprovechado, debido a los fenómenos de volatilización, el proceso de desnitrificación, la fijación laminar del ion amonio por las arcillas y la lixiviación del

ión nitrato. El fósforo por su parte, experimenta reacciones con los componentes del suelo, produciéndose su fijación e inmovilización, hasta el punto en que únicamente un 25 a 30% esta disponible para el cultivo. En relación al potasio, aproximadamente 50-60% del fertilizante es utilizado y el resto es fijado interlaminarmente en las arcillas (Jiménez, 1992).

Es precisamente esta fracción pérdida o no recuperada, lo que induce a la contaminación del suelo, pues con demasiada frecuencia los fertilizantes son mal manejados, ya que no se aprovechan los conocimientos de que ya se dispone -selección de la fuente nutrimental en función de las características fisico-químicas del tipo de suelo, del tipo de clima, de disponibilidad de agua, etc. -, para asegurar una absorción mucho más eficaz y evitar problemas de contaminación, más aún cuando este riesgo se incrementa por los altos niveles de fertilización a que son sometidos algunos cultivos.

En Indonesia por ejemplo, la recuperación del nitrógeno fertilizante aplicado es en la mayoría de los casos muy inferior al 20%, mientras que un buen empleo del insumo puede asegurar una absorción de más del 50%. Esta pérdida resulta no solo perjudicial para el ambiente, sino también un gasto sin retribución para el productor (FAO-ONU, 1991).

Etchevers (1991) señala que la fertilización química tiene como propósito complementar el abastecimiento de ciertos elementos que son esenciales para incrementar el rendimiento de los cultivos, dado que las plantas no pueden obtenerlos en las cantidades suficientes del suelo. Por lo tanto, el uso del nutrimento-fertilizante debe hacerse de manera racional, esto es, que debemos agregar solo la porción requerida por la planta, para no provocar contaminación del suelo.

En este sentido Demyttenaere y col. (1988), indican que de una aplicación de 360 kg de N/ha, queda en un suelo arenoso un residuo de por lo menos 100 kg no tomados por el cultivo, reflejándose este exceso de fertilización en una alta concentración de nitratos en las plantas y en el suelo.

2.2.1. Como contaminan los fertilizantes.

Es necesario recordar que el suelo esta constituido por tres fases: la sólida, la gaseosa y la líquida. La parte sólida se encuentra a su vez formada por una parte mineral integrada por las arcillas y los óxidos metálicos de fierro y aluminio - fracción coloidal inorgánica - y por una porción orgánica - fracción coloidal compuesta por el humus -. Ambas presentan todas las características

físico-químicas inherentes a las partículas coloidales, es decir, pueden adsorber cargas, formar floculos, etc. (Reyes, 1993a).

Esta particularidad permite que los coloides del suelo al tener densidades de carga positivas y negativas, adsorban en su superficie cationes, aniones y agua. Así mismo, la capacidad para flocular es lo que da lugar a la formación de agregados y a estos se debe la estructura del suelo. Gracias a la estructura hay espacios porosos, en ellos ocurre la aireación, drenaje, retención de humedad y apoyo mecánico para la planta. La adsorción de cargas en la fracción coloidal del suelo sirve para la nutrición del cultivo - a través del intercambio catiónico -, pues la micela coloidal retiene en forma disponible o asimilable agua y nutrientes en solución (Reyes, *op. cit.*).

La contaminación inicial resultante de la fertilización química de tierras agrícolas, se ha evaluado indirectamente como contenido de nitratos y fosfatos en los cuerpos de agua, puesto que el nutrimento-fertilizante añadido en exceso y/o no recuperado por la planta, se encuentra en la solución adsorbida a las partículas de suelo o bien permanece absorbido en estas, gracias a las propiedades de la fracción coloidal comentadas anteriormente. Por lo tanto, podemos apreciar la contaminación, cuando el exceso de agua

drena y lleva consigo las formas solubles o transporta las no solubles y las fijadas junto con las partículas de suelo.

Pero el proceso de contaminación derivado de aplicaciones frecuentes o de altos niveles de fertilización, puede manifestarse a futuro como salinización, basificación o acidificación del suelo. Aquí es importante recordar que el suelo tiene la capacidad de regular los cambios de pH de acuerdo a la ley del equilibrio químico.

Por tanto, cuando se agrega un fertilizante que disuelto en el suelo acidifica, se genera una reacción fuertemente ácida, entonces el suelo de inmediato libera de su sistema coloidal iones Ca^{++} , Na^+ y K^+ ; que neutralizan la acidez añadida por ser cationes fuertemente básicos. En cambio si adicionamos un nutriente químico que basicifica fuertemente al suelo, entonces la micela coloidal libera iones ácidos Al^{++} , Fe^{++} y Fe^{+++} ; que contrarrestan esa basicidad generada, restableciendo así el equilibrio ácido-base dentro del suelo (Reyes, 1993b).

Esta cualidad para contrarrestar las añadiciones de fertilizantes, es lo que conocemos como poder buffer, y puede alterarse desplazando los valores del pH hacia la acidez o la basicidad, por acumulación de gran cantidad de sales procedentes de la fertilización mineral. El resultado

de este desplazamiento, es la insolubilización de los macronutrientes y la solubilización de los micronutrientes que llegan a niveles tóxicos para la vegetación sustentada por el suelo.

La salinización, eutroficación, acidificación y basificación, son diferentes grados de contaminación y degradación del suelo. En este sentido, Nuñez (1973) menciona que los fertilizantes pueden clasificarse como contaminantes, en vista de que su adición al suelo modifica las características naturales y altera el estado normal de las tierras cultivadas, por lo que la contaminación ocurre si entre otros efectos, se degrada la calidad de la tierra.

2.2.2. Importancia de la eficiencia agronómica del fertilizante.

La preservación del suelo como recurso productivo, requiere de un uso eficiente de los fertilizantes empleados en la producción agrícola, en términos del porcentaje de recuperación del agronutriente químico aplicado, ya que el único propósito de su adición es que sea absorbido y asimilado por la planta, para incrementar el rendimiento del cultivo (Nuñez, 1991).

La eficiencia del uso esta determinada por el tipo de sistema radicular del cultivo, el método y oportunidad de aplicación, por la forma ionica suministrada en función de la fuente nutrimental elegida, el tipo de suelo y las características agroclimáticas de la zona productora (Etchevers, 1991).

La fertilización ideal debe concentrarse a proporcionar al cultivo los nutrimentos requeridos en complemento a los disponibles en el suelo. Cualquier exceso constituye no solo un riesgo potencial de contaminación, sino un gasto sin retribución para el agricultor. La optimización de la fertilización maximiza las utilidades y colateralmente evita sobrefertilización, por lo tanto siempre será deseable toda medida tendente a elevar la eficiencia agronómica del fertilizante, entendida como el porcentaje del nutrimento fertilizante aplicado que es absorbido por el cultivo y que se refleja en un incremento y en la calidad de la cosecha (Nuñez, 1973; Nuñez, 1991; Jiménez, 1992).

$$\text{Eficiencia Agronómica} = \frac{\% \text{ Recuperado cultivo}}{\text{Fertilizante}} = \frac{\text{Kg Nutrimento Absorbido}}{\text{Kg Nutrimento Aplicado}} \times 100$$

Desafortunadamente, con frecuencia el porcentaje de recuperación del nutriente aportado por el fertilizante es bajo. Gilliam y col. (1985), informan que la recuperación de nitrógeno-fertilizante aplicado a cinco diferentes cultivos varía de un 14 a 60% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentajes de recuperación de nitrógeno fertilizante (Gilliam *et al.*, 1985).

Cultivo	Nitrógeno (Kg/ha/año)	Absorción
Maíz	58-169	23-32
Maíz	90-130	24-60
Trigo	50-100	21-44
Arroz inundado	100	38-44
Cebada	60	14-25
Remolacha	50-280	12-40

Ortiz-Monasterio y Bell (1994) exponen que la recuperación típica de un cultivo de maíz, es del orden del 50% de N-fertilizante absorbido, pero que es posible lograr una asimilación de hasta un 70-80%. Así mismo indican que Yamaguchi (1991) encontro en una revisión de literatura, que en general un 30 a 70% del nitrógeno químico es recuperado.

Power y colaboradores citados por Domínguez (1987), observaron una absorción de alrededor del 60% de nitrógeno aplicado en un suelo de migajón cultivado con maíz.

El término absorción se refiere a los aspectos de concentración del nutrimento en la planta, como de la extracción del mismo, es decir, de la cantidad total del nutriente presente en el vegetal. El concepto de eficiencia implica el conocimiento del uso que la planta le da a los nutrientes (Lira y Trujillo, 1992).

Por consiguiente, Etchevers (1991) señala que debemos tener como objetivo la fertilización de las plantas no la del suelo, y establece que aún necesitan perfeccionarse aspectos como los siguientes:

- a) Generar técnicas que permitan deducir con precisión la cantidad de nutrimentos que demandan las plantas; lo cual depende de la máxima cantidad de biomasa posible de producir bajo las diversas condiciones agroecológicas, de las características propias de los suelos donde se implanten las explotaciones agrícolas, del potencial genético de los cultivares seleccionados y del manejo del agrosistema de producción.
- b) Técnicas que permitan predecir con exactitud la necesidad de aplicar fertilizantes, es decir mecanismos que permitan evaluar el aporte real de nutrientes

proporcionado por el suelo, de manera que podamos aplicar dosis más próximas a las verdaderas necesidades del cultivo, a fin de poder evitar el uso excesivo de estos insumos químicos.

- c) Mecanismos para evaluar la eficiencia del uso de fertilizantes y tecnologías para mejorarla, mediante sistemas de aplicación más adecuados.

2.2.3. El consumo de fertilizantes en México

La agricultura ocupa aproximadamente 20 millones de hectáreas, de las cuales en cinco millones se tiene establecido un modelo tecnológico intensivo dependiente del uso de agroquímicos para poder elevar los rendimientos. Los resultados de este paquete tecnológico, han sido la contaminación del suelo y agua con residuos químicos, la salinización del 10% de las tierras de riego y el abatimiento de los mantos freáticos, lo que ha llevado al empobrecimiento de los terrenos de alta productividad agrícola. Las tierras de temporal tampoco han estado exentas del deterioro, pues parte de ellas -las de mejor aptitud agrícola-, también han estado sujetas al abuso de agroquímicos (Carabias y Provencio, 1993).

Garibay (1979) indica que para 1977 de 14.5 millones de hectáreas que se cultivaron, únicamente 2.5 millones eran de riego y 12 millones de temporal, representando el 17.2 y el 82.8% respectivamente. De la superficie con riego se fertilizaba el 85%, mientras que en la de temporal únicamente se aplicaba fertilizante al 33% de la tierra disponible. Las zonas productoras con mayor consumo de fertilizante fueron la región noroeste con 70% de tierras fertilizadas, la pacífico centro con 64% y la región centro con un 62.5%. La región noroeste comprende los estados de Nayarit, Sinaloa, Sonora y las Baja California Norte y Sur. La región pacífico centro se integra por los estados de Jalisco, Colima y Michoacán. Por último la región centro incluye los estados de México, Querétaro, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Morelos.

Por lo tanto, las mayores posibilidades de contaminación se ubican principalmente en las zonas irrigadas y sometidas a intensa actividad agrícola del noroeste y centro del país, donde se aplican actualmente dosis superiores a los 300 kg de nitrógeno y 150 kg de pentóxido de fósforo por hectárea (Nuñez, 1973; Nuñez, 1991).

La fertilización química en México ha presentado a partir de los años cincuenta un crecimiento extensivo - ampliación de áreas fertilizadas - e intensivo - mayor cantidad de

nutrientes por hectárea fertilizada -. En 1950 el consumo interno nutrientes industriales ($N+P_2O_5+K_2O$) ascendía apenas a 11,483 toneladas. Para 1960 el consumo se eleva a 121,603 toneladas que representa un crecimiento del 1,027%. En 1970 la cifra alcanzo 558,851 toneladas, 459% de aumento y para 1985 la demanda interna de nutrientes crecio hasta 1'742,565 toneladas, que representó un incremento del 312% respecto a 1969 y del 14,714% en relación a 1950. Las proporciones en que se usaron los tres principales nutrientes para 1985 es de aproximadamente 73% de nitrógeno, 22% de fósforo y 5% de potasio (Gracia *et al.*, 1988).

2.2.4. Otras fuentes contaminantes.

Los fertilizantes minerales no son los únicos responsables del depósito de nitrógeno y fósforo en los suelos agrícolas, desde donde ambos son llevados a los ríos, lagos y otros depósitos de agua. Los nitratos y fosfatos también pueden proceder de fuentes tales como las aguas negras urbanas e industriales - utilizadas con fines de riego -, la degradación de la materia orgánica, las excretas y desechos de la crianza de animales, de fosas sépticas, del desgaste natural de los suelos sean o no fertilizados, etc. (Albert, 1976; Nava y Tirado, 1979; Addiscott, 1991).

Castellanos (1989, en Nuñez 1991) midió el contenido de nitratos en las aguas de 187 norias en la Comarca Lagunera y encontró concentraciones que variaron de 0.06 a 207.2 ppm. Sin embargo, no encontró relación entre el uso agrícola de fertilizantes nitrógenados y el contenido de nitratos en las aguas analizadas, lo que sugiere una posible contaminación de tipo geológico.

En el Lago Mendota de Wisconsin en los Estados Unidos, se dice que el 9% del nitrógeno contenido en sus aguas proviene del arrastre rural, el 17% de la precipitación pluvial y el 45% del agua freática. Para el fósforo, se estima que el 52% procede del medio rural, 2% del agua freática y 2% de la precipitación. Se piensa que mucho del fósforo y del nitrógeno proviene del estiércol extendido en el suelo congelado (Nava y Tirado, 1979).

3. EMPLEO DE FERTILIZANTES Y CALIDAD AMBIENTAL

El control de la fertilización en las unidades de producción requiere la realización de mapeo agroquímico de suelos y este a su vez necesita de métodos que reflejen fielmente la fertilidad del mismo. Es necesario utilizar el fertilizante en función de la fertilidad del suelo, para poder obtener el efecto económico y agronómico que se espera, pues no solo es necesario emplear una dosis adecuada de nutrientes, sino lograr un equilibrio correcto en la nutrición de la planta (Cuesta, 1988).

Los tipos de suelo varían de una región a otra, al igual que el clima y los cultivos que se desarrollan en ellos. Por lo tanto los efectos de los fertilizantes sobre las tierras agrícolas y el medio ambiente también difiere.

La eficiencia de los fertilizantes se ve afectada por un gran número de factores tales como: pH, textura, contenido de materia orgánica y contenido de humedad del suelo. De esta manera las propiedades del suelo y los efectos de la fertilización guardan una estrecha relación.

El empleo de fertilizantes es muy reducido en zonas de escasa precipitación, por lo que el riesgo de contaminación es probable que sea mínimo. En tanto que las zonas de moderada precipitación que tienen el regadío asegurado presentan problemas de contaminación que van en aumento (FAO-ONU, 1986).

3.1. Prácticas de Manejo para Disminuir el Efecto Contaminante de la Fertilización Química

El riesgo de deterioro ambiental por aplicación excesiva de fertilizantes, se ubica principalmente en las zonas agrícolas irrigadas y altamente tecnificadas del Noroeste y Centro del País, donde anualmente se aplican dosis superiores a los 300 kg de nitrógeno y 150 kg de penta-fosfato por hectárea. Es en estas zonas donde se requiere mejorar las prácticas de fertilización, no solo apeandose a las dosis económicas óptimas, sino mejorando también las técnicas de manejo de los fertilizantes (Nuñez, 1991).

Ningún fertilizante debe convertirse en una amenaza para la estabilidad del sistema ecológico si se emplea racionalmente. Hay evidencias científicas que muestran que suelos sometidos a fertilización por períodos que van de 50 a casi 150 años en experimentos conducidos en Inglaterra,

Dinamarca y Estados Unidos, no han sufrido degradación y son más productivos que los que no se han fertilizado (Etchevers, 1991).

Investigaciones conducidas en México sobre manejo de fertilizantes, proveen ejemplos de prácticas que al elevar la eficiencia agronómica del nutrimento químico aplicado, reducen el riesgo de acumulaciones que pudieran afectar la calidad ambiental.

A continuación se exponen algunas formas de manejo y su efecto sobre la eficiencia agronómica del fertilizante, así como otras prácticas para disminuir el efecto contaminante de la fertilización química.

3.1.1. Uso de inhibidores de nitrificación.

Las pérdidas de nitrógeno-fertilizante, se producen fundamentalmente después de su conversión en nitratos. La inhibición ó retardamiento de la nitrificación, puede por consiguiente reducir las pérdidas y aumentar la eficiencia del nitrógeno aplicado (FAO-ONU, 1986).

Los productos capaces de inhibir la nitrificación actúan sobre las bacterias responsables de este proceso

- nitrosomonas, nitrobacter, etc. - de tal manera que al añadirlos a los fertilizantes amoniacales o la urea, evitan la nitrificación limitando la permanencia del nitrógeno químico a la zona de las raíces (Nuñez, 1991; Jiménez, 1992)

Cuadro 2. Propiedades Físicas y Químicas de los Inhibidores de la Nitrificación (FAO-ONU, 1986).

Nombre común y comercial	Producto químico	Solubilidad en agua (g/100 ml)	Dosis normales de mezclado y aplicación
N-serve o Nitrapirina	2-cloro-6-(triclorometil)-piridina	0,004 a 20 °C	0.15-0,5 kg/ha
AM	2-amino-4-cloro-6-metil-pirimidina	0,127 a 20 °C	0,3 a 0,4 %
Thiourea	Thiourea	9,2 a 13 °C	1,5 a 2,5 %
DCD	Diciendiamida	2,38 a 13 °C	1,0 a 2,5 %
ST	2-sulfanilamida tiazol	0,06 a 26 °C	0,3 a 0,4 %

Torres y Alvarado (1979, en Nuñez 1991) al agregar un litro del inhibidor N-Serve (2 Cloro 6 Triclorometilpiridina), a una dosis de aplicación de 109 kg N/ha a base de amoníaco anhidro o sulfato de amonio, lograron un incremento de 830 kg de grano y 2.2 ton. de paja/ha, en un vertisol del Noroeste de México cultivado con trigo.

Por su parte Cruz y Nuñez (1983, en Nuñez 1991), cuando probaron la triamida N-butil fosfórica (NBPT), como inhibidor de ureasa en trigo, al añadir 0.5% de este compuesto en urea, obtuvieron una recuperación de nitrógeno fertilizante 20 y 12.7% mayor que la conseguida con urea normal, al aplicar 120 y 180 kg de N/ha respectivamente, sin embargo, los rendimientos de grano fueron similares estadísticamente.

3.1.2. Fraccionamiento de la fertilización nitrógenada.

Desde el punto de vista de susceptibilidad a lixiviación, tanto la urea como los nitratos son más propensos que el ion amonio, ya que este es retenido con las cargas negativas de las arcillas y la materia orgánica. La dosificación fraccionada permite por lo tanto reducir las pérdidas por lavado en áreas con suelos permeables, sujetos a irrigación o a alta precipitación pluvial. Además mediante esta práctica podemos suministrar a la planta el nutrimento en momentos más acordes con sus requerimientos fisiológicos (Nuñez, 1991).

Becerril (1980) comenta que la aplicación fraccionada de nitrógeno en las fases de trasplante, inicio del letargo y floración, influye positivamente sobre el rendimiento y

calidad del fruto obtenido en el cultivo de la fresa, dado que promueve un desarrollo vegetativo y reproductivo equilibrado, además de generar mayores rendimientos con una maduración uniforme de frutos.

3.1.3. Uso de fertilizantes de liberación lenta.

Limitar el movimiento de los solutos fuera de la zona radicular del cultivo, aumenta la eficacia del fertilizante, prolonga su acción en el tiempo, simplifica su dosificación y evita pérdidas por degradación, volatilización y lavado. Por consiguiente, los fertilizantes de liberación lenta suministran los nutrientes de la manera requerida por cada tipo de planta, de acuerdo a la fase de su crecimiento, eficientan la utilización del nutriente y aminoran la contaminación (Jiménez, 1992).

No obstante con motivo de su disponibilidad limitada y su elevado costo solo se pueden utilizar para la fertilización de cultivos hortícolas de alto valor. Entre los varios productos podemos citar como fuentes nitrógenadas a la urea formaldehído, el isobutilideno di-urea (IBDU), y la crotonilidendiurea (CDU) (FAO-ONU, 1986).

3.1.4. Suplemento con fertilización foliar.

Norton citado por Reyes (1976) indica que la adición de fertilizante foliar no es sustituto de la aplicación al suelo, en tanto que Mendoza (1989) señala que es más eficiente que la edáfica en suelos arenosos, debido a que estos retienen poco los nutrientes y por eso son lavados por la acción del agua.

Embleton *et al.* (1986) informan que a través de la fertilización foliar y con bajas dosis de aplicación al suelo, se reduce sustancialmente la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas.

3.1.5. Otras prácticas.

La substitución de fertilizantes químicos por estiércoles es altamente deseable y debe fomentarse. Sin embargo, no es suficiente la disponibilidad de estas fuentes y aún en el caso de que existiera abundante disponibilidad, su uso está limitado, ya que los costos de transporte por el alto volumen requerido, no hacen económicamente redituable ni atractivo su uso en regiones donde su producción es escasa o nula. Paradojicamente la generación y empleo de estiércoles no está exenta de problemas ambientales, pues existe

información sobre grados de contaminación por nitratos, provenientes del proceso de mineralización que sufre el nitrógeno aportado mediante estercolados al suelo (Etchevers, 1991).

El aprovechamiento de las leguminosas por su capacidad para fijar el nitrógeno atmosférico, es sugerido por la agricultura tradicional, como una forma importante de reducir el consumo de fertilizantes nitrogenados, en vista de la ventaja de que al establecer el cultivo, las leguminosas utilizan el nitrógeno residual del cultivo anterior. Sin embargo, leguminosas con alta capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico, también pueden propiciar la acumulación de nitratos en el suelo. Por lo tanto, las medidas de manejo para prevenir la acumulación y potencial lixiviación del nitrógeno residual, comprende la práctica de rotación de cultivos aunado al uso apropiado del agua de riego y de abonos orgánicos (Nuñez, 1991; Etchevers, 1991).

Por último en la contaminación por fósforo se ha visto que la concentración es casi ocho veces mayor en suelos arenosos, de como lo es, para los suelos arcillosos con la misma dotación de fósforo. Si se evita la erosión, el suelo suspendido en el agua de escurrimiento ya no transportará este elemento hacia los cuerpos de aguas superficiales (Nava y Tirado, 1979).

4. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Si bien los fertilizantes causan menos problemas que los plaguicidas, es evidente que también contribuyen a ciertos grados de contaminación del ambiente cuando son mal empleados. El no aplicar principios básicos como son elegir la fuente nutrimental de acuerdo con el mineral de origen del suelo, su fertilidad natural, las características físico-químicas, el tipo de clima y la disponibilidad de agua del mismo, es lo que incrementa de modo significativo los riesgos de contaminación y degradación del recurso productivo suelo a mediano y largo plazo.

Agregar niveles de fertilización por encima de las necesidades reales del cultivo y de la capacidad de asimilación de la planta, sin auxiliarnos de herramientas tan importantes como son los análisis de suelos y aguas, nos lleva a dejar en las tierras cultivadas residuos del fertilizante aplicado, que además de constituir un grado de contaminación incipiente, también representa un gasto adicional no recuperable.

El empleo de los fertilizantes debe visualizarse desde varios ángulos: 1) La necesidad de obtener la suficiente cantidad de alimentos que demanda una población en constante

crecimiento; 2) El deterioro del entorno ambiental que se ha reflejado principalmente en la contaminación de los cuerpos acuiferos; 3) El riesgo toxicológico que representan para la salud de los núcleos poblacionales; 4) La degradación a futuro del recurso productivo suelo y 5) Las necesidades propias de los productores que no dejarán de utilizar estos insumos químicos en tanto no se disponga de otro medio igualmente efectivo para mantener una alta productividad agrícola.

Es posible sustituir el consumo de los nutrientes químicos por fuentes nutrimentales alternativas como los estiercoles y los abonos verdes, sin embargo, la realidad muestra que bajo los actuales esquemas de explotación utilizados por la agricultura comercial - sin duda la más contaminante -, su uso es inevitable, ya que sin sistemas productivos de gran rendimiento, difícilmente podremos cubrir la demanda de alimentos y de otros bienes de consumo de origen agrícola. De aquí la importancia que adquiere el desconocimiento de los efectos perniciosos que causan los fertilizantes sobre el entorno ambiental.

Es necesario realizar investigaciones que aporten datos, para evaluar el efecto contaminante que ha resultado del uso de fertilizantes, tanto en los distritos de riego como en las zonas temporaleras de mejor calidad. No tenemos que

esperar a que se den procesos de eutroficación de aguas, ni de acumulación de niveles tóxicos de nitratos en los manantiales de agua potable, para darnos cuenta de que se ha iniciado un proceso de contaminación que puede derivar en la salinización y degradación de tierras altamente productivas como ya ha ocurrido en los distritos de riego por un uso inadecuado del agua de irrigación.

Así mismo, se requiere que los técnicos de campo hagan un análisis minucioso de las condiciones de clima y suelos prevalecientes en la región donde ellos ejercen profesionalmente, antes de proceder a sugerir la dosis, momento más oportuno de su aplicación y/o la fuente iónica más recomendable del nutrimento químico.

BIBLIOGRAFIA

- Addiscott, T.M., A.P. Whitmore, D.S. Powlson. 1991. Farming fertilizers and the nitrate problem. Rothamsted Experimental Station Harpenden UK. CAB International. UK. pp. 1-14.
- Albert, L.A. 1976. Los fertilizantes como contaminantes de aguas y alimentos y como agentes que alteran la biosfera. Protección de la calidad del agua. 11 (4):1-8.
- Aldrich, S.R. 1980. Nitrogen in relation to food, environment and energy. Special Publication 61. Agricultural Experiment Station. College of Agr. University of Illinois at Urbana-Champaign. 452 p.
- Becerril Román, A.E. 1980. Efecto de la fertilización nitrógenada en diferentes fases fenológicas de la fresa (*Fragaria x anarsa* Dutch). Tesis M.C. en Genética. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.
- Bellapart Vilá, C. 1988. Agricultura biológica en equilibrio con la agricultura química: fertilización natural, la agricultura del futuro. 1a. Ed., Ed. Aedos. Barcelona, España. pp. 1-23.
- Bifani, P. 1992. Desarrollo sostenible, población y pobreza: Algunas referencias conceptuales. EN: Primer

Congreso Iberoamericano de Educación Ambiental
(22-29 noviembre, 1992). pp. 1-23.

- Carabias, J. y Provencio, E. 1993. Hacia un modelo de desarrollo agrícola sustentable. Alternativas para el campo mexicano Tomo II. 1a Ed., Fontamara/PUAL-UNAM/Fund. Friedrich Ebert Stiftung. México, D.F. pp. 44-59.
- Castellanos, J.Z. y Peña-Cabriales, J.J. 1990. Los nitratos provenientes de la agricultura. Terra 8 (1): 113-126.
- Crisostomo, M.A. y Cuevas, V.M. 1984. Ecología y progreso de la tecnología en la agricultura en México. Tesis Lic. Ing. Agrícola. FES-Cuatitlán UNAM. Cuatitlán Izc., Méx. pp. 86-134.
- Cuesta Dávila, A. 1988. Algunos métodos de laboratorio para la determinación de N asimilable del suelo con el fin de combatir la fertilización nitrógenada de los cultivos. Instituto Sup. Cien. Agrop. de la Habana. Fac. Agron. Depto. Nutrición Veg. La Habana, Cuba. pp. 54-60.
- Demyttenaere, P., G. Hofman, G. Vulsteke, C. Ossemerct, 1988. Nitrogen fertilization advise for self-blanching celery. Modelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent. 5 (1):113-122.

- Dominguez Flores, M.L. 1987. Utilización de diferentes criterios para estimar dosis óptima económica de nitrógeno y fósforo para maíz bajo riego en tres sitios del Estado de Morelos. Tesis Lic. Ingeniero Agrónomo. UACH-Depto. Suelos. Chapingo, Méx.
- Embleton, T.W., W.W. Jones, C. Pallares, R.G. Platt. 1980. Effects of fertilization of citrus on fruit quality an groundwater nitrate-pollution potential. Proc. Int. Soc. Citriculture. Griffith, NSW, Australia, pp. 280-285.
- Embleton, T.W., M. Matsumara, L.H. Stolzy, D.A. Devitt, W.W. Jones. 1986. Citrus nitrogen fertilizer management, groundwater pollutin, soil salinity, and nitrogen balance. Appl. Agr. Res. 1 (1):57-64.
- Etchevers Barra, J.D. 1991. El papel de los fertilizantes en la agricultura sostenible. RN: Memorias del Primer Simposium Nacional de Agricultura Sostenible: Una opción para el desarrollo sin deterioro ambiental Colegio de Postgraduados, Montesillos, Méx. pp. 309-320.
- FAO-ONU. 1986. Guía de fertilizantes y nutrición vegetal. FAO, Boletin FAO fertilizantes y Nutrición vegetal 9. FAO. Roma, Italia. pp. 74-173.
- FAO-ONU. 1989. Desarrollo sostenible y ordenación de los recursos naturales. Colección FAO: Agricultura. FAO, Roma, Italia. pp. 65-100.

- FAO-ONU. 1991. Producción agrícola sostenible: Consecuencias para la investigación agraria internacional. Estudio FAO Investigación y Tecnología 4. FAO. Roma, Italia. pp. 1-46.
- Garibay Rodríguez, G. 1979. Estado actual del mercado de los fertilizantes en México y proyección de la demanda 1979-1988. Tesis Lic. Economía. Fac. Economía UNAM. México, D.F.
- Gilliam, J.W., T.J. Logan, F.E. Broadbent. 1982. Fertilizer use in relation to the environment. Proc. 184th Nat. Meet. Am. Chem. Soc., Div. Fert. and Soil Chem. Kansas City, Sept. 12-17.
- Gilliam, J.W., T.J. Logan, F.E. Broadbent. 1985. Fertilizer use in relation to the environment: fertilizer technology and use. 3a. ed. Soil Science Society of América. Madison, Wisconsin, USA.
- Gracia Fradique, J. 1988. Estado y fertilizantes (1760-1985). 1a. Ed. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. pp. 45-215.
- Jiménez Gómez, S. 1992. Fertilizantes de liberación lenta (tipos, evaluaciones y aplicaciones). 1a. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 11-81.
- Khanif, Y.M., O. Van Cleemput, L. Baert. 1984. Interaction between nitrogen fertilization, rainfall and groundwater pollution in sandy soil. Water Air and Soil Pollution. 22 (4):447-452.

- Lira, M.J.R. y Trujillo, P.J. 1992. Evaluación de la fertilización N-P-K para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Teocaltiche, Jal, México. Tesis Lic. Ing. Agrícola. FES-Cuautitlán UNAM. Cuautitlán Izc., Méx.
- Mendoza Pérez, S. 1989. Respuesta del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a los fertilizantes foliares como complemento a los edáficos en Villa Flores, Chiapas: Tesis Lic. Ing. Agrónomo. UACH. Chapingo, Méx.
- Nava, D.J. y Tirado, S.D. 1979. Contaminación por uso irracional de fertilizantes. EN: Simposio Sobre Problemas Ambientales en México. ENCB-IPN. 3-6 Diciembre, 1979. México, D.F. pp. 177-197.
- Núñez Escobar, R. 1973. El uso de fertilizantes y la contaminación del medio ambiente. EN: Memoria I Reunión Nacional Sobre Problemas de Contaminación Ambiental (Tomo II). Edit. Dir. Gral. Planeación, Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, S.S.A. Enero de 1973. México, D.F. pp. 1018-1025.
- Núñez Escobar, R. 1991. El manejo de los fertilizantes en la conservación del suelo y agua. EN: Memorias del Primer Simposium Nacional de Agricultura Sostenible: Una opción para el desarrollo sin deterioro ambiental. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Méx. pp. 321-330.

- Ortiz-Monasterio, J.I. and Bell, M.A. 1994. Agriculture, nitrogen and the environment. EN: Memorias IV Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Asoc. Méx. Ing. Agr. (28-30 Septiembre, 1994). Cuatitlán Izc., Méx. pp. 14-35.
- Power, J.F. and Schepers, J.S. 1989. Nitrate contamination of groundwater in North America. Agr. Ecosyst. Environ. 26 (3-4):165-187.
- PPI-FAR. 1991. Facts from our environment. Bulletin of the Potash and Phosphate institute and Fundation for Agronomic Research. Atlanta, Georgia, USA.
- Proenza Suárez, E.E. 1994. Impacto radiológico debido al uso de fertilizantes fosfatados. EN: Memorias IV Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Asoc. Méx. Ing. Agr. (28-30 Septiembre, 1994). Cuatitlán Izc., Méx. pp. E-7 a E-10.
- Reyes Sánchez, L.B. 1993a. Las Arcillas. Material elaborado para las asignaturas de Química I y Suelos. Ing. Agrícola. FES-Cuatitlán UNAM. Cuatitlán Izc., Méx.
- Reyes Sánchez, L.B. 1993b. Mecanismos de regulación del pH. Material elaborado para las asignaturas de Química I y Suelos. Ing. Agrícola. FES-Cuatitlán UNAM. Cuatitlán Izc., Méx.
- Reyes Vargas, J.L. 1976. Factibilidad económica de la substitución de la fertilización fosforada al suelo por aplicaciones foliares en una variedad de maíz

en Cadereyta Jiménez N.L. Tesis Lic. Ing. Agrónomo
Administrador. ITESM. Monterrey, N.L.

Sauerberck, D. 1982. Environmental significance of cadmium
content in phosphorus fertilizer. Landbauforschung
Volkenrode. 32 (4):192-197.

Viets, F.G. 1971. Fertilizer use in relation to surface and
groundwater pollution. EN: Fertilizer Technology and
Use. Soil Science Society of America. U.S.A.