

Desarrollo Sustentable de los Recursos Naturales al Disminuir Riesgos de Contaminación en Actividades Agropecuarias

Miguel Palomo Rodríguez, J. Guillermo Martínez Rodríguez y
Uriel Figueroa Viramontes

Investigadores del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias)
Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdés No. 1200
Matamoros Coahuila (México). palomo.miguel@inifap.gob.mx

Introducción

El concepto de desarrollo sustentable data desde hace al menos 20 años pues, en 1987, se planteó como el crecimiento económico que debe estar en armonía con el uso racional de los recursos naturales y el medio ambiente. En síntesis, el desarrollo, para ser sostenible, debe ser concebido como un proceso multidimensional en tiempo y espacio, en el cual la trilogía equidad, competitividad y sustentabilidad, quedan salvaguardados en principios éticos, culturales, socioeconómicos, ecológicos, institucionales, políticos y técnico-productivos. Garantizarle a las futuras generaciones el sustento de agua, suelo y medio ambiente en calidad y cantidad suficiente que permitan su desarrollo, es motivo de refrendar estos planteamientos de trabajo.

En las zonas semiáridas de México, la agricultura de riego intensiva se caracteriza por una alta inversión de recursos para poder mantener un aceptable margen de producción, competitividad y calidad de los productos generados. Con el propósito de valorar y asegurar en el largo plazo la integridad ecológica de los recursos naturales, durante las últimas dos décadas se ha puesto un mayor énfasis en el costo ambiental que esto representa, ya que en diversas zonas del planeta se registran problemas severos de contaminación. En todos los países el agua subterránea es una reserva importante de agua

potable; sin embargo, en varias regiones del planeta este recurso hídrico está contaminado hasta el punto en que ya no reúne las condiciones establecidas en las normas actuales para su consumo humano (Ongley, 1997).

En la agricultura moderna es absolutamente necesario el uso de agroquímicos para mantener altos rendimientos en los cultivos, pero algunas desventajas que presentan los fertilizantes es que alteran las propiedades químicas y biológicas del suelo; asimismo, los fertilizantes nitrogenados propician una variada lixiviación de nitratos que contaminan los acuíferos (Medina y Cano, 2001).

La contaminación del agua subterránea por nitratos (N-NO_3^-) es un problema extendido en muchos lugares del mundo (Canter, 1997) e impone una seria amenaza al abastecimiento de agua potable (Pauwels *et al.*, 2001; Muñoz *et al.*, 2004). Este problema obedece al impacto que tiene el excesivo uso de fuentes nitrogenadas en el sector agropecuario ya que no está regulada la aplicación y uso de fertilizantes minerales (inorgánicos), ni la fertilización proporcionada por estiércol y biosólidos (inorgánicos) (Ongley, 1997; Figueroa *et al.*, 2003). En materia de regulación, los biosólidos son los únicos que reciben supervisión para su aprovechamiento, aunque la norma establece

los límites máximos permisibles (LMP) para metales pesados y no especifica las dosis de nitrógeno que deben aplicarse al suelo (Figuroa *et al.*, 2003). A este respecto Figuroa *et al.*, (2006) justifica plenamente la necesidad de regular las dosis de fertilizantes utilizados en el sector agrícola, toda vez que se presentan riesgos de contaminación al acuífero.

El RIVM (Instituto de Salud Pública y el Ambiente de Holanda) (1992) señala que la agricultura europea es causante del 60 por ciento del total del flujo fluvial de nitrógeno, que llega al Mar del Norte y es responsable del 25 por ciento de la carga total de fósforo. El mismo informe señala que en la República Checa, la agricultura aporta el 48 por ciento de la contaminación del agua superficial. La FAO/CEPE (1991) indica que Holanda registra una contaminación sustancial de las aguas subterráneas por nitratos, en tanto Appelgren (1994) observa que el 50 por ciento de los pozos poco profundos que abastecen de agua a más de un millón de residentes de Lituania no son aptos para el consumo humano por la presencia de una gran variedad de contaminantes, entre los que figuran plaguicidas y compuestos nitrogenados.

En México se ha detectado la presencia de diversos contaminantes en los acuíferos, donde destaca básicamente el problema de arsénico y nitratos. Altas concentraciones de arsénico se han localizado en cuerpos subterráneos de agua que se utiliza para el abastecimiento de la población. Operativamente, las Juntas Municipales de Agua y Saneamiento tienen la responsabilidad de excluir aquellos que rebasan al LMP (límite máximo permisible) establecido por la norma; ejemplos clásicos de contaminación por arsénico son ampliamente conocidos para la Comarca Lagunera (Coahuila y Durango) (Martínez *et al.*, 2005b; Petkova, 1999), sin embargo también se presentan para Zimapán (Hidalgo), Acámbaro (Guanajuato), capital de Zacatecas, Cuautla (Morelos), Delicias-

Meoqui y Camargo-Jiménez (Chihuahua), así como en San Antonio (Baja California), (Petkova *et al.*, 1997).

Estudios relacionados con excesos de nitratos en el agua subterránea del sector rural para el estado de Yucatán son señalados por Pacheco (1992), donde las concentraciones varían desde cero hasta 223 mg L^{-1} , con un promedio y desviación estándar de $60 \pm 46 \text{ mg L}^{-1}$. Estas concentraciones son superiores al LMP establecido para consumo potable que es 10 mg L^{-1} (Heredia, 2000; Arciniega y Palomo, 1998).

Para la Comarca Lagunera se presentan muy altas concentraciones de nitratos de acuerdo con Castellanos (1981, 1987, 1989), donde destaca un rango de 0.06 a 207 mg L^{-1} , con un promedio de 23 mg L^{-1} ; así también se identifican las áreas de mayor vulnerabilidad espacial por la alta concentración de nitratos localizadas en El Colorado, El Polvo y Salamanca del municipio de Villa Juárez y que exceden las 200 mg L^{-1} (Martínez *et al.*, 2005). Estudios complementarios a este problema permiten definir áreas potenciales de contaminación, debido al volumen de nitrógeno excretado por el ganado bovino, dada la importancia que registra la cuenca lechera de la Comarca Lagunera y donde los municipios Lerdo, Gómez Palacio, Matamoros y Torreón registran los mayores niveles de nitrógeno excretado (Martínez *et al.*, 2005a).

Las instituciones de investigación asentadas en la frontera norte del estado de Chihuahua, como el INIFAP y la UACJ han abordado durante la última década, diversos estudios y tópicos sobre el problema de contaminación. El presente trabajo tiene como objetivo, analizar los riesgos de contaminación por nitratos que presenta el acuífero del Valle de Juárez Chihuahua, ocasionados por las actividades agropecuarias y plantea alternativas para su aplicación inmediata sobre el uso adecuado de las fuentes de fertilización.

Riesgo potencial en el Valle de Juárez, Chihuahua

El riesgo potencial de contaminación por nitrógeno obedece a seis puntos centrales:

1. El agua residual utilizada en el sector agrícola, registra un elevado valor nutrimental, donde destacan altas concentraciones de nitrógeno
2. Se cuenta con abundantes cantidades de biosólidos que provienen de las plantas de tratamiento de agua residual y que pueden aprovecharse en las parcelas de cultivo, toda vez que cumplen con la norma en materia de contaminación
3. Se tiene un uso desmedido de estiércol bovino que se aplica en los suelos agrícolas
4. Se utilizan excesivos volúmenes de fertilizantes nitrogenados inorgánicos (urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio, además de los fertilizantes nitrógeno-fosforados fosfato diamónico y fosfato monoamónico), que pueden contribuir a la contaminación del acuífero si no se utilizan apropiadamente
5. Se ha confirmado la presencia de altas concentraciones de nitratos en los drenes agrícolas que se encuentran a cielo abierto y que pueden contribuir en la contaminación del agua freática somera. Y, finalmente
6. El punto más vulnerable y que más incide en propiciar un alto riesgo de contaminación, lo presenta el hecho de que no se encuentra regulado el uso de nitrógeno como fuente de fertilización, es decir no existe ninguna restricción que evite a los productores, aplicar los volúmenes de fertilizantes que consideren necesarios.

Estudios de Caracterización

Agua residual

El agua residual y residual-mezclada que se utiliza en el Distrito de Riego 009 (DR-009), es rica en nitrógeno y otros nutrimentos, lo que permite a los productores aprovechar su potencial agronómico como fertilizante complementario; sin embargo, al no existir una regulación que permita utilizar racionalmente los fertilizantes orgánicos e inorgánicos, al agua residual se le confiere un riesgo de contaminación para el acuífero somero o artesiano.

El riesgo de infiltración de nitratos al acuífero obedece a múltiples factores, entre los

que destaca la permeabilidad del suelo, excesivo volumen de agua aportado por el sistema de riego superficial, frecuente aplicación de riegos y prolongada longitud de los surcos (Martínez *et al.*, 2003; Arauzo *et al.*, 2003). Desde la perspectiva del riesgo que implica la lixiviación de nitratos de cualquiera de las fuentes de nitrógeno indicadas, el ión amonio (N-NH₄) puede adsorberse a las partículas de arcilla, sin embargo el ión nitrato (N-NO₃) puede repelerse con las mismas partículas debido a la carga negativa de ambos, lo que ocasiona la lixiviación del ión hacia estratos profundos del suelo.

En Valle de Juárez, Chihuahua, el agua residual posee un elevado valor nutricional, de acuerdo con muestreos realizados durante 13 meses consecutivos, se tiene que en promedio aporta 14.1 mg L^{-1} de N-NH_4 y 0.10 mg L^{-1} de N-NO_3 . Esta fuente de riego es mezclada durante marzo a septiembre de cada año, con agua del Tratado Internacional y agua de bombeo, ambas con muy bajas concentraciones de N-NH_4 y N-NO_3 . El proceso de mezclado ocasiona un importante efecto de dilución de nitratos y amonio a lo largo del Distrito de Riego. A este respecto se ha encontrado un efecto geoestadístico que relaciona los valores de semivarianza de cada parámetro, con la distancia de recorrido que guarda el agua residual-mezclada (Palomo *et al.*, 2005).

Las laminas de riego de 15 centímetros, que en promedio utilizan los productores, incluyen una fracción de lixiviado para solubilizar y transportar las sales del suelo a una mayor profundidad de raíces; esta lamina de agua residual incorpora al suelo 21.3 kg de nitrógeno inorgánico por cada riego de auxilio. Debido al efecto de dilución registrado en el agua residual-mezclada, la concentración de nitrógeno disminuye linealmente hacia el final del Distrito, donde se incorporan 18.1 , 19.5 , 16.8 , 7.6 y 7.6 kg de N por hectárea para las localidades San Isidro, Tres Jacales, Guadalupe, Praxedis y San José de Paredes, esto es por cada riego de auxilio aplicado (Palomo *et al.*, 2001, 2004).

Contaminación en drenes agrícolas

Indicadores del riesgo de contaminación por nitrógeno en el sector agropecuario del Valle de Juárez, se pueden encontrar en los drenes agrícolas (Palomo y Figueroa, 2006). Los drenes son estructuras hidráulicas que se localizan a cielo abierto y sin revestir, tienen como función colectar los excesos de riego y escurrimientos superficiales de la precipitación ocasional, además evitan

que el agua freática somera, ocasione un permanente estado de humedad en los cultivos (Palomo *et al.*, 2006). Los estudios de caracterización muestran evidencias de altas concentraciones de nitrógeno y fósforo, lo que puede constituir un riesgo de contaminación al agua freática somera.

Palomo y Figueroa (2006) señala un estudio realizado en cinco drenes agrícolas del Valle de Juárez, donde fueron analizados nitrógeno total (N-total), amoniacal (N-NH_4), nitratos (N-NO_3) y nitritos (N-NO_2), así como fósforo, fosfatos totales y ortofosfatos. Entre los resultados se indica que el dren Placitas, excedió a la concentración que presenta el agua residual cruda para N-total, N-NH_4 , N-NO_2 , debido a que recibe desechos de industrias pecuarias dedicadas a la explotación de ganado lechero, además de la lixiviación de fertilizantes nitrogenados que se utilizan en la producción de cultivos y que se incorporan a los drenes agrícolas; el mismo dren Placitas presentó elevadas concentración de fósforo, fosfatos totales y ortofosfatos, aunque su concentración es menor a la del agua residual. La presencia de nitratos es tres veces superior que la del agua residual cruda para los drenes de Col. Esperanza y Porvenir, producto del lixiviado que presentan los fertilizantes nitrogenados orgánicos e inorgánicos y que convergen a los drenes dispuestos a cielo abierto.

Nitratos en agua potable

El agua potable de bombeo que abastece a la población, se puede contaminar por la lixiviación excesiva de nitratos, lo que se traduce en riesgos a la salud pública. La excesiva exposición a los nitratos y nitritos en el agua potable trae como consecuencia la formación de meta hemoglobina, que no es otra cosa que una falta de oxigenación en la sangre y que se presenta en infantes y fetos en gestación (Arciniega y Palomo, 1998). Debido a que los nitratos ingeridos en el agua

potable pueden convertirse en nitritos en las partes del organismo donde la acidez es relativamente baja, es posible que se produzcan nitrosaminas, algunas de las cuales pueden ser carcinógenas (Pacheco, 1992). Estudios de caracterización realizados en agua potable, incluyen el monitoreo de nitratos en agua potable de las comunidades asentadas en el Valle de Juárez, lo que incluye a Zaragoza, Sauzal, Loma Blanca, San Isidro, San Agustín,

La Colorada, Tres Jacales, El Millón, Juárez y Reforma, Caseta, Barriales, Guadalupe, El Mimbres, Placitas, Praxedis, Col. Esperanza, Rancho Nuevo, San José de Paredes, Porvenir y Vado de Cedillos. En las investigaciones realizadas se tomo como referencia el limite máximo permisible (LMP) del agua potable que es 10 mg L^{-1} de N-NO_3 (Arciniega y Palomo, 1998).

Tecnologías para el Aprovechamiento de Fuentes Nitrogenadas

Uso y aprovechamiento de biosólidos

El creciente aumento de la población en Ciudad Juárez, ha creado la necesidad de construir y operar infraestructura de agua potable y sistemas de alcantarillado hacia diversos rumbos de la ciudad, lo que implica ampliar los programas de saneamiento del agua. A partir del año 2000 iniciaron operaciones dos plantas de tratamiento de agua

residual, donde son tratadas alrededor de 174 millones de M^3 anuales y donde se genera un volumen de 175 toneladas diarias de lodos residuales, producto de un tratamiento primario avanzado que recibe el agua residual. Los lodos son el subproducto sólido o semisólido del tratamiento de aguas residuales y contienen una alta proporción de materia orgánica y nutrientes (Figuerola *et al.*, 2000, 2003).



Figura 1. Planta de tratamiento del agua residual en Ciudad Juárez Chihuahua, donde se generan importantes volúmenes de biosólidos y que pueden ser aprovechados en los campos de cultivo por su alto valor nutricional.

Las opciones que se tienen para la disposición final de los lodos residuales, son el confinamiento en rellenos sanitarios cuando no cumplen con la norma en materia de contaminación; cuando los estudios de diagnóstico y/o caracterización de los lodos, no rebasan los niveles máximos permisibles de metales pesados y cumplen con los requerimientos microbiológicos que marca la norma, pueden aprovecharse como una opción viable en suelos agrícolas, así como en pastizales y plantaciones forestales. Una vez que cumplen los lodos con normas de calidad para utilizarse benéficamente como abono o fertilizante orgánico, se les llama biosólidos. Durante el periodo 2000-2003 fue operado un programa extensivo de validación y difusión tecnológica, que permitió la adopción de biosólidos en diversas parcelas de la localidad, para lo cual se siguió un estricto procedimiento metodológico, en el que se prevé la protección de los recursos del suelo y agua. Los sitios receptores de biosólidos tuvieron que aprobar una serie de restricciones relacionadas con el tipo de cultivo a establecer, periodos de cosecha y separación del sitio receptor con respecto a: 1) manto freático, 2)

pozos de bombeo, 3) casas habitación y 4) área urbana (Figuroa *et al.*, 2003; US-EPA, 1995).

Los trabajos de investigación realizados involucraron además las etapas: a) diagnóstico de la contaminación en biosólidos, lo que incluye análisis CRETIB (Código de clasificación de las características que contienen los residuos peligrosos. Se forma con las iniciales de: Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico-Infeccioso), caracterización por metales pesados y formas de estabilización para reducir la carga de patógenos, b) evaluación de la fertilidad de biosólidos en el suelo, lo que involucra a diversos nutrientes, pH, CIC y Materia orgánica, c) evaluación de riesgos de contaminación por la lixiviación de nitratos y metales pesados, mismos que se realizaron en columnas de suelo bajo condiciones de laboratorio, así también se determinó la acumulación de metales pesados in situ, y finalmente d) respuesta agronómica y rentabilidad que proporciona esta tecnología. El impacto potencial que ofrece el uso de biosólidos, señala un ahorro total en el uso de fertilizantes y donde queda salvaguardada la protección de los recursos naturales por metales pesados.



Figura 2. Parcelas de cultivo del INIFAP Campo Experimental Valle de Juárez, donde se generó tecnología para el aprovechamiento de biosólidos en Valle de Juárez, Chihuahua.

Uso de estiércol bovino

Las excretas del ganado vacuno, caprino, porcino y de aves contienen altas concentraciones de nitrógeno. El ganado que proviene de la industria pecuaria dedicada a la producción de carne de engorda y explotaciones de la industria lechera, se considera fuente localizada de contaminación por nitratos; la utilización del estiércol aporta al menos el 50 por ciento de la lixiviación de N-inorgánico, con respecto a otras fuentes nitrogenadas, Joly (1993). Existen además problemas asociados a la aplicación excesiva de estiércol al suelo, existe el de la escorrentía directa desde las granjas de producción intensiva de ganado vacuno, porcino y aves de corral. Aunque este fenómeno está controlado en muchos países, constituye un grave peligro para la calidad del agua en gran parte del resto del mundo, Ongley (1997).

En el Valle de Juárez la actividad pecuaria se centra en la producción de leche y engorda de bovinos para carne, además de una muy alta población transitoria de becerros de exportación que permanecen durante el año en la localidad, Flores (1991). Para 1991 se indica una producción anual de 92 mil toneladas de estiércol bovino, que puede estercolar entre 4 a 6 mil hectáreas, Flores (1991a). El estiércol bovino posee altas concentraciones de nitrógeno, además de mejorar las propiedades físicas, químicas biológicas y de la fertilidad del suelo, mejora la velocidad e infiltración del agua, la retención del agua y permite una mayor aeración del suelo (velocidad de difusión de oxígeno), aumenta el contenido de materia orgánica y agregados estables al agua (Castellanos, 1980, 1982, 1985). El estiércol lo utilizan los productores del Valle de Juárez en excesivos volúmenes que muchas de las ocasiones, afectan la productividad de las parcelas.

Flores (1991a) señala que al aumentar las dosis de estiércol bovino, aumenta linealmente la aportación de la salinidad en el suelo (CE), lo que ocasiona una disminución de la población de plantas emergidas por unidad de superficie y una disminución en los rendimientos de algodón hueso; así también la salinidad registra una menor talla en el desarrollo del cultivo y menor número de capullos por planta. En el primer año de estudio, se encontró que el testigo sin estiércol, presentó los mayores rendimientos y linealmente se abatieron, con el aumento en las dosis de aplicación hasta un máximo de 90 toneladas por hectárea evaluadas.

En la localidad de Praxedis se han encontrado evidencias de excesivas aplicaciones de estiércol en plantaciones adultas de pistacho; por la sensibilidad de este frutal a altas concentraciones de sodio y cloruros, el frutal ha manifestado una toxicidad por iones específicos, además de la alta presencia de potasio soluble en el estiércol. Las evidencias muestran una alta mortandad de árboles por estas prácticas agronómicas.

Uso de fuentes nitrogenadas inorgánicas

Tradicionalmente los productores de la localidad han recurrido al uso de fuentes nitrogenadas orgánicas e inorgánicas; en este último caso se han utilizado las fuentes urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio, o bien aquellas fuentes nitrógeno-fosforadas como el fosfato de amonio y fosfato monobásico de amonio.

El uso de fertilizantes inorgánicos utilizados en el Valle de Juárez, alcanzan una cifra conservadora anual de 1,700 hasta 2,300 ton de unidades de nitrógeno elemental, lo que equivale a 3,695 – 5,000 ton de urea; además se utilizan entre 1,000 – 1,350 ton de fósforo elemental, o su equivalente en 2,173 – 3,000 ton de superfosfato de calcio triple.

Medidas para Disminuir Riesgos de Contaminación

Las medidas que se plantean para su aplicabilidad inmediata, persiguen fortalecer garantías de sustentabilidad para la calidad del agua potable que demandarán las futuras generaciones. Entre las medidas de protección al acuífero, el Campo Experimental Valle de Juárez-INIFAP realizó trabajos de investigación y validación tecnológica, que

permiten aprovechar las diversas fuentes nitrogenadas de una manera racional y estratégica, donde se incluye el uso de fuentes orgánicas (biosólidos, estiércol), así como las convencionales fuentes inorgánicas (fertilizantes minerales), además del manejo de agua residual que posee elevadas concentraciones de nitrógeno.



Figura 3. Fertilización de cultivos con fuentes nitrogenadas y fosforadas de origen inorgánicas en el Valle de Juárez, Chihuahua.

Dosis de biosólidos y estiércol por aplicar al suelo

Las dosis de nitrógeno por aplicar (DN) a las parcelas de cultivo, toman en cuenta el contenido de nitrógeno del material orgánico (biosólidos o estiércol), para lo cual

es necesario analizar en laboratorio esta base referencial. En el cálculo de DN se considera el porcentaje de nitrógeno mineralizable que estará disponible (PND) para el cultivo durante el primer año, así como la demanda nutrimental del cultivo (DNC), Figueroa *et al.*, (1999a) (2003).

$$DN = PND (kg ton^{-1}) / DNC (kg ha^{-1})$$

Este planteamiento evitará al máximo una sobre-fertilización nitrogenada, que ofrezca riesgos de contaminación al acuífero por la lixiviación de nitratos, donde se calcula la DNC, para lo cual se toman en consideración tres puntos básicos:

1. Demanda de Nitrógeno (DN) del cultivo, sobre la base de su rendimiento esperado y que depende del potencial productivo del suelo.

2. Contenido de nitrógeno residual del suelo en muestras tomadas durante la pre-siembra (N_{suelo})

3. Contenido de nitrógeno en el agua de riego, sobre todo si se utiliza agua residual (N_{agua})

$$\text{DNC} = \text{DN} - (N_{\text{suelo}} + N_{\text{agua}})$$

Dosis de fertilizantes minerales inorgánicos por aplicar al suelo

En el planteamiento se toman los tres puntos básicos:

a) Demanda de Nitrógeno (DN) que requiere del cultivo, sobre la base de su rendimiento esperado y que depende del potencial productivo del suelo. Para el caso de

algodonero, se considera que la parcela tiene un potencial productivo de 7 pacas ha^{-1} . Por cada paca de fibra de algodón se requieren 25 kg N Ha^{-1}

b) Contenido de nitrógeno residual del suelo en muestras tomadas durante la pre-siembra (N_{suelo}); c) Contenido de nitrógeno en el agua de riego, sobre todo si se utiliza agua residual (N_{agua})

$$\text{DNC} = \text{DN} - (N_{\text{suelo}} + N_{\text{agua}})$$

Otros cultivos como maíz y sorgo forrajeros para ciclo de verano demandan una extracción unitaria de N de 14 kg ton^{-1} con una meta de rendimiento de 18 ton ha^{-1} (Quiroga y Cueto, citados por Figueroa *et al.*, 2006; NRCS, 1992), en tanto para avena y trigo par forraje de otoño-invierno se presenta una extracción unitaria de N de 18 kg ton^{-1} y una meta de rendimiento de 8 ton ha^{-1} (NRCS, 1992).

Los trabajos de adopción tecnológica que se llevaron a cabo en el Valle de Juárez,

para el aprovechamiento de biosólidos y que se realizaron en diversas parcelas de productores, tomaron en cuenta estos planteamientos, que permiten regular las dosis de aplicación. Además se tuvieron parcelas de validación con productores cooperantes, donde se confirmaron los beneficios de la metodología con el uso de fertilizantes minerales. Fue posible consolidar los beneficios que proporciona esta metodología, lo que permitió además obtener una favorable relación beneficio costo.

Conclusiones

La incorporación de diversas fuentes nitrogenadas al sistema agua-suelo, pone en riesgo a los acuíferos y consecuentemente se puede afectar la calidad del agua potable por nitratos, con posibilidades de ocasionar problemas de salud pública, si se excede la

norma de 10 ppm que corresponde al límite máximo permisible (LMP).

Las grandes ciudades del área de influencia del CIRNOC, como Chihuahua, Torreón, Gómez Palacio, Lerdo, Durango, Zacatecas, Fresnillo y Aguascalientes, generan

importantes volúmenes de agua residual, mismas que se utilizan en las parcelas de cultivo. El agua residual debe ser obligadamente caracterizada, con el propósito de valorar su estado nutrimental y establecer los riesgos potenciales de contaminación por nitrógeno-fósforo, carga orgánica y bacteriológica, así como metales pesados entre otros.

La generación de biosólidos de las plantas de tratamiento de agua residual, ofrecen la oportunidad de aprovecharlos en las parcelas de cultivo, sobre todo cuando se tiene regulada a la industria para no incorporar desechos tóxicos a los sistemas de alcantarillado y cuando los biosólidos cumplen con la normatividad en materia de contaminación.

Para poder aprovechar los biosólidos en las parcelas de cultivo, este material tiene que aprobar diversos campos de la contaminación; si uno o más metales pesados regulados por US-EPA rebasan al LMP, no pueden aprovecharse en la agricultura y tienen

que llevarse a un confinamiento o relleno sanitario.

Las dosis de aplicación de los biosólidos deben calcularse de acuerdo a su concentración de nitrógeno, porcentaje de nitrógeno mineralizable que estará disponible durante el primer año, así como demanda nutrimental del cultivo. Otras alternativas diferentes de uso, pueden poner en riesgo de contaminación a los recursos del agua y suelo.

Los biosólidos generados actualmente, así como los que serán generados en el corto, mediano y largo plazo, para diversas ciudades del CIRNOC como Chihuahua, Torreón, Gómez Palacio, Lerdo, Durango, Zacatecas, Fresnillo y Aguascalientes, entre otras, merecen ser diagnosticados y/o caracterizados por nitrógeno y contaminantes (metales pesados) para su posible aprovechamiento.

El uso de estiércol bovino y fuentes nitrogenadas inorgánicas, deben apegarse a los procedimientos metodológicos de aprovechamiento, anteponiendo riesgos de contaminación a los recursos del suelo y agua.

Bibliografía

Appelgren B. G. 1994. Agricultural and environmental legislation – Lithuania. TCP/LIT/2352, FAO, Rome.

Arauzo M., A. Díez J. y P. Hernáiz. 2003. Estimación de balances hídricos y lixiviación de nitratos en sistemas agrícolas. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo 6: 39-44

Arciniega A. A., y M. Palomo R. 1998. Concentración de nitratos, nitritos y salinidad en agua potable del Valle de Juárez. Memorias XXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tapachula, Chis. México. p. 62

Canter L. W. 1997. Nitrate in groundwater. Lewis Publishers, Boca Raton Florida, 259 p.

Castellanos R. J. Z. 1980. El estiércol como fuente de nitrógeno. Seminarios técnicos CIAN-INIA-SARH. Torreón México. 27 p. 5(13):1-27

Castellanos R. J. Z. 1981. La contaminación del agua por nitratos provenientes de la agricultura. Seminarios técnicos Comarca Lagunera. CIAN-INIA-SARH. 6(9):139-158

Castellanos R. J. Z. 1982. La importancia de las condiciones físicas del suelo y su mejoramiento mediante la aplicación de estiércoles. Seminarios técnicos CIAN-INIA-SARH. Torreón México. 7(8):1-35

Castellanos R. J. Z. 1985. El medio ambiente físico del suelo y su modificación mediante la aplicación de materia orgánica. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Temas Didácticos 2:1-30

Castellanos R. J. Z. 1987. La contaminación por nitratos en las aguas del subsuelo de la Comarca Lagunera. Resumen Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Zacatecas México, p. 65

Castellanos R. J. Z. 1989. La contaminación por nitratos en el acuífero de la Comarca Lagunera. En: Problemas de contaminación en México. Comisión Interinstitucional para el desarrollo e investigación sobre contaminación ambiental por plaguicidas. 3(16): 5-10, México.

- FAO/CEPE. 1991. Legislation and measures for the solving of environmental problems resulting for agricultural practices. FAO/United Nations. Ginebra. Report No. 7
- Figuroa V. U., Márquez R. J., Faz C. R., Cueto W. A., y Palomo G. A. 2006. Uso eficiente de estiércol como fertilizante orgánico en cultivos forrajeros. Memoria de la XVIII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Venecia Durango México. 7-13 p.
- Figuroa V. U., M. Palomo R., M. Flores O. y B. Corral D. 1999a. Establecimiento de parcelas demostrativas con biosólidos en el Campo Experimental Valle de Juárez. Demostración de Campo. Campo Experimental Valle de Juárez-INIFAP.
- Figuroa V. U., M. Palomo R., M. Flores O. y B. Corral D. 2000. Establecimiento de parcelas demostrativas con el uso de biosólidos en suelos agrícolas del Valle de Juárez, Chih. Informe de Investigación. Campo Experimental Valle de Juárez-INIFAP.
- Figuroa V. U., M. Flores O., y M. Palomo R. 2003. Uso de biosólidos en suelos agrícolas. Folleto técnico No. 3. INIFAP-Campo Experimental Valle de Juárez. 17 p.
- Flores O. M. 1991. Evaluación de cultivos forrajeros de primavera-verano para el Valle de Juárez. Publicación especial No. 9. Campo Experimental Valle de Juárez-INIFAP. p 8-17
- Flores M. J. 1991a. Efecto del estiércol en suelos con algodónero en el Valle de Juárez. Publicación especial No. 9. Campo Experimental Valle de Juárez-INIFAP. p. 18-22
- Heredia C. S. 2000. Calidad del agua. Memorias Semana Internacional de Sanidad Agropecuaria. CONACOFI México, pp. 78-84
- Joly C. 1993. Plant nutrient management and the environmental, En: Prevention of water pollution by agriculture and related activities. Water Report I. FAO, Roma pags. 223-245.
- Martínez C. M., C. García L., J. Sánchez P., A. Aizpurua, I. Ruiz L. e I. Antigüedad. 2003. Lixiviación de nitratos bajo cultivo de remolacha en la zona vulnerable del acuífero cuaternario de Victoria C-Gasteiz (País Vasco). Estudios de la Zona No Saturada del Suelo 4: 25-32
- Martínez R. J. G., M. Rivera G. y R. Faz C. 2005. Determinación espacial de la vulnerabilidad de un acuífero a ser contaminado por nitratos. AGROFAZ 5 (3): 77-84
- Martínez R. J. G., M. Rivera G. y P. Andrade S. 2005a. Balance de nutrimentos como una herramienta para establecer áreas potenciales de contaminación no puntual. AGROFAZ 5 (3): 85-94
- Martínez R. J. G., M. Rivera G. y R. Faz C. 2005b. Cuantificación espacio-temporal de la concentración de arsénico en el acuífero principal de la Comarca Lagunera. Semana Internacional de Agronomía, UJED México, p. 388-395
- Medina M. C. y P. Cano R. 2001. Contaminación por nitratos en agua, suelo y cultivos de la Comarca Lagunera. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 2(1): 9-14
- Muñoz H., M. Armenta A., A. Vera y N. Ceniceros. 2004. Nitrato en el agua subterránea del Valle de Huamantla Tlaxcala México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 20 (03):91-97
- NRCS. 1992. Agricultural waste management field handbook. Natural Resource Conservation Service. USDA.
- Ongley E. D. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudio FAO Riego y Drenaje No. 55. Roma. p 41-58.
- Pacheco A. J. 1992. Nitratos en agua subterránea. Ciencia y desarrollo 17(102):98-104
- Palomo R. M., C. Grajeda M. y F. Núñez S. 2001. Contaminación en la agricultura del Valle de Juárez, por el uso de aguas residuales. Memorias SIVILLA Foro Estatal Chihuahua. CONACYT, México, p. 87
- Palomo R. M. y U. Figuroa V. 2004. Remoción de nutrientes del agua residual cruda por efecto de dilución en el Valle de Juárez, Chihuahua. Memorias Semana Internacional de Agronomía. UJED. México. 608-613 p.
- Palomo R. M., y U. Figuroa V. 2005. Variabilidad espacial de nutrientes en el agua residual del Valle de Juárez, Chih. AGROFAZ 5(3): 95-104
- Palomo R. M. y U. Figuroa V. 2006. Caracterización de la carga nutrimental en agua de drenes agrícolas en el Valle de Juárez, Chihuahua. Memorias Semana Internacional de Agronomía. UJED. México. 493-498 p.
- Pauwels H., P. Lachassagne, P. Bordenave, C. Foucher J., and A. Martelat. 2001. Temporal variability of nitrate concentration in a schist aquifer and transfer to surface water. Appl. Geochemical 16:583-596
- Petkova S. V. 1999. Estudio piloto para remoción de arsénico en el estado de Hidalgo. Ingeniería Hidráulica en México. 14(3):65-77
- Petkova S. V., L. Rivera H., M. Pina S., M. Avilés F. y S. Pérez C. 1997. Evaluación de diversos materiales para la remoción de arsénico de agua para consumo humano. Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. FEMISCA, México.
- RIVM. 1992. The environment in Europa. A global perspective. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM). Netherlands.
- US-EPA. 1995. A guide to biosolids risk assessments for the EPA Part 503 Rule. EPA 832-B-93-005.