



USO DE FERTILIZANTES, SUSTRATOS Y ENMENDADORES PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA, PARTE I

Fabián Fernández-Luqueño ¹, Mariana Miranda-Arámbula ², Rigoberto Castro-Rivera ², Silvia Luna-Suárez ², Erick R. Bandala ³, Fernando López-Valdez ^{2,*}

1 Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Agrícola. Sustainability of Natural Resources and Energy Program. Cinvestav Unidad Saltillo. Saltillo, Coahuila. 25900. México.

2 Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Agrícola. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala. 90700. México.

3 Division of Hydrologic Sciences. Desert Research Institute. Las Vegas, Nevada. 89119. USA.

* Dr. Fernando López. Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Agrícola. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional. Carr. Estatal Sta. Inés Tecuexcomac – Tepetitla, km 1.5 s/n, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, 90700. México. Tel.: +52 (55) 5729 6000 / 6300, ext. 87814. E-mail: flopez2072@yahoo.com

RESUMEN

Se han desarrollado e investigado las formas y las prácticas de fertilización que incluyen técnicas, sustratos, fertilizantes, mejoradores y estrategias de cultivo y riego, con la finalidad de incrementar la productividad de los cultivos a través del uso de fertilizantes químicos sintéticos u orgánicos, residuos, y materiales de alta tecnología como las nanopartículas y los nanomateriales. En este artículo se abordarán algunos aspectos relevantes de los fertilizantes, materiales y residuos como son los lodos residuales, las cenizas de lodos, las zeolitas, las nanopartículas (NP) y los fertilizantes minerales (N, P y K) para conocer un poco del potencial que pueden contribuir a la agricultura.

Palabras clave:

Lodos residuales, Cenizas de lodos, Zeolitas, Nanopartículas, Fertilizantes minerales.

Abstract

The forms and strategies of fertilization have been developed and researched as techniques, substrates, fertilizers, amendments, and strategies in order to increase the productivity of the crops through the application of synthetic or organic fertilizers, waste, and high technology materials such as the nanoparticles. This article will address some relevant aspects of some fertilizers, materials, and wastes such as wastewater sludge, wastewater sludge ashes, zeolites, nanoparticles (NP), and mineral fertilizers (N, P and K) in order to know a little of how much they can contribute to modern agriculture.

Keywords:

Wastewater sludge, Wastewater sludge ashes, Zeolites, Nanoparticles, Mineral fertilizers.



I. INTRODUCCIÓN

En la agricultura, la fertilización de los suelos para incrementar los rendimientos de los cultivos ha sido un tópico de suma importancia, marcadamente a partir de la segunda guerra mundial con la falta y distribución de alimentos y el restablecimiento de la economía a través de uno de los pilares de esta, la agricultura. Lo que conllevó al desarrollo e investigación de las formas y estrategias de fertilización hasta el día de hoy. Se han desarrollado diferentes técnicas, sustratos, fertilizantes, mejoradores y estrategias con la finalidad de incrementar la productividad de los cultivos a través del uso de fertilizantes sintéticos u orgánicos, residuos, métodos de irrigación, e incluso el uso de organismos nativos del suelo. Es conveniente definir a un *fertilizante*: como aquellas sustancias o materiales de origen mineral o biológico que provee de un elemento o elementos esenciales para las plantas para su adecuado crecimiento y desarrollo.

En esta primera parte se abordarán algunos aspectos relevantes de los fertilizantes, materiales y residuos como lo son: los *lodos residuales*, las *cenizas de lodos*, las *zeolitas*, las *nanopartículas* (NP) y los *fertilizantes minerales* como: N, P y K, que a continuación se discuten.

II. LOS LODOS RESIDUALES

Las plantas tratadoras de aguas residuales tienen como objetivo la depuración de las aguas residuales: industriales, domésticas y pluviales, principalmente, con la finalidad reutilizar el agua, o bien, descargarla a aguas nacionales. Las plantas tratadoras de aguas residuales se encuentran diseñadas en etapas para el tratamiento de las aguas, el *tratamiento primario* (tratamientos físicos y/o fisicoquímicos), *secundario* (generalmente biológico) y el *terciario* (químico o fisicoquímico), y en algunas ocasiones un cuarto tratamiento, el *pulimento* (tratamientos físicos). La materia orgánica contenida en las aguas residuales es el resultado de desechos orgánicos domésticos, pluviales, industriales, entre muchos otros. La separación la materia orgánica se realiza en el tratamiento primario y se separa por operaciones unitarias de coagulación, floculación y sedimentación, más comúnmente, con previa separación de los sólidos de mayor dimensión (basura). Se utilizan polímeros catiónicos, aniónicos o sin carga, frecuentemente empleados en el tratamiento de aguas (residuales y potables) por efectividad para la remoción de material coloidal y partículas finas en suspensión. El objetivo de separar la materia orgánica es evitar que el tratamiento secundario (tratamiento biológico) se sature. A este material orgánico se le conoce como *biosólidos* o *lodos residuales*. Estos lodos carecen de una utilidad o aplicación en México, por lo que habitualmente se confinan en rellenos sanitarios o se incineran.

Los lodos se caracterizan de materia orgánica que contiene

carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, diversos minerales o elementos traza, que pueden ser benéficos para las plantas como nutrientes. El carbono de la materia orgánica es útil para los suelos degradados o agotados, recuperando o restaurando la fertilidad, la estructura y las propiedades biofísicoquímicas del suelo. Dadas estas características el lodo puede ser un mejorador de suelos y una potencial fuente de nutrimentos para las plantas. Sin embargo, los lodos pueden presentar inconvenientes como un alto contenido de organismos patógenos (particularmente enteropatógenos) y metales pesados, según el origen o procedencia de los desechos. Lo que podría ser un inconveniente de salud y ecológico para su aplicación directa al suelo.

La finalidad de estudiar estos lodos, es aprovechar de manera sustentable la materia orgánica, minerales, precursores de aminoácidos, particularmente el nitrógeno (N), carbono (C), fósforo (P), azufre (S) y minerales que pueden servir como nutrimentos para las plantas, organismos del suelo, o bien, mejorando las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo, en especial suelos degradados o agotados. Asimismo, se promueve la cultura de reutilizar o reciclar los materiales (residuos) convirtiéndolos en un subproducto con valor agregado para la agricultura orgánica, convencional y de conservación, en una forma sustentable (López-Valdez et al., 2011). Sin embargo, como se mencionó antes, pueden presentar metales pesados y sustancias recalcitrantes o persistentes, como los medicamentos (ibuprofeno, cloranfenicol, etc.) sustancias que no es posible degradar por medios biológicos o naturales por lo que es necesario siempre tratarlos (estabilización) antes de su aplicación a suelo. Cabe mencionar que todos los lodos son distintos entre sí, por ello es necesario estudiar y caracterizar los lodos para su adecuada estabilización y aplicación, ya que representan un potencial como enmendadores o mejoradores del suelo agotado o dañado por hidrocarburos, y una importante fuente de nutrientes para las plantas.

III. LAS CENIZAS DE LODOS

Algunas plantas tratadoras de aguas residuales separan la materia orgánica contenida en el agua residual y que se separa en la primera etapa, tratamiento primario. Ocasionalmente, también se obtiene materia orgánica del tratamiento secundario. La finalidad de separar la materia orgánica es evitar la saturación del tratamiento secundario, haciendo el tratamiento más eficiente y menos costoso. Dado que los lodos no poseen un uso o aplicación directa, se utiliza la incineración como una forma de disposición final de estos residuos. Algunas plantas tratadoras optan por incinerar sus lodos por la ventaja que representa la reducción del tamaño de los residuos a cenizas (menor al 1 o 2% del volumen total) y al mismo tiempo, representa la eliminación de organismos patógenos y enteropatógenos a través de las altas temperaturas (~800 °C) de la incineración.

Dichas cenizas se caracterizan por ser minerales, que contienen elementos esenciales y no esenciales para los organismos del suelo y las plantas en forma de sales y que, por perfil o composición, muestran una variada cantidad de elementos. De acuerdo a nuestros estudios, se reveló que estas cenizas se caracterizan de elementos importantes como el sodio, potasio, magnesio, hierro, calcio, y muchos más. También presentan carbonatos, una importante y principal fuente de carbono mineral para los microorganismos del suelo; que en conjunto también son muy útiles para estimular el desarrollo y crecimiento de las plantas. La Figura 1, muestra el aspecto físico de las cenizas.



Figura 1. Aspecto de las cenizas de los lodos residuales, que en la actualidad se encuentran en estudio como fertilizante mineral por nuestro grupo de investigación.

En la actualidad, las cenizas no tienen utilidad y en ocasiones son almacenadas a cielo abierto, sin una adecuada disposición final. Por esta razón hemos realizado investigación para comprender y encontrar aplicaciones de este residuo como potencial fertilizante mineral. Hasta ahora sabemos que estas cenizas no afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas a cantidades importantes (más de 15 g por kg de suelo). Se ha demostrado que al menos no hay diferencias significativas con respecto a fertilizantes químicos. Estos resultados se han obtenido de ensayos en plantas de brócoli y frijol (datos no publicados). Sin embargo, aún falta investigación para poder definir si se alteran otros aspectos como la floración, calidad de las semillas y la evaluación de las dosis adecuadas para cada especie o cultivos de interés.

IV. LAS ZEOLITAS

Las zeolitas son grupos de formaciones cristalinas de aluminosilicatos (base de silicio y aluminio) hidratados (moléculas de agua unidas químicamente a la estructura) de cationes alcalinos (Na, K, etc.) y alcalino-térreos (Ca, Mg, etc.). Desde su descubrimiento (en 1756) a partir de yacimientos naturales, hasta a la actualidad, se tiene

capacidad para sintetizarlas a nivel industrial para diversos propósitos. Han tenido una importante participación en la industria, la agricultura y la protección al ambiente, incluso en la medicina (en filtros de amonio para las unidades de diálisis). Las propiedades e importancia de las zeolitas radican en su composición química, que determina el número de sitios activos de su superficie interna y el tamaño de las cavidades, canales y poros (Figura 2), que determinan sus propiedades de selectividad en función de la forma (Sosa-Reyes, 1997), que a su vez les confiere capacidad de adsorción única, intercambio catiónico, deshidratación/rehidratación y propiedades catalíticas. Existen factores que pueden afectar el desempeño y efectividad de las zeolitas: temperatura, grado de hidratación, estructura, tipo y tamaño del catión, principalmente.

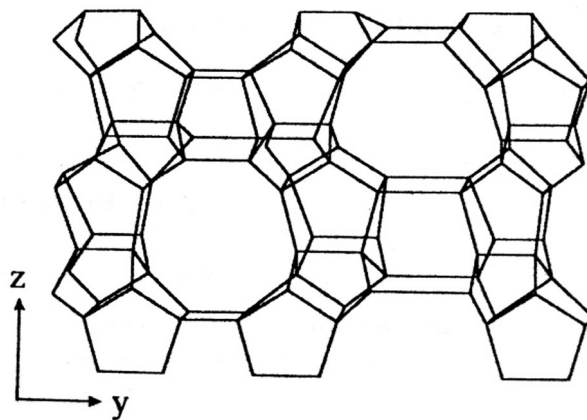


Figura 2. Ilustración de una celda unitaria de zeolita ZSM-5. Tomada de Sosa-Reyes (1997).

Las principales aplicaciones de las zeolitas naturales o sintéticas en agronomía y horticultura son como enmendadores de suelo, debido a las propiedades antes mencionadas como es el intercambio catiónico de moléculas de amonio y/o cationes alcalinos y alcalino-térreos. Por ejemplo, en Japón se han empleado las zeolitas del tipo clinoptilolita como enmendadores de suelos arenosos y arcillosos por su alta selectividad a amonio y potasio (Mumpton, 1999). En la estabilización de residuos agrícolas y toma de amonio en excretas animales. Lo que representa una alternativa en la estabilización de residuos agroindustriales y dosificación de minerales en la agricultura moderna y sustentable.

V. LAS NANOPARTÍCULAS

Las nanopartículas (NP) son materiales con dimensiones de 1 a 100 nanómetros. Considerando que un nanómetro es una mil millonésima parte de un metro, es decir, una nanopartícula es algo tan pequeño que sólo se puede ver a través de microscopios electrónicos, y estos materiales se pueden sintetizar en un laboratorio, para luego emplearlos en los campos agrícolas con el propósito de incrementar el rendimiento de los cultivos, reducir la incidencia de

enfermedades de las plantas, disminuir el ataque de plagas y mejorar la productividad agrícola.

Desde luego, no se está hablando de polvo mágico de hadas, pero sí hacemos referencia al producto de dos recientes e importantes áreas del conocimiento, la nanociencia y la nanotecnología. En la última década, científicos y tecnólogos de todo el mundo (entre ellos mexicanos), han realizado investigaciones para diseñar, sintetizar, caracterizar y evaluar NP con propiedades sobresalientes, comparadas con materiales similares, pero de dimensiones mayores. Ahora es posible emplear nanotecnologías para fertilizar mejor los cultivos, modificar sus propiedades nutricionales, incrementar su vida postcosecha y reducir el ataque de plagas o patógenos. Incluso, hoy en día, ya es posible encontrar en el supermercado algunos productos agrícolas en los que se emplearon nanotecnologías. No se está hablando de materiales súper-poderosos, pero lo cierto es que las nanopartículas tienen propiedades nunca antes vistas, las cuales pueden ser aprovechadas por el sector agroindustrial.

Es importante indicar que la mayoría de estos nanomateriales de uso agrícola (Figura 3) aún están en proceso de evaluación, por lo que no solo se debe tener cuidado al manejarlos y aplicarlos, sino que, se debe estar seguro de las ventajas reales de la aplicación de las NP en campo, así como de los daños colaterales que se podrían ocasionar. En la actualidad, nuestro grupo de trabajo está realizando investigaciones en el sentido de determinar los efectos de las NP en el suelo y en las plantas, con la finalidad de contribuir a una agricultura sustentable y productiva.

VI. LOS FERTILIZANTES MINERALES: N, P Y K.

Los fertilizantes agrícolas sintéticos que más se esparcen en terrenos de cultivo a nivel mundial son aquellos que

contienen nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Sin embargo, estos elementos no son los únicos o los más importantes, sino que son los que más se aplican y de los que las plantas requieren en mayor cantidad, considerando la rápida respuesta de asimilación que tienen en prácticamente todos los cultivos. Si bien, los cultivos agrícolas requieren de nutrientes o elementos esenciales que se comercializan como fertilizantes, estos afectan severamente el ambiente, es decir, contaminan el suelo, el agua y el aire, principalmente por su excesivo e indiscriminado uso, entre otros factores. Por ejemplo, nitrógeno en su forma de nitrato es esencial para las plantas, pero es altamente tóxico para otros organismos, como mamíferos o peces, de ahí que estos fertilizantes deban ser aplicados adecuadamente. Dentro de los fertilizantes que más se aplican se encuentran los fertilizantes nitrogenados, seguido de los fosforados y potásicos o sus combinaciones, aplicándose decenas de millones de toneladas anuales a nivel mundial.

Afortunadamente, además de los fertilizantes químicos sintéticos existe una amplia gama de materiales o fertilizantes de origen natural (fertilizantes orgánicos) como las compostas, vermicompostas, bocashi, biochar, estiércoles, residuos orgánicos (residuos agroindustriales), etc.; los cuales contienen una mayor diversidad de nutrientes que mejoran la estructura y la calidad del suelo. Cabe mencionar que algunos materiales como los estiércoles deben ser estabilizados para su mejor aprovechamiento y evitar posibles efectos nocivos por presencia de parásitos enteropatógenos, además de problemas por mal olor.

Las nuevas tecnologías como las nanopartículas u otros nanomateriales podrían suministrar de forma controlada estos fertilizantes a los cultivos, lo cual reduciría los problemas de eutrofización, es decir, disminuiría la acumulación de nitrógeno y fósforo en los ecosistemas acuáticos y contaminación de aguas nacionales: superficiales y subterráneas.

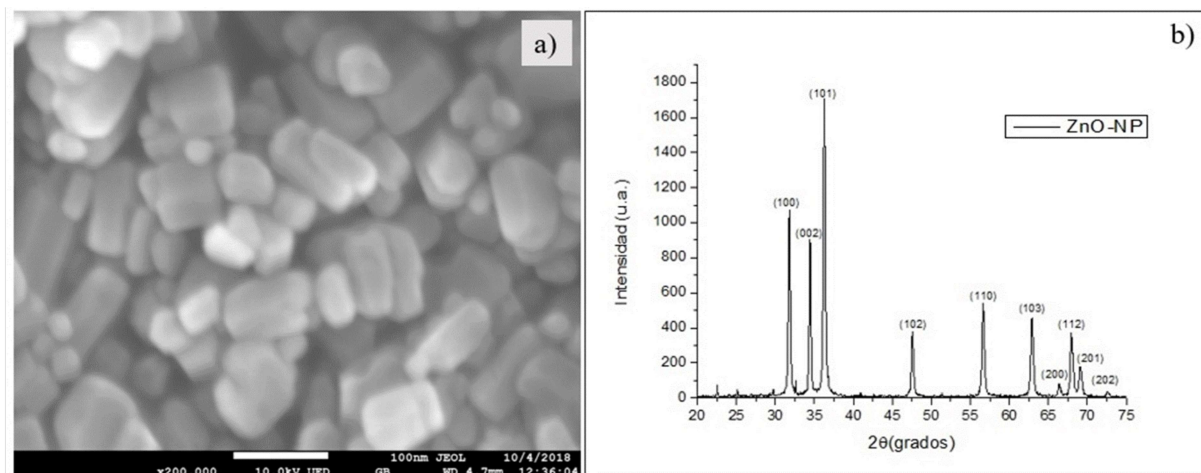


Figura 3. Caracterización de nanopartículas de ZnO (ZnO-NP) empleadas en varios cultivos. a) Micrografía por microscopio electrónico de barrido de ZnO-NP, b) Patrones de difracción de rayos X de ZnO-NP. Fuente: Imagen tomada de la Tesis de Maestría en Ciencias de Andrea Yakelin Pérez Moreno, Cinvestav Saltillo.

VII. Conclusiones.

Como se puede ver, las tecnologías para aumentar la productividad del campo están presentes, empleando NP, residuos, zeolitas o fertilizantes minerales en forma responsable e informada. Actualmente, se busca un enfoque de producción de alimentos con mínimo impacto al ambiente y a los ecosistemas, para alcanzar una alta rentabilidad agrícola y la producción de alimentos saludables y de calidad. Se aprecian las oportunidades para hacer una agricultura cada vez más sustentable, y más responsable.

Agadecimientos.

Al Instituto Politécnico Nacional, al CINVESTAV unidad Saltillo, y al CONACyT por su apoyo para la realización del proyecto CB-287225, y las líneas de investigación que aquí se presentan.

Referencias.

López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F. 2018. *Agricultural Nanobiotechnology, Modern Agriculture for a Sustainable Future*. Springer. ISBN 978-3-319-96718-9. Pp 218.

López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F., Luna-Suárez, S., Dendooven, L. 2011. Greenhouse gas emissions and plant characteristics from soil cultivated with sunflower (*Helianthus annuus* L.) and amended with organic or inorganic fertilizers. *Science of the Total Environment*, 412–413, 257–264.

Medina-Pérez, G., Fernández-Luqueño, F. 2018. Nanotoxicidad: Retos y Oportunidades. *Mundo Nano*. 11(20), pp. 7-16.

Mumpton, F.A. 1999. La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(7), 3463–3470. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.7.3463>

Sosa Reyes, S. 1997 Intercambio de Cesio en Zeolita ZSM-5. Tesis de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana.

Valerio-Rodríguez, M.F., Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F. 2016. Nanopartículas en el Medio Ambiente. *Ciencia y Desarrollo (CONACyT)*. 42(281), pp 62-66.

