



Grupo eumed.net / Universidad de Málaga y
Red Académica Iberoamericana Local-Global
Indexada en IN-Recs (95 de 136), en LATINDEX (33 DE 36), reconocida por el DICE, incorporada a la
base de datos bibliográfica ISOC, en RePec, resumida en DIALNET y encuadrada en el Grupo C de la
Clasificación Integrada de Revistas Científicas de España.

Vol 9. N°26

Junio 2016

www.eumed.net/rev/delos/26

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS BIOSÓLIDOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN AGRICULTURA. UN ESTUDIO DE CASO EN REPÚBLICA DOMINICANA

Ing. Atuey Martínez¹
Universidad de UTESA – CORAASAN

Ing. José Castillo, Ph.D.²
Universidad de UTESA

Francisco Orgaz Agüera, Ph.D.³
Universidad de UTESA
franorgaz@utesa.edu

República Dominicana

CONTENIDO

Resumen	2
Abstract	2
1 Introducción	3
2 Justificación e importancia de la investigación	5
3 Presentación de las instituciones que realizarán la investigación	6
4 Revisión de la literatura referente a la utilización de biosólidos en la agricultura	8
5 Propuesta metodológica para analizar biosólidos y aplicación en agricultura	11
6 Conclusiones de la propuesta	13
Bibliografía	15

¹ Ingeniero Civil por la Universidad Pontificia Católica Madre y Maestría (PUCCM). Director de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica de Santiago, UTESA. Gerente de Aguas Residuales en la Corporación de Acueductos y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN). Investigador en el área de ingeniería civil y ambiental.

² Doctor en Química. Director del Departamento de Ciencias Naturales de UTESA. Investigador en el área de ingeniería química y ambiental.

³ Doctor por la Universidad de Sevilla, España. Director Ejecutivo de la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de UTESA. Investigador en el área de economía y el desarrollo sostenible.

RESUMEN

La significativa cantidad de desechos bio-orgánicos que se generan en la ciudad de Santiago de los Caballeros, y sus efectos directos en el medio ambiente, son una manifestación de la compleja relación que existe entre el efecto antropogénico humano y la cuantiosa cantidad de aguas residuales producidas. En las últimas décadas, se ha hecho imperativo el tratamiento adecuado de las aguas residuales en las grandes ciudades. Las técnicas de tratamiento aplicadas tienen como finalidad disminuir el impacto contaminante en los diferentes sistemas bióticos. El tratamiento adecuado de las aguas residuales implica la generación de cantidades significativas de lodos residuales o biosólidos, así como de otros materiales potencialmente aprovechables. Los biosólidos han sido objeto de estudio para su aprovechamiento en la agricultura en otros países, debido a su elevado contenido de materia orgánica y de otros elementos esenciales para el desarrollo de cultivos agropecuarios. En este sentido, el objetivo de esta investigación es desarrollar un modelo para el uso eficiente y sostenible de biosólidos en el cultivo de maíz en la República Dominicana. Para el estudio, se propone utilizar los biosólidos producidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Rafey. La finca experimental seleccionada para la aplicación del biosólido bajo estudio corresponderá a la Finca-Escuela UTESA Recinto Mao, la cual está ubicada en el sector la Azucarera, del municipio de Esperanza, provincia Valverde. El área de estudio estará dividida en cinco bloques parcelarios cuadrados de 324 m² cada uno.

Palabras clave: Biosólidos, agricultura, aguas residuales, cultivos agropecuarios, maíz.

ABSTRACT

The significant amount of bio-organic waste generated in the city of Santiago de los Caballeros, and its direct effects on the environment, are a manifestation of the complex relationship between human anthropogenic effect and the substantial amount of wastewater produced. It has become imperative in recent decades, proper treatment of wastewater in big cities. The treatment techniques applied aim to reduce the polluting impact on different biotic systems. Proper treatment of wastewater involves the generation of significant amounts of sludge or biosolids, as well as other potentially useful materials. Biosolids have been studied for their use in agriculture in other countries due to its high content of organic matter and other essential elements for the development of agricultural crops. In this sense, the objective of this research is to develop a model for efficient and sustainable use of biosolids in the cultivation of corn in the Dominican Republic. For the study biosolids produced at the plant Wastewater Treatment Rafey be used. Selected for the application of biosolids experimental farm under study corresponds to the Finca-School Complex UTESA Mao, which is located in the sugar sector of the municipality of Esperanza, Valverde province. The study area will be divided into five square blocks parcel of 324 m² each.

Key Word: Biosolids, agriculture, wastewater, agricultural crops, corn.

1 INTRODUCCIÓN

La propuesta de esta investigación tiene como objetivo general desarrollar un modelo para el uso eficiente y sostenible de biosólidos (lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, PTAR), en el cultivo de maíz en la República Dominicana. La problemática de la investigación surge por la ausencia de estudios técnicos abarcadores y científicos sobre el tratamiento, manejo, aprovechamiento y disposición final de biosólidos en la República Dominicana. En este sentido, la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN) se ha visto precisada a invertir, anualmente, cuantiosos recursos económicos para el retiro físico y disposición final de estos materiales, al considerarlos residuos contaminantes. Con el incremento de la población en la ciudad de Santiago de los Caballeros, esta problemática es más significativa, debido al aumento del caudal de aguas residuales generado y, por consiguiente, se produce un mayor volumen de lodos. Los aspectos que justifican esta propuesta se fundamentan en los cuantiosos y potenciales aportes de carácter ambiental, socioeconómico, agrícola y tecnológico, así como también de otros vinculados a la salud, que podrían manifestarse con el uso racional de los biosólidos que se generan en la PTAR Rafey.

El aprovechamiento agrícola de los biosólidos es una práctica establecida y aceptada en muchos países del mundo, destacando en Estados Unidos, México o los países de la Comunidad Europea. La aplicación de biosólidos en suelos agrícolas se basa en satisfacer los requerimientos de nitrógeno y otros nutrientes necesarios para los cultivos y, además, en evitar la sobredosis de metales pesados, lo que ha mostrado ser una forma efectiva de aprovechar los residuos (Barbarick e Ippolito, 2000), que son potencialmente dañinos, debido a que contienen contaminantes químicos y agentes patógenos causantes de enfermedades. En consecuencia, se puede asegurar que al aplicar los biosólidos al suelo se mejora su estructura, su productividad y aumenta la actividad microbiana del sustrato, debido a que se incrementa el contenido de macro y micro-nutrientes, potencializándose la retención de humedad de los suelos. En el caso específico del maíz, existen estudios donde se han utilizado los biosólidos como material para mejorar el desarrollo del cultivo (Flores-Pardavé et al., 2011; González et al., 2014).

Las aguas residuales generadas en la ciudad de Santiago de los Caballeros son colectadas y tratadas en apenas un 44%. Del total generado, el 35% (600 litros por segundo) se trata en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Rafey, localizada al suroeste de la ciudad. La capacidad de tratamiento de dicha planta es de 1,217 litros por segundo, que corresponde al 70% de lo que se genera en la ciudad de Santiago de los Caballeros.

El proceso de tratamiento que se realiza en la planta es de lodos activados con aireación extendida, obteniéndose como subproducto lodos residuales que son deshidratados en filtros banda. Dichos lodos o biosólidos requieren ser retirados, transportados y depositados en lugares ambientalmente adecuados. En la PTAR Rafey se producen diariamente unos 25 m³ de lodos deshidratados o biosólidos, que son vertidos de forma irracional e inadecuada en terrenos

aledaños a la comunidad de Cienfuegos, Santiago de los Caballeros, localizados a unos 8 kilómetros de distancia de dicha planta. En este sentido, es importante señalar el impacto ambiental negativo que, de manera directa, los lodos o biosólidos desechados originan en los suelos y su entorno.

La problemática existente con estos lodos es que, al no disponerse en República Dominicana de estudios técnicos que determinen la viabilidad de su aprovechamiento, la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN) invierte cada año en su manejo y disposición final cuantiosos recursos económicos. En República Dominicana no se dispone de un reglamento o normativa para el tratamiento, manejo, aprovechamiento y/o disposición final de los mismos.

El incremento poblacional que se ha experimentado en los últimos años en la ciudad de Santiago de los Caballeros ha impactado de manera considerable en la generación de aguas residuales y, en consecuencia, se ha producido un aumento en el volumen de lodos, y esto hace que el problema sea considerado de vital importancia para el sector agua potable y saneamiento, y el país.

La propuesta se enfoca en la utilización racional de los biosólidos producidos en la PTAR Rafey, la cual ha experimentado, en los últimos años, un aumento en el caudal tratado de aguas residuales. Actualmente no se dispone en República Dominicana de la suficiente información técnica y experiencia comprobada para el adecuado manejo y aprovechamiento de los biosólidos, como se ha logrado en varios países latinoamericanos y del mundo.

Por tanto, y teniendo en cuenta el objetivo de esta investigación, con la aplicación del modelo que se propone en este artículo se podrá identificar las características de los biosólidos producidos en la PTAR Rafey; determinar el potencial aprovechable de los biosólidos a partir de sus características físicas, químicas y microbiológicas, establecer la clasificación para el aprovechamiento agrícola de los biosólidos en el cultivo de maíz y fomentar la aplicación de técnicas para la utilización de biosólidos en cultivos alternativos.

Los objetivos mencionados anteriormente, provienen de las siguientes preguntas de investigación planteadas:

- ¿Cuáles son las principales características físicas, químicas y microbiológicas de los biosólidos producidos en la PTAR Rafey? A partir de esta pregunta, se pretende determinar la composición físico-química y microbiológica de los biosólidos, y establecer la categoría o clasificación del biosólido producido.
- ¿Es importante determinar el potencial aprovechable de los biosólidos a partir de sus características físicas, químicas y microbiológicas? A través de esta pregunta se pretende seleccionar el suelo a cultivar, proyectar la morfología del grano de maíz que se pretende cultivar y establecer la vida útil del biosólido.
- ¿Cuáles beneficios aporta la clasificación de los biosólidos para su aprovechamiento en la agricultura? Con esta pregunta se busca conocer la capacidad nutricional del

biosólido en la producción de maíz, determinar el nivel asimilación de los nutrientes del suelo por el cultivo y medir la dinámica de crecimiento de los cultivos.

- ¿Por qué es importante la fomentación y aplicación de las técnicas utilizadas en el aprovechamiento de biosólidos en la agricultura? A través de esta pregunta se pretende transferir la experiencia obtenida a otro tipo de cultivo, generar nuevos conocimientos en la literatura científica y proponer estándares para el manejo y aprovechamiento de biosólidos en el país.

2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Los aspectos que justifican esta propuesta se fundamentan en los cuantiosos y potenciales aportes de carácter ambiental, socioeconómico, agrícola y tecnológico, así como también en otros vinculados a la salud, y que se manifiestan al utilizar de manera racional los biosólidos que se generan en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

El aprovechamiento agrícola de los biosólidos es una práctica establecida y aceptada en muchos países del mundo. En el estado de California (EEUU) se utiliza en suelos agrícolas el 52% de los biosólidos producidos, mientras que en Arizona (EEUU) se utiliza el 86% de los que se producen (Fondahl, 1999). En la Comunidad Económica Europea (CEE) más de una tercera parte de los biosólidos producidos son utilizados en la agricultura (Akrivos et al., 2000).

La aplicación de biosólidos en suelos agrícolas se basa en satisfacer los requerimientos de nitrógeno y otros nutrientes necesarios para los cultivos y, además, en evitar la sobredosis de metales pesados, lo que ha mostrado ser una forma efectiva de aprovechar los residuos (Barbarick e Ippolito, 2000), que son potencialmente dañinos, debido a que contienen contaminantes químicos y agentes patógenos causantes de enfermedades. En el suelo, los patógenos mueren gradualmente y no presentan ningún efecto degenerativo final, pero los contaminantes químicos, especialmente los elementos trazas procedentes de metales pesados, pueden persistir en el suelo y ser absorbidos por las plantas cultivadas, y en cantidades excesivas afectan la salud de los consumidores y de las mismas plantas.

Los suelos agrícolas y forestales son susceptibles de experimentar desbalances para mantener estable los niveles de composición orgánica, debido al uso al que son sometidos, como el excesivo laboreo, la producción intensiva, el uso de fitosanitarios, el pastoreo, entre otros. Estos factores ocasionan una disminución de su fertilidad natural, acentuándose en regiones con poca producción de biomasa. Frecuentemente, se presentan problemas ambientales como erosión, baja infiltración, menor capacidad de almacenamiento de agua, dificultad para el desarrollo integral del suelo y deficiencia en el establecimiento de poblaciones microbianas benéficas (Dalal y Mayer, 1986).

Así mismo, se puede asegurar que una aplicación adecuada de biosólidos mejora la estructura de los suelos, la productividad de los mismos y aumenta la actividad microbiana del

sustrato, debido al incremento en el contenido de macro y micronutrientes y se potencializa la retención de la humedad. En adición a lo planteado, se reduce de manera significativa los costos de producción de los cultivos, debido a que se disminuye el uso de agroquímicos. Es pertinente señalar que, en conformidad con investigaciones realizadas, los biosólidos se integran con mucha afinidad a los diferentes tipos de suelos, sobre todo en superficies erosionadas y/o degradadas (Torres y Zarate, 1997).

Existen estudios (Banuelos et al., 2007; Odlare et al., 2008) acerca del uso de biosólidos en la agricultura, que analizan la relación de la fertilidad del suelo, el desarrollo de cultivos y su rendimiento. En el caso específico del maíz, varios investigadores (Zamora et al. 1999; Uribe et al., 2002; Montes et al., 2003; Bautista, 2005; Flores-Pardavé et al., 2011; González et al., 2014) han utilizado los biosólidos como material para mejorar el desarrollo del cultivo.

3 PRESENTACIÓN DE LAS INSTITUCIONES QUE REALIZARÁN LA INVESTIGACIÓN

Esta propuesta metodológica de investigación ha sido realizada por UTESA y CORAASAN. En este sentido, UTESA fue fundada en Santiago de los Caballeros en el 1974, con el objetivo de satisfacer las necesidades de miles de jóvenes trabajadores de la región del Cibao Central interesados en cursar estudios técnicos y superiores. Inicialmente se ofertaron carreras relacionadas con las Ciencias Económicas y Sociales. Luego, la Universidad amplió su oferta curricular incorporando carreras técnicas y profesionales en las facultades de Ciencias de la Salud, Ingenierías, Ciencias Sociales y Humanidades.

Como institución de enseñanza superior, UTESA puede expedir títulos en los niveles: técnico, profesional y postgrado, como lo establece el Reglamento 1255, mediante el cual se creó el Consejo Nacional de Educación Superior (CONES), organismo oficial que se encargaba de la supervisión y control de las instituciones que integran el nivel terciario del Sistema Nacional de Formación.

El Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCyT), mediante la resolución número 31-2004 del 5 de agosto del 2004, concedió a la UTESA la aprobación para el ejercicio pleno de la autonomía universitaria.

A nivel nacional, la UTESA es miembro de la Asociación Dominicana de Universidades (ADOU) y de la Red Ambiental de Universidades Dominicanas (RAUDO); en el ámbito internacional, es miembro de la directiva de la AUIP (Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado), de la red Universia, de Academic Networking, a Gate for Learning Experiences (ANGLE), de Erasmus Mundus (ACPII) y preside el capítulo para el Caribe del Grupo Universitario Latinoamericano de Estudios para la Reforma y el Perfeccionamiento de la Educación (GULERPE).

El primer proyecto de investigación científica financiado por la Universidad fue “Influencia de la Calidad de la Semilla sobre la Fijación de Nitrógeno en el Cultivo de Habichuelas Rojas” en el año 1987 por el Dr. Alberto Rodríguez Rodríguez como investigador principal, el cual es el Director de la Carrera de Ciencias Agronómicas en el Recinto UTESA – Mao. A través del tiempo y de acuerdo a las nuevas demandas sociales en cuanto a investigación, desarrollo y gestión del conocimiento, se ha continuado actualizando e incorporando en la estructura organizativa nuevos estamentos correspondientes al Área de Investigación.

Como misión, UTESA desarrolla de forma integral, bajo una perspectiva nacional e internacional, funciones de docencia, investigación, información, comunicación y extensión dirigidas a la formación de personas creativas y emprendedoras con una visión humanista en un medio de generación de conocimientos fundamentados en la Ciencia, la Tecnología, la Investigación, vía universidad-empresa, que estimula la búsqueda permanente -a través de la calidad y la excelencia académica- de soluciones a los problemas del país. UTESA forma, desarrolla y especializa recursos humanos, realiza y fomenta la investigación científica, así como también produce bienes y servicios con sentido de proyección social e igualdad de oportunidades para todas las personas, sin distinción de raza, género, credo religioso y/o político.

UTESA tiene como visión seguir siendo la universidad corporativa más importante del país, tanto en el orden cualitativo como cuantitativo, por el impacto de sus egresados, por la producción, transferencia y divulgación del conocimiento y de la comunicación e información, por la integración armoniosa entre sus actores, universidad-empresa, por la pertinencia de los servicios que ofrece a la comunidad nacional y por su proyección en el plano internacional.

Por su parte, CORAASAN fue creada mediante Ley 582 en el año 1977, como una institución de servicio público, considerando la importancia que revisten los sistemas de acueducto y alcantarillado de la ciudad de Santiago y de algunas poblaciones de su área de influencia, así como el hecho de que el Gobierno Dominicano estaba realizando una inversión de gran magnitud en la construcción de un nuevo acueducto, la cual precisaría de una administración técnica de primer orden.

CORAASAN es una entidad pública autónoma con personalidad jurídica, patrimonio propio o independiente y duración ilimitada, provista de todos los atributos a tal calidad, con plena capacidad para contratar, adquirir, contraer obligaciones y actuar en justicia. Tiene a su cargo la administración, operación y mantenimiento de los Acueductos y los Alcantarillados de todos los municipios que integran la provincia de Santiago.

El Consejo de Directores es el organismo superior directivo de CORAASAN y está integrado por nueve (9) miembros de la siguiente manera:

- El presidente de CORAASAN, el cual será nombrado por el Poder Ejecutivo y quien, además, presidirá el Consejo.
- Seis (6) miembros ex officio, a saber: El síndico municipal de Santiago; un representante de la Asociación para el Desarrollo de la provincia de Santiago; el

director de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Católica Madre y Maestra; un delegado del Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados -INAPA-; El director general de CORAASAN y un Síndico municipal de uno de los municipios restantes de la provincia de Santiago.

La misión de CORAASAN es suministrar los servicios de Agua Potable y Saneamiento en su área de influencia, cumpliendo con las normas de calidad vigentes en el país y así contribuir con el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes y la preservación del medio ambiente. Como visión, pretende ser una entidad innovadora, con clientes cada vez más conscientes y satisfechos, en un entorno laboral que propicia la unidad y la eficacia en el logro de los objetivos, orientados por la responsabilidad social y la auto sostenibilidad financiera, donde impere el respeto al medio ambiente, condiciones que nos permitan seguir siendo líderes a nivel nacional.

4 REVISIÓN DE LA LITERATURA REFERENTE A LA UTILIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS EN LA AGRICULTURA

La significativa cantidad de desechos que se generan en las ciudades, y su efecto directo en el ambiente, son una manifestación de la compleja relación que existe entre la sociedad y la naturaleza (Galafassi, 1993). Los grandes centros urbanos e industriales situados en la geográfica mundial requieren grandes cantidades de materias primas, insumos y energía para garantizar sus condiciones materiales de existencia (Toledo y González, 2007). En este sentido, cabe destacar la cuantiosa demanda de agua requerida por los seres humanos y mantenimiento de las instalaciones urbanas (González et al., 2014).

De esta manera, en las últimas décadas ha aumentado la necesidad de tratar adecuadamente las aguas residuales en las grandes ciudades, con la finalidad de reutilizarlas en algunas actividades y de verterlas a los cuerpos receptores con una mejor calidad. De esta forma, se mantiene la capacidad de asimilación y autodepuración de dichos cuerpos dentro de su rango de tolerancia. Sin embargo, tratar las aguas residuales generadas en las grandes ciudades representa un problema ambiental de alta relevancia, el cual toma forma a través de la generación de enormes cantidades de lodos residuales o biosólidos (González et al., 2014).

Los lodos son un subproducto generados en los procesos de tratamiento de las aguas residuales, y su manejo y disposición final se ha convertido en un problema para la salud y el medio ambiente (González et al., 2014), lo que ha impulsado la realización de una importante cantidad de investigaciones sobre esta problemática actual (López et al., 1996; Mahamud et al., 1996; Laos et al., 2000; Angenent et al., 2004; López et al., 2006; Palese et al., 2009; Murray y Ray, 2010; Bao y Fang, 2012; Alderson et al., 2015).

Como respuesta a la situación planteada, se han realizado diversos estudios sobre el uso de biosólidos en la agricultura (Cicek, 2003; Guzmán y Campos, 2004; Utria-Borges et al., 2008; Eissa et al., 2014), debido a su elevado contenido de materia orgánica y de otros elementos

esenciales para el desarrollo óptimo de los cultivos (González et al., 2014). En otras investigaciones (Andrade et al., 2000; Hernández-Herrera et al., 2005) se afirma que los biosólidos mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo y pueden aumentar el rendimiento de los cultivos, aunque, según He et al. (2005) existen riesgos por el probable contenido en exceso de metales pesados.

Diversos estudios que se han realizado sobre el uso de biosólidos en suelos agrícolas se enfocan en el impacto ambiental que puede ser provocado en el suelo, debido al contenido de elementos potencialmente tóxicos que se encuentran en los biosólidos y al riesgo de su potencial ingreso a las redes tróficas (González et al., 2014), lo que pone en peligro la salud humana y animal (He et al., 2005; Torri y Lavado, 2009; González et al., 2014). Entre estos elementos encontramos el zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr), teniendo todos ellos un gran potencial de acumulación en los tejidos humanos, generando su bio-magnificación en la cadena alimentaria, lo que ha conllevado a preocupaciones medioambientales y sanitarias (Bautista, 2005).

En investigaciones científicas recientes (Banuelos et al., 2007; Odlare et al., 2008) se han realizado estudios referentes a los efectos del uso de biosólidos en suelos agrícolas, donde se mide el impacto de las características que determinan la fertilidad del suelo, el desarrollo de los cultivos y los rendimientos en diferentes tipos de plantas y suelos. Así mismo, se han realizado estudios sobre el cultivo del maíz (Robledo, 2012).

En el caso específico del uso de biosólidos en el cultivo de maíz, diversos estudios (Zamora et al. 1999; Uribe et al., 2002; Montes et al., 2003; Bautista, 2005; Flores-Pardavé et al., 2011; Robledo, 2012; González et al., 2014) han estudiado los biosólidos como material para mejorar el desarrollo del cultivo.

Para Zamora et al. (1999), en su trabajo realizado adicionando lodos residuales de una planta de tratamiento urbana, en el cultivo de maíz, menciona incrementos de un 35% en rendimiento con respecto a la fertilización química convencional, atribuyendo dichos resultados a los nutrimentos básicos de N (nitrógeno), P (fósforo) y K (potasio) que contenían el biosólido.

Siguiendo a Uribe et al. (2002), en la región agrícola de Delicias (México) se observaron incrementos en rendimiento de forraje verde con la aplicación de biosólidos que fluctuaron entre 11 y 18% en comparación al testigo fertilizado y 27 a 35% en comparación al testigo absoluto. Estos autores concluyeron que en maíz forrajero la dosis más adecuada de biosólidos digeridos anaeróbicamente, desde el punto de vista agronómico y económico, resultó ser 10 toneladas por hectárea de biosólidos en base seca.

Según Montes et al. (2003) realizaron su estudio en Chihuahua (México), analizando los metales tóxicos provenientes de los biosólidos y la contaminación de estos en cultivos de maíz. En este aspecto, Montes et al. (2003) hicieron un análisis comparativo entre un cultivo de maíz tratado a través de biosólidos y un cultivo de maíz tratado con componentes químicos. Los autores concluyeron que los resultados fueron similares, si bien, el porcentaje de mineralización de

nitrógeno tendió a reducirse a medida que se incrementó la dosis de biosólidos aplicada, lo que generó un mejor índice de rentabilidad del suelo.

Bautista (2005) en su estudio tenía como objetivos analizar el crecimiento con base en los índices fisiotécnicos para evaluar el efecto de la aplicación de biosólidos en el cultivo de maíz, determinar el comportamiento del cultivo de maíz aplicando cinco tratamientos de mezclas de biosólidos y peat moss (musgos de turbera), y determinar los índices fisiotécnicos y evaluar el efecto que tuvieron los biosólidos en ellos. Los principales resultados obtenidos una vez realizados los ensayos en el cultivo de maíz con respecto a los diferentes tratamientos de biosólidos más peat moss, al considerar la materia seca, el área foliar, la tasa de crecimiento de cultivo y la tasa relativa de crecimiento foliar, concluyó que es posible producir trasplantes de maíz al utilizar el biosólido en cantidades menores al 25%.

Por su parte, Flores-Pardavé et al. (2011) realizaron su estudio sobre la evaluación de colémbolos de suelos agrícolas en cultivos de alfalfa y de maíz adicionados con biosólidos en Aguascalientes (México). Así, mediante trampas pitfall usadas en 2004 y 2005 se recolectaron ocho especies, de las que *Ballistura schoetti*, *Entomobrya* ca. *triangularis* y *Seira purpurea* fueron las más abundantes. La adición de materia orgánica presente en los biosólidos propició un gran desarrollo poblacional de *B. schoetti* en ambos cultivos. La precipitación fue la variable ambiental mejor relacionada con la abundancia de colémbolos, la diversidad de especies fue baja en todas las condiciones experimentales y la composición de especies fue menor en el cultivo de maíz.

Siguiendo a González et al. (2014), la aplicación de biosólidos, como mejoradores de suelos agrícolas de cultivo de maíz en la localidad de La Paz Tlaxcolpan (México), aumenta los rendimientos de las tierras que los productores destinan para esta práctica. De esta forma, el rendimiento total y las ganancias económicas que obtienen los productores guardan relación directa con la cantidad de superficie de cultivo que poseen. Así, aquellos que tienen mayor cantidad de superficie cultivable pueden aplicar biosólidos a una superficie más amplia, obtener altos rendimientos, destinar mayor cantidad de cosecha a la venta y obtener ingresos económicos, permitiendo un aumento de la calidad de vida de los productores y sus familias. Aunque, el autor también afirma que existe un manejo inadecuado, ineficiente y prácticamente improvisado de los biosólidos por parte de los productores.

En República Dominicana no se han realizado estudios con rigor científico sobre la utilización de biosólidos en la agricultura. Es necesario señalar que no existen normativas regulatorias sobre el manejo y aprovechamiento de biosólidos.

A nivel internacional existen normativas que regulan el uso y manejo de biosólidos como son la Part 503—Standards For The Use Or Disposal Of Sewage Sludge de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 de Protección Ambiental, Lodos y Biosólidos de México, el Decreto Número 1287 que establece los criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en Colombia y la Directiva del Consejo (86/278/CEE) relativa a la

protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura.

5 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA ANALIZAR BIOSÓLIDOS Y APLICACIÓN EN AGRICULTURA

La finca experimental seleccionada para la aplicación del biosólido bajo estudio corresponde a la Finca-Escuela UTESA Recinto Mao (figura 1), la cual está ubicada en el sector la Azucarera, del municipio de Esperanza, provincia Valverde.

Esta zona tiene una precipitación anual de 660 mms, con una zona de vida de bosque seco, con temperaturas promedios de 28-30 °C. El suelo de la finca experimental tiene una textura franco-arcillosa, con un pH ligeramente alcalino y abastecido con agua proveniente del río Yaque del Norte. El suelo a cultivar no es afectado por el nivel freático.



Plantación de banano

Vista de la Finca



Área de lavado del cultivo

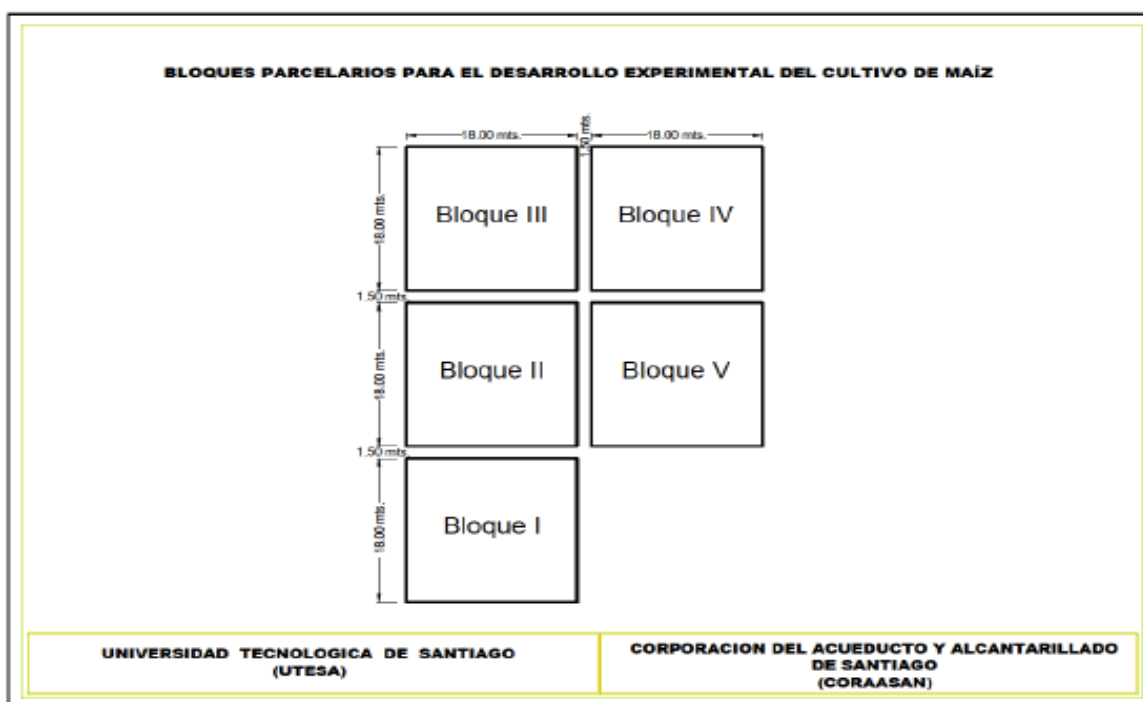


Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Finca-Escuela UTESA Recinto Mao.

El área de estudio estará dividida en cinco bloques (figura 2) parcelarios cuadrados de 324 m² cada uno, según se indica:

- Bloque I. Testigo: En esta área, al suelo no se le aplicará biosólidos y/o fertilizantes químicos. Solo, se utilizarán los tratamientos de control fitosanitario recomendados.
- Bloque II: En este bloque, se cultivará el maíz acorde a los procedimientos tradicionales, según las técnicas recomendadas por el Ministerio de Agricultura de la República Dominicana.
- Bloque III: En esta área, se aplicará al suelo la tasa agronómica de biosólidos, con ayuda de utensilios mecánicos, en un periodo no mayor a los 30 días, luego de sembrar el cultivo. Así mismo, se utilizarán los tratamientos de control fitosanitario recomendados.
- Bloque IV. En este bloque, se aplicará al suelo la tasa agronómica de biosólidos a través del método en bandas, el cual consiste en aplicar el biosólido de manera superficial y sin mezcla, a un lado de la planta y en una sola hilera. La aplicación del biosólido se realizará en un periodo no mayor a los 30 días, luego de sembrar el cultivo.
- Bloque V. En esta área, se aplicará al suelo la tasa agronómica de biosólidos a través del método en bandas, incorporándolo mezclado previamente con el terreno a cultivar. La aplicación del biosólido se realizará en un periodo no mayor a los 30 días, luego de sembrado el cultivo.



Fuente: elaboración propia

Figura 2. Bloques parcelarios.

El cultivo a desarrollar será semillas de maíz seleccionadas de acuerdo a criterios genéticos y experiencia agrícola de los técnicos.

Entre los materiales e instrumentos a utilizar en el trabajo de campo se encuentran la maquinaria y equipos agrícolas:

- Tractor con rastra.
- Surqueadores.
- Bomba de impulsión de agua.
- Bomba de fumigación.
- Equipos de laboreo agrícola.
- Carteles de identificación parcelaria de los bloques.
- Cámara fotográfica.
- Sogas y estacas.
- Equipos de protección personal.

También, se utilizarán materiales e instrumentos de oficina, como:

- Computadoras.
- Impresoras.
- Calculadoras científicas.
- Papel, lapiceros, entre otros.

Por último, se necesitarán materiales, instrumentos y técnicas de análisis de laboratorio para estudiar los biosólidos:

- Bureta automática.
- Peachimetro hqd40d.
- Horno sartorius ma35.
- Termómetro/sonda.
- Horno precisión.
- Balanza analítica.
- Bomba de vacío.
- Mufla.
- Medidor COT.
- Reactor.
- Espectrofotómetro DR6000.
- Incubadora.
- Baño de agua con tapa.
- Refrigerador.
- Autoclave.
- Contador de colonia.
- Centrifuga de 12 tubos.
- Microscopio óptico de luz clara con cámara.
- Celda de sedgwick rafter, disco doncaster o cámara de newbauer.
- Tamix de 160 um.
- Mezclador automatico vortex.
- Bomba de vacío.
- Beakers.
- Probetas.
- Matraz aforado.
- Pipetas.
- Embudo de porcelana.
- Tubos de ensayo.
- Cubetas de cristal.

6 CONCLUSIONES DE LA PROPUESTA

De acuerdo a los datos estadísticos suministrados por el Ministerio de Agricultura (2015) de República Dominicana, indican que la producción promedio anual de maíz en el periodo 2002-2013 fue del 5.7% de la demanda nacional, en comparación con el volumen de importación, que fue del 94.3%, equivalente a US\$184,223,492.09 (RD\$8,290,057,144.11). De estas informaciones

se infiere que el mercado nacional presenta una demanda muy por encima de la cantidad de maíz producida y, ante la situación descrita, es oportuno proponer nuevas tecnologías para incentivar y fomentar el cultivo de este importante rubro, con el objetivo de satisfacer, en un mayor nivel, a la demanda nacional.

De acuerdo al Plan Estratégico Sectorial de Desarrollo Agropecuario 2010-2020 del Ministerio de Agricultura de la República Dominicana, se establece una línea estratégica denominada Fortalecimiento y Establecimiento de Cadenas Agroalimentarias, donde como línea de acción se pretende impulsar la reconversión productiva de los productos considerados sensibles, tales como: arroz, leche, habichuela, pollo, azúcar, maíz, cebolla, y ajo, los cuales son protegidos por la Rectificación Técnica. El Plan Estratégico fomenta la producción agrícola y ganadera a través de una cantidad de insumos y material de siembra entregada, donde se establecen 6,252 quintales de semilla de gandules, habichuelas y maíz.

Es oportuno indicar que esta propuesta se enmarca dentro del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2018 del Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCyT) de la República Dominicana, que se ha propuesto formular con la participación y como parte del conjunto de actores que integran el Sistema Nacional de Innovación y Desarrollo Tecnológico (SNIDT) contribuir con el mejoramiento competitivo de los sectores productivos nacionales (agricultura, ganadería, minería, entre otros) mediante la articulación de los mismos con el Sistema Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología.

De igual manera, el Plan Estratégico del MESCyT contempla en el acápite B.4 el desarrollo de un Programa de Producción Sostenible y Seguridad Alimentaria, el cual busca producir agro-alimentos de manera mucho más eficiente en términos sociales, económicos y ambientales, y mejorar los canales de distribución de alimentos, con la finalidad de proveer a la sociedad dominicana de un marco de seguridad alimentaria que contribuya con la reducción de la pobreza de productores y consumidores, al mismo tiempo que se mejoren los indicadores de salud y nutrición de la población.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y otros organismos internacionales vinculados a la producción agroalimentaria, las proyecciones para la producción mundial de maíz en el periodo 2015/2016 se han incrementado. De esta forma, el Consejo Internacional de Cereales (FAO, 2014) estima que la cosecha mundial de maíz en 2015/16 será de 951 millones de toneladas.

Las contribuciones específicas que se derivan de la aplicación de esta investigación tienen marcada incidencia en el aporte de nuevos conocimientos acerca de la composición físico-química y microbiológica del biosólido utilizado. Así mismo, es importante establecer su categoría a los fines de lograr clasificar un uso racional en el cultivo de maíz y de otras culturas agropecuarias de significativo impacto en la economía del país.

Por tanto, se aspira a que en esta investigación quede demostrado que:

- El impacto del uso de biosólidos en la optimización de las características genéticas del cultivo del maíz, de manera que se incremente su calidad competitiva en los mercados.

- Se establezca una relación de los efectos positivos del biosólido al ser incorporado en el suelo y su asimilación por el cultivo. Entendemos que de comprobarse esta posibilidad obtendremos una mayor cantidad de biomasa, disminución del costo de producción y una rehabilitación del potencial nutricional de los suelos. Esto permitiría el uso de los suelos durante un tiempo más prolongado, con menor nivel de agotamiento, potencializando una mejor sostenibilidad con el entorno ambiental.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos se sentarían las bases para promover la elaboración de un marco normativo en el tratamiento, manejo, aprovechamiento y disposición final de los lodos y biosólidos en República Dominicana.

BIBLIOGRAFÍA

- Akrivos, J., Mamais, D., Katsara, K., y Andreadakis, A. (2000). Agricultural utilisation of lime treated sewage sludge. *Water Science & Technology*, 42(9), 203-210.
- Alderson, M.P., Dos Santos, A.B. y Mota Filho, C.R. (2015). Reliability analysis of low-cost, full-scale domestic wastewater treatment plants for reuse in aquaculture and agricultura. *Ecological Engineering*, 82, 6-14.
- Andrade, M. L., Marcet, P., Reyzábal, M. L., y Montero, M. J. (2000). Contenido, evolución de nutrientes y productividad en un suelo tratado con lodos residuales urbanos. *Edafología*, 7(3), 21-29.
- Angenent, L. T., Karim, K., Al-Dahhan, M. H., Wrenn, B. A., y Domínguez-Espinosa, R. (2004). Production of bioenergy and biochemicals from industrial and agricultural wastewater. *TRENDS in Biotechnology*, 22(9), 477-485.
- Banuelos, G. S., Pasakdee, S., Benes, S. E., y Ledbetter, C. A. (2007). Long-Term Application of Biosolids on Apricot Production. *Communications in soil science and plant analysis*, 38(11-12), 1533-1549.
- Bao, C., y Fang, C. L. (2012). Water resources flows related to urbanization in China: challenges and perspectives for water management and urban development. *Water resources management*, 26(2), 531-552.
- Barbarick, K. A., y Ippolito, J. A. (2000). Nitrogen fertilizer equivalency of sewage biosolids applied to dryland winter wheat. *Journal of Environmental Quality*, 29(4), 1345-1351.
- Bautista Cristóbal, R. (2005). Análisis del crecimiento en plántulas de maíz (*Zea mays* L.) aplicando biosólidos. México: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Tesis Doctoral.
- Cicek, N. (2003). A review of membrane bioreactors and their potential application in the treatment of agricultural wastewater. *Canadian Biosystems Engineering*, 45, 6-37.

- Dalal, R. C., y Mayer, R. J. (1986). Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. *Soil Research*, 24(2), 281-292.
- Eissa, F. I., Mahmoud, H. A., Massoud, O. N., Ghanem, K. M., & Gomaa, I. M. (2014). Biodegradation of chlorpyrifos by microbial strains isolated from agricultural wastewater. *Journal of American Science*, 10(3), 98-108.
- FAO (2014). El desarrollo del cultivo del maíz en República Dominicana. Disponible en: http://www.fao.org/agronoticias/agro-noticias/detalle/es/c/218328/?dyna_fef%5Bbackuri%5D=21166
- Flores-Pardavé, L., Palacios-Vargas, J. G., Castaño-Meneses, G., y Cutz-Pool, L. G. (2011). Colémbolos de suelos agrícolas en cultivos de alfalfa y de maíz adicionados con biosólidos en Aguascalientes, México. *Agrociencia*, 45(3), 353-362.
- Fondahl, L. (1999). Biosolids management in the western region. *BioCycle*, 40(7), 70-74.
- Galafassi, G. (1993). La relación medioambiente sociedad: algunos elementos para la comprensión de su complejidad. *Revista Paraguaya de Sociología*, 30(86), 16-30.
- González Flores, E., Sandoval Castro, E. y Pérez Magaña, A. (2014). Biosólidos en la producción de maíz: impacto socioeconómico en zonas rurales del municipio de Puebla. *Estudios sociales* 22(43), 1-14.
- Guzmán, C., y Campos, C. (2004). Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. *Universitas Scientiarum*, 9(1), 59-67.
- He, Z. L., Yang, X. E., y Stoffella, P. J. (2005). Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 19(2), 125-140.
- Hernández-Herrera, J. M., Olivares-Sáenz, E., Villanueva-Fierro, I., Rodríguez-Fuentes, H., Vázquez-Alvarado, R., y Pissani-Zúñiga, J. F. (2005). Aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizante químico en el cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.). *Rev. Int. Contam. Ambient*, 21(1), 31-36.
- Laos, F., Mazzarino, M. J., Satti, P., Roselli, L., Moyano, S., Ruival, M., & Moller Poulsen, L. (2000). Planta de compostaje de biosólidos: investigación y desarrollo en Bariloche, Argentina. *Ingeniería sanitaria y ambiental*, (50), 86-89.
- López, M. M., Lavín, A. G., y Andrés, H. S. (1996). Biosólidos generados en la depuración de aguas (I): Planteamiento del problema. *Ingeniería del agua*, 3(2), 47-62.
- López, A., Pollice, A., Lonigro, A., Masi, S., Palese, A. M., Cirelli, G. L., y Passino, R. (2006). Agricultural wastewater reuse in southern Italy. *Desalination*, 187(1), 323-334.
- Mahamud, M. M., Estrada, J. C. G., & Sastre, H. (1996). Biosólidos generados en la depuración de aguas:(II). Métodos de tratamiento. *Ingeniería del agua*, 3(3), 45-54.
- Ministerio de Agricultura (2015). Siembra, cosecha y producción agropecuaria. Disponible en: <http://www.agricultura.gob.do/estadisticas/siembra-cosecha-y-produccion-agropecuaria/>

- Montes, H. R. U., Sánchez, N. C., Hernández, G. O., y Valdez, M. S. E. (2003). Biosólidos digeridos anaeróbicamente en la producción de maíz forrajero. *Agricultura Técnica en México*, 29(1), 25-34.
- Murray, A., y Ray, I. (2010). Wastewater for agriculture: A reuse-oriented planning model and its application in peri-urban China. *Water research*, 44(5), 1667-1679.
- Odlare, M., Pell, M., y Svensson, K. (2008). Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. *Waste management*, 28(7), 1246-1253.
- Palese, A. M., Pasquale, V., Celano, G., Figliuolo, G., Masi, S., y Xiloyannis, C. (2009). Irrigation of olive groves in Southern Italy with treated municipal wastewater: effects on microbiological quality of soil and fruits. *Agriculture, ecosystems & environment*, 129(1), 43-51.
- Robledo Santoyo, E. (2012). Manejo y uso de biosólidos en suelos agrícolas. Montecillo, México: Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.
- Toledo, V. M. y M. González de Molina (2007). "El metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza". En F. Garrido (ed.), *El paradigma ecológico en las ciencias sociales*. Barcelona: Icaria.
- Torres, G., y Zárate, V. (1997). "Factibilidad de tratamiento y disposición de lodo residual de una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en el Edo. de Nuevo León México, Water Environment Federation". En: 70th annual Conference y Exposition. Chicago Illinois (Vol. 14).
- Torri, S., y Lavado, R. (2009). Plant absorption of trace elements in sludge amended soils and correlation with soil chemical speciation. *Journal of hazardous materials*, 166(2), 1459-1465.
- Uribe, M. H. R., Orozco, H. G., Chávez, S. N. y Espino, V. N: (2002). "Factibilidad Económica del Uso de Biosólidos en el Cultivo de Maíz Forrajero". En: *Memorias del XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Cancún, México.
- Utria-Borges, E., Cabrera-Rodríguez, J. A., Reynaldo-Escobar, I. M., Morales-Guevara, D., Fernández, A. M., y Toledo Toledo, E. (2008). Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 14(1), 33-39.
- Zamora, F., Salcedo, E. y Aguayo, A. (1999). "Efecto de la aplicación de lodos residuales como abono orgánico en el cultivo de maíz". En: *VIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería y IV Congreso Latinoamericano de Biotecnología y Bioingeniería*. Huatulco, Oaxaca, México.