



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CIUDAD JUAREZ
UACJ
COMISION DE COOPERACION ECOLOGICA FRONTERIZA
COCEF
ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY
US-EPA
SERVICIOS AGROPECUARIOS PASO DEL NORTE (SAPN)

PROGRAMA FRONTERA 2020

INFORME FINAL

I. TITULO DEL PROYECTO:

Programa Sustentable de Disposición de Lodos Residuales o Biosólidos en Suelos Agrícolas

- | | | |
|------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| II. | Responsable del proyecto: | Dr. Juan Pedro Flores Margez |
| III. | Fecha de Inicio: | 1 Marzo 2016 |
| IV. | Duración total del proyecto: | 28 meses |
| V. | Fecha del Informe: | 30 Junio 2018 |

Integrantes del Equipo de Trabajo

Dr. Juan Pedro Flores Márgez (Investigador Principal)
M.C. Baltazar Corral Diaz
Dr. Pedro Osuna Avila
M.C. Luz del Carmen Agüero Reyes
M.C. Laura Elena Santana Contreras
Lic. Ana Irene Flores Arras (SAPN)

Ciudad Juárez, Chihuahua, a 30 de Junio de 2018

Índice

	Página
Agradecimientos.....	3
Resumen.....	4
VI. Introducción /Antecedentes/Problema identificado	6
VII. Objetivos.....	9
VIII. Estrategia del proyecto	10
IX. Metodología o descripción de las tareas realizadas	11
X. Resultados	34
X.1.Determinación de la tasa de mineralización de biosolidos.....	34
X.2. Capacitación sobre aplicación de biosolidos en suelos agrícolas.....	103
X.3. Estrategias de difusión del programa de biosolidos.....	119
X.4. Comisión de Utilización de Biosolidos (CUB)	148
XI. Discusión.....	160
XII. Recomendaciones.....	161
Conclusiones.....	162
Referencias.....	165
Anexos: Reporte subconsultor SAPN	171

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por: Environmental Protection Agency (US-EPA) dentro del Programa Frontera 2020 Región 6, los recursos económicos fueron administrados por la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF), actualmente North American Development Bank (NADB), y asignados a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) a través del convenio Institucional COCEF – UACJ No. **TAA16-016, PID:20298, B2020 R6. 335.**

Un reconocimiento al esfuerzo del personal técnico en los laboratorios de Ciencias Ambientales en el Instituto de Ciencias Biomédicas y del Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT) de la UACJ, los cuales constituyeron la infraestructura de apoyo para las actividades analíticas de suelo, agua y biosólidos en este proyecto. Gracias a la participación profesional de los docentes-investigadores y a los alumnos de posgrado en la Maestría en Ciencias Químico Biológicas y del Programa de Licenciatura en Química y Biología en ICB quienes realizaron sus tesis dentro de las actividades de este proyecto.

Agradecimiento muy especial al Ing. Jose Rafael Olivas Gutierrez, Jefe de Distrito SAGARPA, y al Ing. Rubén Armando Ortiz Jiménez, Departamento de estadísticas de SAGARPA, por incluir el proyecto de biosólidos en la agenda de los Consejos Municipales de Desarrollo Rural Sustentable de Juárez, Guadalupe y Praxedis, g. Gro. También, gracias a los Directores de Desarrollo Rural de cada Municipio por su facilidades para los cursos y difusión del programa. Gracias al personal de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Ciudad Juárez por compartir la información de cantidad y calidad de biosólidos, así como por las facilidades en los recorridos del CUB por las plantas de tratamiento y transporte de biosólidos a las parcelas agrícolas. Gracias a los agricultores que continuaron aplicando biosólidos, como parte de la promoción y difusión del programa. También, agradecemos al Biol. Francisco Nunez Sanchez, Director de Normatividad de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS) por facilitar la esparcidora de biosólidos y fomentar el programa de biosólidos en el grupo de Cultura del Agua. Gracias al consultor Servicios Agropecuarios Paso del Norte S.C. por el apoyo en la logística de cursos y difusión del proyecto.

Resumen

El presente proyecto se realizó en el Valle de Juarez y Ciudad Juarez, Chihuahua, en el periodo marzo de 2016 a junio de 2018. Los objetivos fueron determinar la tasa de mineralización o descomposición de biosólidos en diferentes tipos de suelo del Valle de Juarez, Chihuahua, capacitar a los agricultores y técnicos sobre la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas, utilizar estrategias de difusión del programa para fomentar el uso de biosólidos en suelos agrícolas y, estructurar y activar las funciones de los integrantes de la Comisión de Uso de Biosólidos (CUB) para esta región.

Dos experimentos de campo, dos de invernadero y un muestreo de parcelas agrícolas donde se habían aplicado biosólidos se llevaron a cabo para evaluar la tasa de mineralización de biosólidos, respuesta agronómica de pasto bermuda, efecto de metales en suelo y en grano de trigo. Los experimentos de mineralización permitieron la obtención de datos para estimar el porcentaje de descomposición del biosólido en el suelo. Con respecto a la formación de recursos humanos, se formaron cuatro alumnas a nivel de maestría ciencias y tres alumnos de licenciatura en química. Los resultados fueron publicados en congresos científicos nacionales, pero también serán publicados en revistas científicas indexadas conforme se envíen los artículos a revistas apropiadas. Al determinar la tasa de mineralización o descomposición de biosólidos en diferentes tipos de suelo, se puede mencionar que la información generada es muy valiosa porque es la base para mejorar los cálculos de dosis de aplicación de biosólidos en campo y conocer los efectos residuales de incorporación de materia orgánica, nutrientes y metales, entre otros factores.

En cuanto a los cursos de capacitación, se realizaron 18 cursos-talleres de capacitación con una asistencia total de 410 personas, lo cual incluyó agricultores, técnicos, funcionarios, estudiantes y público en general. Estos cursos fueron apoyados con información de 12 publicaciones tipo desplegables informativas y siete ponencias de los temas: a) Importancia y el programa Sustentable de biosólidos, b) Tratamiento de aguas residuales y legislación, c) Muestreo y análisis físico química y microbiológica de agua potable y residual, d) microorganismos patógenos en agua residual y biosólidos, e) Uso de biosólidos en cultivos del Valle de Juarez Chihuahua, f) Antecedentes de la investigación en biosólidos y la Comisión de uso de Biosólidos, y g) Uso de biosólidos en otros países.

Con respecto a las actividades de difusión, se llevaron a cabo 28 sesiones en eventos donde participaron los investigadores del proyecto y los estudiantes que realizaron tesis. Las sesiones se clasificaron en asistencias con 14 presentaciones en eventos académicos y congresos científicos nacionales, siete reuniones de grupos institucionales y promoción para formar la Comisión de Uso de Biosólidos en Ciudad Juarez, Chihuahua, tres notas en los principales periódicos locales, dos entrevistas de televisión, dos publicaciones en revistas técnicas, siete tesis generadas en el proyecto, de las cuales cuatro fueron de maestría en ciencias y tres de licenciatura en química, y cuatro agricultores participantes directamente en aplicaciones de biosólidos y apoyo en la promoción del programa en los tres municipios del Valle de Juarez.

Con relación a la formación y activación de la Comisión de Uso de Biosólidos en cada municipio se formuló y entrego el acta constitutiva, así como reuniones de análisis para su puesta en marcha y permanencia. Aunque los integrantes del CUB cuentan con la información necesaria sobre legislación de biosólidos en México y aspectos técnicos de su transporte y aplicación en suelos agrícolas, se requieren más esfuerzos de gestión ante los integrantes de la Comisión para que puedan adquirir un ritmo de trabajo dentro de los Consejos de Desarrollo Rural Sustentable por municipio. Continuar aclarando las funciones específicas de cada integrante del CUB será una tarea a realizar para garantizar sus funciones. Una limitante adicional fue que los agricultores no disponen de suficientes esparcadoras de biosólidos, ya que solo se cuenta con una en la región y esta es propiedad de la JMAS, pero gracias al contrato-comodato que firmaron la UACJ y la JMAS para el préstamo de la maquina esparcadora permitirá seguir dando impulso al Programa de Biosólidos.

Las recomendaciones del proyecto son continuar las gestiones ante las autoridades gubernamentales y representantes de productores agropecuarios para contar con una permanente Comisión de Uso de Biosólidos en esta región. Promover la adquisición de máquinas esparcadoras de biosólidos, esto mediante gestión a través de la Secretaria de Desarrollo Rural del gobierno del Estado de Chihuahua. Continuar las actividades de extensión, demostración e investigación sobre las ventajas actuales y residuales o futuras de los biosólidos en diferentes tipos de suelo y cultivos. Esto para dar más confianza y facilitar la adopción por los agricultores y empresarios que puedan fomentar otros medios de disposición o uso energético de los biosólidos. Se recomienda fortalecer las acciones de difusión del programa a través de redes sociales, notas periodísticas, trípticos, publicaciones técnicas, entre otros. Además, mantener un programa permanente de capacitación para los agricultores y técnicos sobre la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas, que incluya aspectos sobre transporte, legislación, dosis agronómicas, frecuencias de aplicación, medidas sanitarias, análisis económicos e impacto ambiental.

VI. Introducción / Antecedentes/ Problema Identificado

VI.1. Introducción

La meta 3 del Programa Frontera 2020 (US-EPA, Región 6) se refiere a “promover la gestión integral de materiales, la gestión de residuos y la limpieza de sitios”: residuos especiales como el lodo de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), en especial usos productivos para los lodos o biosólidos en la región del Valle de Juárez, Chihuahua, frontera con El Paso, Texas. (<https://www.epa.gov/border2020>). El tratamiento de aguas residuales en Ciudad Juárez, Chihuahua, está generando 3560 lps equivalente a 114 millones de metros cúbicos de aguas tratadas anualmente (JMAS, 2018) y generan 105 mil metros cúbicos de biosólidos digeridos anaeróticamente, los cuales tienen 70% de humedad (JMAS-CAR-Degremont, 2017).

Los resultados del proyecto “Reciclaje de biosólidos en suelos agrícolas del Valle de Juárez, Chihuahua”, llevado a cabo en 2014 con apoyo del Programa Frontera 2020, mostraron la factibilidad técnica, económica y ambiental de la disposición de biosólidos en cuatro parcelas agrícolas, así como el fomento de esta práctica entre los agricultores y esfuerzos realizados por constituir la comisión de utilización de biosólidos (Flores et al., 2015). También, el citado proyecto planteó la problemática de que no se tenía suficiente vigilancia técnica para el buen desarrollo de un programa sustentable de disposición de biosólidos en suelos agrícolas, ya que los biosólidos se seguían enviando a predios agrícolas del Valle de Juárez sin una supervisión técnica basada en la legislación vigente (NOM-004-ECOL-2002) y en la US-EPA (EPA, 2002; EPA 503 biosolids rule, 1994), además de que los agricultores y técnicos no disponían de la capacitación apropiada para la aplicación de biosólidos en las diferentes condiciones edáficas y de manejo agronómico que tienen en la región. Estas situaciones adversas pueden ocasionar impactos negativos en la calidad ambiental de esta región fronteriza, ya que las parcelas agrícolas en lugar de manejarse como sitios de disposición ecológica y productiva pueden estar convirtiéndose en tiraderos de lodos residuales.

Los impactos del proyecto anterior favorecieron en que la disposición de los biosólidos empezara a reducirse en envíos al relleno sanitario municipal de Ciudad Juárez a partir de 2014, ya que una parte importante se envió a predios agrícolas en tres modalidades: a) a las cuatro parcelas agrícolas supervisadas en el proyecto anterior; b) a predios de agricultores quienes solicitaron asesoría a los investigadores para aplicar biosólidos; y c) a predios de agricultores que solicitaron directamente a las PTAR y cuya ubicación de los predios se desconoce. De las modalidades anteriores, el escenario más apropiado fue el a) en cómo se llevaron a cabo las parcelas del proyecto, pero se observaron situaciones en los casos b y c, en que los productores agrícolas no realizaron análisis de suelo y las dosis de biosólidos fueron aplicadas conformes sus criterios en dosis mayores a las requeridas y en otros casos dejaron los residuos sin incorporar al suelo hasta que se secó a la intemperie. Estos casos muestran un seguimiento inapropiado de estos materiales, ya que no se cuenta con supervisión técnica y legal por algún organismo de gobierno o privado regulador de prácticas de manejo apropiadas.

Dado que la tendencia es reducir significativamente el confinamiento de biosólidos en el relleno sanitario municipal, lo cual ayudara a reducir lixiviados que contaminen el acuífero, la emisión de malos olores, la atracción de vectores de enfermedades como roedores y perros u otras mascotas sin control que pueden diseminar plagas y enfermedades existentes en estos residuos, así como la dispersión de partículas al aire lo cual es común en esta región por la ocurrencia de tolvaneras intensas que afectan la salud de dos millones de habitantes en la Región Paso del Norte que incluye Juárez-El Paso, TX. Por lo anterior, es deseable continuar fomentando una de las mejores opciones reportadas por la US-EPA para el manejo y disposición de lodos residuales o biosólidos como fertilizante orgánico y mejorador de suelos agrícolas, lo cual permite reciclar los nutrientes y materiales orgánicos en un sistema natural con beneficios ambientales y económicos (Cogger, et al., 2001). La investigación reciente sobre biosólidos en suelos agrícolas del Valle de Juárez ha mostrado ventajas en la economía de los agricultores al reducir el costo de fertilizantes químicos, aumentar la producción de cultivos sin afectar la calidad del suelo y mejorar las condiciones ambientales (Flores et al., 2015). Estos estudios coinciden con lo reportado por varios estudios en la región (Flores et al., 2007; Figueroa et al., 2008; Flores et al., 2010; Flores et al., 2013).

El proyecto actual se enfocó a dar continuidad y establecer las bases técnicas y legales entre las instituciones, empresas, productores agrícolas y la ciudadanía sobre el seguimiento apropiado de la disposición de biosólidos en suelos agrícolas, así como activar y mejorar la Comisión de Utilización de Biosólidos que permita vigilar y dar cumplimiento a la Norma Mexicana en materia de lodos y biosólidos (NOM-004-ECOL-2002), tal y como se realiza en los Estados Unidos de América, lo cual será benéfico al reducir considerablemente el confinamiento de lodos residuales en rellenos sanitarios o sitios no adecuados que puedan afectar la salud humana y ambiental de la región fronteriza. La educación y entrenamiento adecuado de los técnicos y agricultores para la aplicación de biosólidos son factores clave para lograr que la región fronteriza este más limpia y se conserven las condiciones ambientales de manera favorable.

Este proyecto tiene las ventajas de beneficios ambientales, así como a un millón de personas que habitan la Región Paso del Norte, ya que los biosólidos almacenados en rellenos sanitarios emiten malos olores y existe inhalación de las partículas que se dispersan de los biosólidos secos y que durante tolvaneras y fuertes vientos en esta región rebasan las fronteras, ya que los vientos dominantes en son de Oeste a Este generalmente y existe afectación tanto a los Juarenses como a la población del área de Texas. Además, se reducirán considerablemente la dispersión de patógenos de los biosólidos almacenados por vectores como perros, gatos y otros animales que llegan a las casas, así como posible lixiviación de compuestos químicos a los acuíferos como el Bolsón del Hueco. Un beneficio importante será para las 15,000 hectáreas agrícolas y los productores y el ambiente, al reducir el uso de fertilizantes químicos en 100%, se aumentará el contenido de materia orgánica de los suelos con el consecuente beneficio a su productividad y economía de las familias del medio rural. Se espera que después de terminar este proyecto, todos los integrantes relacionados con la producción de lodos residuales, su transporte, aplicación, vigilancia legal y técnica, así como su seguimiento de disposición en suelos agrícolas, puedan continuar de manera sostenible con mejoras y extensión del programa hacia otras regiones fronterizas.

VI.2. Antecedentes

El conocimiento de la mineralización o descomposición de los biosólidos en el suelo es importante para el uso apropiado de los nutrientes vegetales y dosis de aplicación en campo. Por ejemplo, el nitrógeno es el elemento de mayor demanda por los cultivos y tiene relevancia económica y ambiental, ya que mediante la estimación de este nutriente se puede también calcular las dosis de aplicación, así como las necesidades de los cultivos, lo que ayuda para evitar el impacto negativo por lixiviación de nitratos al acuíferos debido a una aplicación excesiva. Durante el proceso de mineralización, los microorganismos del suelo transforman los compuestos orgánicos del nitrógeno, hidrolizándolos a formas inorgánicas más simples (NO_3^- y NH_4^+), que se asimilan más fácilmente por plantas y microorganismos (Zhang *et al.*, 2017; Celaya y Castellanos, 2011; Martín *et al.*, 2006; Abril *et al.*, 2001).

Los modelos empíricos permiten predecir los fenómenos de mineralización que ocurren en la naturaleza mediante el ajuste de ecuaciones matemáticas a los datos experimentales obtenidos en los procesos de incubación. Los primeros en describir estas ecuaciones fueron Stanford y Smith, (1972) postulando que la dinámica de la mineralización del nitrógeno orgánico en suelos nativos puede ser descrita por una cinética de primer orden: $N_t = N_0 (1 - e^{-kt})$, donde N_t = nitrógeno mineralizado en el tiempo, N_0 = nitrógeno orgánico potencialmente mineralizable, k = constante de mineralización (d^{-1}) y t = tiempo (Silva *et al.*, 2013).

Flores *et al.*, (2010) realizaron un estudio sobre mineralización de nitrógeno en biosólidos estabilizados con cal. Se realizó en dos sitios del Valle de Juárez en suelos de textura arenosa y arcillosa. Los tratamientos consistieron en tres dosis de biosólidos con base en NTK: 200, 400 y 600 kg ha^{-1} y un testigo sin biosólidos. Se realizó la técnica de mineralización de bolsas con resina de intercambio iónico en cilindros de aluminio. Los periodos de incubación de los cilindros fueron 26, 46, 84, 117 y 190 días. Las concentraciones de nitrógeno mineralizado neto acumulado, obtenidas en el suelo arenoso se observaron similares entre tratamientos incluyendo al testigo. La dosis de biosólidos de 600 kg ha^{-1} produjo la más alta mineralización de nitrógeno en los suelos de arcilla y franco, pero en el sitio de arena no se encontró diferencia significativa. El porcentaje de nitrógeno mineralizado con el método de las resinas sintéticas estuvo entre 3% y 7% para las dosis evaluadas en los sitios San Isidro y UACJ-Arcilla.

Martín *et al.*, (2006) llevaron a cabo estudios de mineralización de nitrógeno utilizando tres tipos de suelo, arenoso arcilloso (S1), franco arcilloso (S2) y un control de arena de mar de grano fino (S3). Se mezcló biosólidos con los suelos en cantidades de 0, 15, 30, 60 t ha^{-1} . Los suelos se incubaron a 35 °C por 52 semanas. Para el S1, la mineralización del nitrógeno se ajustó en todas las dosis al mismo modelo $y = a + bX^c$, comprobándose por medio del estudio de paralelismo que existen diferencias significativas entre todas las dosis. Para el S2, se obtuvieron diferentes modelos según la dosis, para 0 y 15 t ha^{-1} el modelo $y = a + bx + ce^{-x}$ y para 0 y 30 t ha^{-1} fue $y = a + bx^{0.5} + ce^{-x}$. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) al realizar el estudio de paralelismo entre las dosis 0 y 15 t ha^{-1} como para 30 y 60 t ha^{-1} . Para el S3 el modelo fue $y = a + bx + ce^{-x}$, mostrando que no existen diferencias significativas en las dosis de 0 y 15 t ha^{-1} , las dosis restantes presentaron diferencias significativas entre sí. En conclusión, al aumentar la dosis de biosólidos se obtienen mayores cantidades de N-NO_3^- y N-NH_4^+ , siendo el mayor valor de

nitrógeno en la semana 52 para la dosis de 60 t ha^{-1} en el S1 con 886.48 mg de nitrógeno por kg de suelo, seguido por el S2 con 571.54 mg de nitrógeno por kg de suelo. Además la liberación de N-NO_3^- desde el lodo secado térmico al suelo fue influenciada por la textura del suelo.

Silva et al., (2013) evaluaron la mineralización de los biosólidos de una PTAR, mediante el ajuste de modelos de regresión. Realizaron un seguimiento de N-NH_4^+ , N-NO_3^- y N-NO_2^- durante 126 días para tres tipos de biosólidos: deshidratados, secado térmicamente y alcalinizado, los cuales fueron aplicados en suelo a dosis de 35.4 , 36.4 y 54.5 t ha^{-1} respectivamente. Los resultados mostraron que el modelo parabólico propuesto por Broadbent presentó el mejor ajuste para describir el proceso de mineralización del suelo evaluado. El modelo de Stanford y Smith se mostró como una segunda opción de modelación, permitiendo corroborar el incremento de nitrógeno orgánico (N_0) cuando se aplicó biosólidos y el incremento de la mineralización con relación al testigo.

Estos antecedentes permiten deducir que las tasas de mineralización de biosólidos deben calcularse para cada región productiva porque las condiciones de suelo y clima son diferentes. Por ello las dosis de aplicación deben ajustarse al criterio de agrónomo donde no se aplique en exceso pero a la vez se mantenga la productividad de los cultivos y la rentabilidad para los productores. También, la parte de educación y extensión en materia de biosólidos son factores clave para lograr un programa de disposición sustentable en la región.

VII. Objetivos:

- a) Determinar la tasa de mineralización o descomposición de biosólidos en diferentes tipos de suelo para mejorar los cálculos de dosis de aplicación y conocer los efectos residuales de incorporación de materia orgánica, nutrientes, metales, entre otros factores.
- b) Dar capacitación a los agricultores y técnicos sobre la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas, que incluya aspectos sobre legislación en materia de lodos residuales o biosólidos, muestreo de suelos e interpretación de análisis químico y físico, cálculo de dosis agronómicas de aplicación, transportación, aplicación e incorporación de biosólidos en suelos agrícolas, técnicas de cuidado ambiental de suelo, agua y cultivos.
- c) Utilizar estrategias de difusión del programa como notas periodísticas, televisión, radio, documentales, trípticos, publicaciones técnicas y para el público en general, lo cual apoyara la educación a diferentes sectores de la sociedad, gobiernos y empresas en los cuidados y uso apropiado de biosólidos en los sistemas de producción agrícola regional.
- d) Estructurar y activar las funciones de los integrantes de la Comisión de Utilización de Biosólidos para esta región, lo cual apoyará la vigilancia del uso apropiado de estos materiales, permitirá gestionar la adquisición de máquinas esparcidoras de biosólidos, entre otros apoyos para fomentar un programa eficiente y sustentable.

VIII. Estrategia del Proyecto:

Dado que la realización de cursos de capacitación incluye una logística de lugares y tiempos, los cuales son factores considerados críticos principalmente cuando la audiencia son agricultores, técnicos, funcionarios y público en general que resulta difícil agruparlos. Por ello, en este proyecto una estrategia consistió en que los cursos y talleres de biosólidos se impartieran en las reuniones de los Consejos Distritales de Desarrollo Rural organizados por la Secretaría de Agricultura (SAGARPA). Es importante resaltar que durante las sesiones de agricultores, técnicos y funcionarios se divulgó la información de biosólidos mediante conferencias tipo curso breve, con discusión y análisis entre los asistentes sobre el seguimiento del programa de uso de biosólidos en agricultura. Además, se llevó a cabo una distribución de publicaciones en cada sesión, se registró la asistencia, comentarios y/o retroalimentación de mejoras al proceso de aplicaciones en campo. **Esta estrategia** o modalidad permitió tener una estrecha relación de comunicación con los representantes del sector agropecuario y ambiental de la región, lo cual dio **ventajas** a la realización de cursos formales donde se dificulta contar con audiencia clave en tiempo y forma para el éxito de la difusión y adopción de biosólidos con fines productivos.

Otra **estrategia** consistió en aprovechar los foros del sector agronómico de la localidad para difundir la información del proyecto e impactar como capacitación en los técnicos que dan asistencia a los agricultores de la región. También, la asistencia de investigadores del proyecto, así como de los alumnos tesistas a los eventos académicos y científicos, fue una estrategia de difusión de la información a un variado tipo de audiencia incluido público en general. La participación del Director del proyecto en programas de televisión, entrevistas para los periódicos, la difusión de información en foros diversos como en el grupo del aire y de cultura del agua, entre otros, resultaron con buena efectividad al dar a conocer la necesidad de impulsar el programa de biosólidos.

Con relación a los principales obstáculos en el proyecto, se puede indicar en que para incrementar la aplicación y disposición de los biosólidos en las parcelas agrícolas, la limitante consistió en que solo se tiene una maquina esparcidora, la cual es muy antigua pues fue adquirida hace 18 años, por ello y el escaso mantenimiento ha tenido fallas mecánicas o de llantas en pésimas condiciones. Además, otro asunto importante es que para la coordinación entre las plantas de tratamiento de aguas residuales y los agricultores requieren de alguien que lleve la coordinación del programa de aplicaciones, lo que incluye el transporte de biosólidos, cálculos de dosis agronómicas, selección de terrenos y cultivos, aplicación e incorporación de los biosólidos en los suelos agrícolas. Otro obstáculo importante fue la participación de cada representante de las dependencias gubernamentales para aceptar su responsabilidad específica en la Comisión de Uso de Biosólidos, ya que algunos argumentaron que requerían autorización de oficinas centrales en la ciudad de Chihuahua o desde la Ciudad de México.

IX. Metodología o descripción de las tareas realizadas

Esta sección de materiales y métodos se presenta conforme los cuatro objetivos del proyecto:

IX.1. Determinación de la tasa de mineralización o descomposición de biosólidos

Esta parte del proyecto fue de investigación para conocer la proporción de biosólido que se transforma en nutrientes y pueden ser disponibles a los cultivos agrícolas. Para lograr este objetivo, se llevaron a cabo cuatro experimentos y muestreos de campo en parcelas comerciales tratadas con biosólidos para analizar en suelo y planta los efectos recientes y residuales, incluido la aportación de metales pesados al suelo y la concentración en grano de trigo. Dos experimentos fueron en condiciones de campo y dos en condiciones de invernadero.

IX.1.1. Experimentos de mineralización en campo.

Los dos experimentos de campo fueron instalados en parcelas agrícolas del Valle de Juárez, Chihuahua (Figura 1). La colocación de los ensayos fue en el sitio San Agustín, Mpo. Juárez (Latitud 31°32'02.01"N; Longitud 106°15'38.26"O) y en el Rancho de la UACJ en el Mpo. Praxedis G. Guerrero (Latitud 31°21'07.3"N; Longitud 106°00'08.5"O).



Figura 1. Ubicación de los sitios de experimentos con resinas.

Preparación de las resinas para coleccionar el nitrógeno mineralizado. En un recipiente de plástico se mezclaron partes iguales de las resinas de intercambio iónico (aniónicas y catiónicas) de la marca *Sybron Chemicals*. Con una balanza granataria se pesaron 20 g de resinas sintéticas y se depositaron en bolsas de nylon. La preparación de unidades experimentales fue con 20 cilindros de 15 cm de largo x 5 cm de diámetro en cada experimento, estos se llenaron con una mezcla de suelo más biosólido con dosis de 0, 20, 40 y 60 t/ha base húmeda, equivalente a 0, 3.772 g, 7.544 g y 11.316 g en base seca, respectivamente. Estas dosis se basaron en las cantidades que pueden aplicarse comercialmente si exceder una dosis agronómica para diferentes cultivos y suelos (Flores et al., 2015). En la parte inferior de cada tubo se colocaron las bolsas de nylon que contenían las resinas sintéticas y se sujetaron con cinta adhesiva en la base de cada cilindro, dejando espacio libre para que drenara el flujo de agua por la parte superior (Figura 2).



Figura 2. De izquierda a derecha se muestran el cilindro de aluminio con la bolsa resina sujeta con cinta adhesiva; bolsa de nylon con mezcla de resinas; la resina catiónica color café, y la resina aniónica color amarillo.

Los cilindros fueron colocados de forma aleatoria conforme al diseño experimental en el suelo a 15 cm de profundidad, en dos sitios experimentales (20 cilindros en cada sitio). El sitio uno corresponde a una parcela donde se encuentran sembrados nogales (San Isidro), además en esta época se sembró sorgo en dicha parcela, el tipo de suelo correspondió a un franco-arenoso. La segunda parcela correspondió al Rancho de la UACJ en donde se sembró algodón y el suelo fue franco-arcilloso (Figura 3).

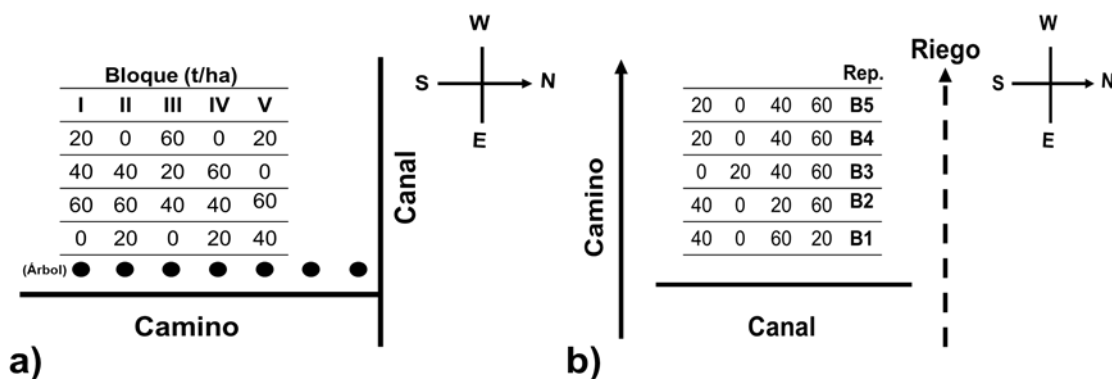


Figura 3. a) Distribución de los cilindros (dosis biosólido) en sitio San Agustín. b) Distribución de los cilindros en parcela del Rancho UACJ, Praxedis.

La temperatura del suelo es importante en la actividad microbiana del suelo, por ello con un termómetro para suelo marca Taylor se registró la temperatura cada mes durante los cambios de resinas. Se realizó un primer riego a los cilindros con aguas residuales tratadas antes de la colocación en campo para estar acorde al manejo de campo. Posteriormente, el riego de los cilindros fue conforme a la fecha en el que se hizo el riego de parcelas en campo por los agricultores. A partir de la fecha de instalación de los cilindros se asignó un periodo de incubación de 30 días, después de cumplir dicho periodo, las bolsas con las resinas sintéticas se remplazaron por nuevas y los cilindros se colocaron de nuevo en el mismo orificio del suelo para medir *in situ* el nitrógeno mineralizado en condiciones de campo, hasta completar cuatro periodos de incubación. Los tubos permanecieron abiertos de la parte superior para permitir el flujo libre de agua y gases, de esta manera los productos de la mineralización se movieron a través de la columna de suelo y fueron retenidos en las resinas. Las resinas colectadas se transportaron en hieleras del campo al laboratorio y se almacenaron en un congelador para su posterior análisis químico. Cada resina se empaquetó en bolsas de plástico rotuladas conforme al número del cilindro y se refrigeraron para su posterior análisis.

La extracción de N captado en las resinas consistió en que cada bolsa de resina sintética se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, previamente rotulado, con 50 mL de KCl a 2N. A cada matraz Erlenmeyer se le colocó un tapón de plástico y se pusieron en un agitador de vaivén (Eberbech) a 140 rpm durante 30 minutos a 20°C. Posteriormente, se filtró el contenido en cada matraz utilizando embudos de plástico y papel filtro Walthman número 41, se colectó el filtrado en un recipiente de plástico de 150 mL. Este proceso se repitió tres veces.

El análisis de nitrógeno inorgánico ($N-NO_3^-$) fue mediante un auto analizador de la marca SEAL AutoAnalyzer 3, que se basa en un sistema de destilación y análisis colorimétrico a través de un flujo de aire segmentado. Los datos se registrarán en el programa computacional llamado Autoanalyzer control and evaluation software for all Continuous Flow Analyzers. Además, se realizó el análisis de $N-NH_4^+$ y $N-NO_3^-$ de las resinas en un destilador Kjeldahl (Labconco Rapidstill II), para ello se colocaron 20 mL del filtrado (con una probeta) en el tubo de destilación más una medida de MgO. Para recolectar 50 mL de destilado se colocó en un vaso de precipitado de 100 mL, 10 mL de ácido bórico. Se tituló con H_2SO_4 0.005 N, hasta que viró de verde a rosa pálido. En el mismo tubo se realizó la destilación para NO_3^- , agregando una medida de aleación de Devarda, se recolectarán 50 mL de destilado y se tituló con H_2SO_4 0.005 N hasta el vire de color (Aguilar et al., 1987).

Después de los cinco meses (139 días) de incubación en el experimento de mineralización de N en campo se recolectaron los cilindros, se etiquetaron y se trasladaron al laboratorio correctamente. Posteriormente se retiró el suelo, se puso a secar y se molió en un molino marca Humboldt, este suelo fue colocado en bolsas de plástico para su posterior análisis. La extracción de N en suelo fue con KCl 2N, para ello se pesaron 5 g de suelo de cada muestra y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de plástico, a estos matraces se le agregó 50 mL de KCl 2N, se les colocó un tapón de plástico y se pusieron en agitación por una hora. Trascorrida la hora de agitación los matraces se dejaron reposar por 15 minutos para que el suelo precipitara. Se filtró la solución y se guardó en frascos para su posterior análisis.

El análisis de N en destilador Kjeldahl fue mediante una alícuota de 20 mL de la solución de muestra filtrada que se colocó en tubos Kjeldahl. Para la extracción de NH_4^+ se agregó una medida de MgO y se destiló por cinco minutos. Para la extracción de NO_3^- se agregó una medida de aleación de Devarda y se destiló por cinco minutos. Estos dos procedimientos se realizaron en un mismo tubo (Aguilar et al., 1987).

El análisis de nitrógeno total Kjeldahl (NTK) del suelo consistió en agregar 1 g de suelo a cada tubo Kjeldahl, una pastilla de ST-AUTO Kjeldahl Digestion Mixture (1.5 kg de K_2SO_4 + 0.015 g Se) y dos perlas de vidrio para controlar la ebullición durante la digestión a alta temperatura. Se agregó además un blanco y un estándar (0.05 g de glicina). Los tubos fueron colocados en el digestor (Labconco) en la campana de flujo laminar y con una micropipeta se le adicionaron 6 mL de H_2SO_4 concentrado a cada tubo. Posteriormente se encendió el digestor a una temperatura de 165 °C por una hora. Transcurrido el tiempo se aumentó la temperatura a 375 °C por dos horas (el color de la solución tornó a un verde claro cristalino o amarillento). Trascurrido el tiempo de digestión se apagó el digestor y se dejaron enfriar los tubos. Una vez fríos los tubos Kjeldahl se le agregó 20 mL de agua destilada y se dio vortex para mezclar la solución. A cada tubo se le agregaron 40 mL de NaOH 10 N y se colocó en destilación por 5 minutos. El destilado se recolectó en un vaso de precipitado con 10 mL de ácido bórico. Se recolectaron 50 mL de destilado, el cual se tituló con H_2SO_4 0.05 N estandarizado. Una vez que se realizó la destilación, el destilado se recolectó en vasos de precipitados de 80 mL se tituló con ácido H_2SO_4 0.005 N. La cantidad de ácido fue anotada para los cálculos conforme la formula siguiente:

$$N - \text{NH}_4^+ \text{ y } N - \text{NO}_3^- \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \right) = \left(\text{mLH}_2\text{SO}_4 - B \right) \left(14 \frac{1000 \text{ mg}}{\text{mol}} \right) \left(N \frac{\text{mol}}{1000 \text{ mL}} \right) \left(\frac{1}{\text{Alic}} \right) \left(\frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \right) \left(\frac{\text{KCl mL}}{\text{Suelo g}} \right) \left(\frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} \right) \left(\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \right)$$

Dónde:

mL H_2SO_4 = mililitros de ácido gastados en la titulación de la muestra.

B = mililitros de H_2SO_4 gastados al titular el blanco.

N = normalidad del H_2SO_4 .

Alic = alícuota de la muestra utilizada.

KCl mL = mililitros de KCl recolectados de la extracción.

Suelo (g) = peso del suelo contenido en los cilindros.

La alcalinidad del suelo en los cilindros se midió con el método de relación 1:2 (suelo/agua), para ello se pesaron 10 g de suelo de cada cilindro para el análisis de pH (20 muestras de suelo arenoso y 20 de suelo arcilloso), el suelo se colocó en frascos de plástico y se añadió 20 mL de agua destilada. Se agitó en un agitador de vaivén (Eberbach) por dos minutos, después se dejó reposar 10 minutos. Este procedimiento se realizó tres veces (IRENAT, 2000). Se analizó el pH con un medidor de pH (Educational HANNA HI 207).

La salinidad del suelo de los cilindros se analizó mediante el método de relación 1:5 (suelo/agua), para ello se pesaron 10 g de suelo de cada cilindro (20 muestras de suelo arcilloso y 20 de suelo arenoso), el suelo se colocó en frascos de plástico y se le añadió 50 mL de agua destilada. Se agitó en un agitador de vaivén por 10 minutos y se dejó reposar por 24 horas. Al día siguiente se midió la conductividad eléctrica con un conductivímetro (Thermo Orion 3 STAR). El resultado se multiplicó por cinco para aproximar el extracto de saturación de suelo y expresar el resultado en dS/m (IRENAT, 2000).

Además de los experimentos de cilindros para evaluar la mineralización de N, el presente estudio incluyó el monitoreo del contenido de proteína en el grano de trigo en parcelas comerciales que habían sido tratadas en ciclo anterior del cultivo (2015), ya que la aplicación de biosólidos al aumentar la materia orgánica y el N total del suelo, pueden tener efecto en la proteína del trigo. Por esta razón, se consideró la etapa II enfocada al muestreo de parcelas comerciales de trigo con y sin aplicación de biosólidos. En esta etapa, se colectaron las muestras de espigas de trigo al azar de cinco parcelas con diferentes tipos de suelo (Figura 4 y Cuadro 1). Cada muestra consistió de 10 sub-muestras por parcela, es decir cinco repeticiones por parcela de 0.25 m² por cada tratamiento (con y sin biosólidos), para tener un total de 60 muestras de grano de trigo. Cada muestra es compuesta, ya que está formada por 5 sub-muestras. Una vez recolectadas las muestras de plantas de trigo, se trasladaron al invernadero de ICB, donde se realizaron mediciones de peso de biomasa que incluyó tallos, hojas y espigas de trigo. De igual forma algunas variables agronómicas de la planta como el número de plantas, altura de cinco plantas al azar, longitud de espiga, el número de granos por espiga y rendimiento de grano.

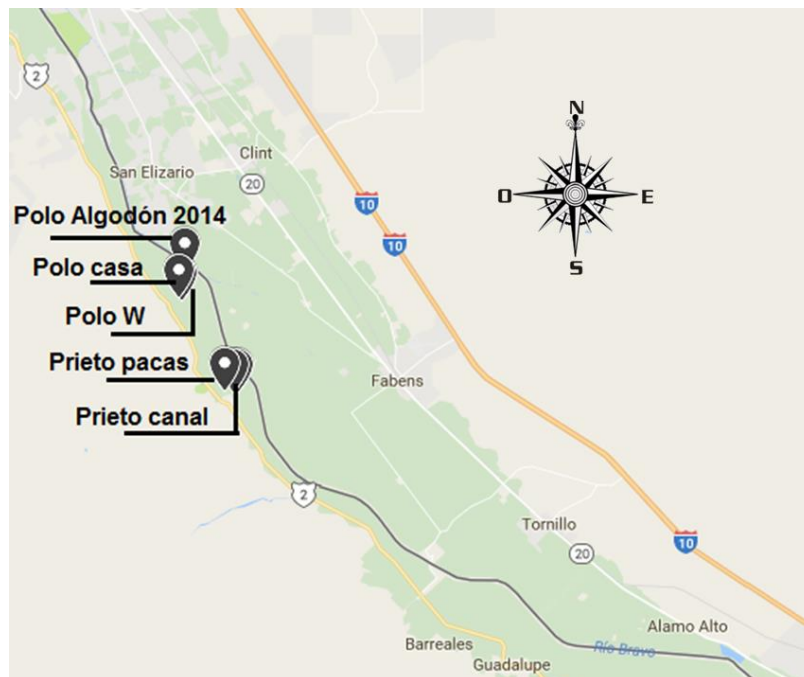


Figura 4. Ubicación de los cinco sitios de parcelas comerciales tratadas con biosólidos en 2015 para el análisis de proteína en el grano del trigo.

Cuadro 1. Coordenadas de los sitios muestreados para el análisis de proteína en grano de trigo.

SITIO	LATITUD	LONGITUD
POLO-CASA	31° 32' 01.30" N	106° 15'32.44" O
POLO-W	31° 32'06.90" N	106° 15'36.77" O
PRIETO-CANAL	31° 29'53.32" N	106° 14'18.24" O
PRIETO-PACAS	31° 29'52.14" N	106° 14'01.10" O
POLO-ALGODÓN 2014	31° 32'44" N	106° 15'28.22" O

Se analizó la textura del suelo con el método de Boyoucos (NOM-021 SEMARNAT-2002). Para ello se pesaron 50 g de suelo seco tamizado, se colocaron en una licuadora, se añadieron 150 mL de agua desionizada, 20 mL de NaPO₃ y esto se dejó reposar por 15 minutos, después se mezcló por 15 minutos. Esto se vertió en una probeta de 1000 mL. Se aforó con el hidrómetro dentro de la probeta. Se retiró el hidrómetro con cuidado y se agitó por 1 minuto, posteriormente se colocó de nuevo el hidrómetro por 40 segundos. Se tomó la lectura y temperatura. Se dejó reposar por 2 horas y se tomó la segunda lectura y temperatura sin agitar la solución, luego se realizaron los cálculos de porcentaje de arena, limo y arcilla.

El análisis de nitrógeno total Kjeldahl en el grano de trigo consistió en secar, moler y tamizar el grano de trigo, con un molino marca Retsch. El procedimiento fue igual que para la determinación de NTK en suelo de cilindros, solo que se agregó 0.1 g de muestra a cada tubo Kjeldahl. El factor de conversión a proteína es 6.24. También se llevó a cabo un análisis de NTK para los biosólidos que fueron utilizados en este experimento. Se colectó el biosólido que se secó a 65°C en una estufa durante 5 días, se molió en mortero de porcelana y se tamizó a 1 mm. El análisis de NTK se realizó con 0.1 g de muestra y los mismos reactivos y procedimientos que en el análisis de proteína en trigo (Aguilar et al., 1987).

Análisis estadístico.

Las variables registradas en planta, suelo y agua fueron analizadas mediante el análisis de varianza, pruebas de comparación de promedios Tukey, así como correlaciones entre ellas, utilizando el programa SPSS versión 23. El N potencialmente mineralizable (N₀) y la tasa constante de mineralización (k) fueron calculados con la utilización de una ecuación exponencial con los datos de N inorgánico determinados en las resinas de cada periodo de incubación:

$$N_m = N_0 (1 - e^{-k t})$$

Dónde:

N_m= cantidad de N mineralizado

N₀= N potencialmente mineralizable

K= tasa constante de mineralización

T= tiempo

La ecuación fue ajustada utilizando el método iterativo de Marquardt del procedimiento de ajuste no lineal y el programa estadístico SAS (SAS Institute Inc. 1999) SAS Online Doc., Version 22, Cary, NC: SAS Institute Inc.).



Figura 5. Alumnos e investigador de la UACJ participantes en el proyecto durante el muestreo de suelos de parcelas con aplicación de biosólidos.

IV.1.2. Experimentos de mineralización en invernadero.

El estudio se realizó en condiciones de invernadero en las instalaciones del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (ICB-UACJ) estableciendo dos experimentos en el periodo de agosto de 2017 a enero de 2018. Los experimentos se llevaron a cabo con suelo de un campo agrícola del ejido San Isidro en el “Valle de Juárez”, Chihuahua, ubicación geográfica: 31° 32' 5.4" N y 106° 15' 36.92" O, a 1107 msnm (Google earth. 2018). Los biosólidos utilizados fueron colectados en la planta tratadora de agua residual sur en Zaragoza, Ciudad Juárez. Tanto al suelo como a los biosólidos, se les realizaron análisis de caracterización: pH, conductividad eléctrica, textura, porcentaje de humedad, contenido de N inorgánico y Nitrógeno Total Kjeldhal.

La caracterización del suelo y biosólidos, así como la preparación de la muestra (secado, molienda y tamizado) se realizaron al colectar una muestra compuesta de un kg de suelo que se dejó secar a la sombra a temperatura ambiente durante tres días. También se tomaron tres muestras compuestas de biosólido se pesaron y se secaron en la estufa a una temperatura de 65° C durante tres días. Las muestras de suelo secas se molieron en un molino eléctrico marca Humboldt para obtener una muestra de suelo cribado a 2 mm. Mientras que los biosólidos se molieron en un mortero de porcelana y fueron cribados a 1 mm para realizar los análisis correspondientes.

La pasta de saturación de suelo fue preparada con 200 g de cada una de las muestras de suelo y dos muestras de biosólido, así cada muestra se colocó en un vaso de plástico de 1 L. Después se les añadió un volumen conocido de agua hasta lograr la saturación de cada muestra y se mezclaron durante 30 min para lograr disolver las sales de las muestras. Las muestras se dejaron reposar durante 24 h y la pasta obtenida se filtró utilizando bomba de vacío, así el extracto obtenido de cada muestra se colectó en un frasco de plástico con tapa y se almacenó para

analizar conductividad eléctrica y pH (NOM-021-SEMARNAT-2002). La textura, salinidad y pH del suelo se midieron conforme los métodos indicados anteriormente. El porcentaje de humedad del biosólido se determinó al tomar tres muestras de biosólidos húmedo, se pesaron y se registraron los datos. Después las muestras se secaron en la estufa a 65° C durante tres días, se volvieron a pesar y se registraron los datos. Se utilizó la siguiente ecuación para determinar el porcentaje de humedad.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso húmedo}} \times 100$$

Experimento 1(invernadero): Efecto de biosólidos en la respuesta agronómica de pasto bermuda (*C. dactylon L.*). Se colectaron plantas de *C. dactylon* de 10 cm de altura y 5 cm de raíz en un área cercana al invernadero en un jardín del Instituto de Ciencias Biomédicas, las plantas se homogeneizaron mediante poda de raíz y tallo en una charola con agua, posteriormente se trasplantaron en macetas con 2.5 kg de suelo. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar como se muestra en la Cuadro 5, los tratamientos a evaluar fueron las dosis de aplicación de biosólidos en las macetas (0, 20, 40, 60 t/ha con base en biosólido húmedo, lo cual correspondió a 0, 5, 10 y 15 t/ha en base a peso seco y se realizaron cinco repeticiones para cada uno de estos dando un total de 20 unidades experimentales. Las variables consideradas para determinar la respuesta agronómica fueron: altura de planta (longitud de los tallos), peso fresco, peso seco, índice de clorofila y proteína cruda.

Cálculo de las dosis de aplicación de biosólidos para cada tratamiento (Cuadro 2). Las dosis aplicadas se calcularon con base en el peso húmedo del biosólido y en el área de aplicación así se determinó la dosis de biosólido equivalente a cada tratamiento para el área de aplicación. Primero se calculó el área de las macetas utilizando la fórmula $A=\pi \times r^2$.

Cuadro 2. Cálculo de las dosis de biosólido aplicadas por tratamiento

Tratamiento (Kg/10,000 m ²)	Área de la maceta (m ²)	Dosis equivalente (Kg)	Dosis (g)
Control	0.01767	0	0
20000	0.01767	0.03534	35.34
40000	0.01767	0.07068	70.68
60000	0.01767	0.10602	106.02

La mezcla de la dosis de biosólido correspondiente a cada unidad experimental (maceta) con 2.5 kg de suelo se llevó a cabo al utilizar una bandeja y mezclar suelo y biosólido hasta homogeneizarlos. Una vez colocada la mezcla en cada maceta se procedió a realizar el trasplante del pasto bermuda (*C. dactylon L.*). Al establecer el experimento se realizó el primer riego que consistió en añadir a cada maceta 1 L de agua potable de la llave de uso común, para esto se utilizó una probeta. Posteriormente, se realizaron cinco riegos de 500 mL (uno cada tres semanas aprox.). Las macetas se pesaron antes de cada riego para calcular el porcentaje de humedad del suelo por gravimetría.

La primera poda del pasto (corte para cosecha) se llevó a cabo a los 15 días después del trasplante cortando las plantas para que quedaran a una altura de 13 cm. La segunda poda se realizó 30 días después de la primera poda (45 días después del trasplante) quedando las plantas con 10 cm de altura y la tercera poda se realizó 40 días después de la segunda poda (85 días después del trasplante) homogenizando la altura de las plantas a 15 cm. Para finalizar el experimento, 30 días después de la última poda (115 días después del trasplante) se registró la altura de planta y se extrajeron por completo de las macetas. El material vegetal que se cortó de cada planta y la planta extraída completamente se le denominó como cosecha, se colocaron en bolsas de papel canela, se etiquetaron y posteriormente se pesaron y estos datos se registraron como peso fresco, después se secaron en la estufa a 65° C durante 3 días y se volvieron a pesar, los datos se registraron como peso seco. También se registró la altura de la planta antes de cada poda y de la cosecha final.

La determinación del índice de clorofila (ICC) se realizó utilizando un medidor de clorofila portátil, el cual se apuntó hacia el área foliar de la planta durante unos segundos y se tomó la lectura. Se efectuaron dos observaciones (40 y 60 días después del trasplante) y en cada observación se registraron tres lecturas a cada una de las plantas y un promedio. La determinación de porcentaje de proteína cruda en plantas fue con el método de NTK que consistió en tres etapas: digestión, destilación y titulación (Aguilar et al., 1987).

Experimento 2 (Invernadero): Evaluación de técnicas de incubación para medir la mineralización del N utilizando resinas de intercambio iónico. Se diseñó un experimento que constó de dos etapas: la primera consistió en determinar la eficiencia de la capacidad de adsorción de las resinas de intercambio iónico y la eficiencia del extractante que en este caso fue cloruro de potasio (KCl 2N) que posteriormente se utilizaron en la etapa dos del experimento que consistió en colocar diferentes tipos de recipientes con suelo, dos tratamientos y con una trampa de resina para evaluarlos como métodos de incubación *in situ* para determinar la mineralización del nitrógeno de los biosólidos.

Se prepararon cuatro soluciones de 1 L de nitrato de amonio con una concentración de 180 mg/L de N. Se tomó una alícuota de 20 mL de cada solución y posteriormente a las primeras tres se les agregó una bolsa de resinas de 20 g y se colocaron en el agitador. La última solución se hizo pasar por una columna de 1.5 g de resina utilizando una bomba de flujo inverso (Figura 6). Después de cada hora se volvió a tomar una alícuota del mismo volumen que la inicial y este proceso se repitió cinco veces cada hora y dos veces más a las 24 y 48 horas. Al final se realizó el análisis de N inorgánico de cada alícuota y por diferencia se obtuvo la cantidad de N inorgánico de adsorbido por las resinas.

Para evaluar la eficiencia del extractante KCl 2N, cada una de las resinas utilizadas en las soluciones del experimento anterior fueron colocadas en matraces Erlenmeyer de 250 mL y se les añadió 50 mL de KCl 2 N y se pusieron en agitación durante 30 min. Posteriormente, se filtró y se colectó el extractante en un frasco de plástico. Este proceso se repitió cinco veces y a cada colectado se le analizó N inorgánico por separado. Se estableció un experimento en el que se compararon dos técnicas de incubación con trampa de resinas de intercambio iónico. El diseño experimental consistió en un diseño factorial de dos niveles y se hicieron cinco repeticiones de cada tratamiento (Figuras 7 y 8).

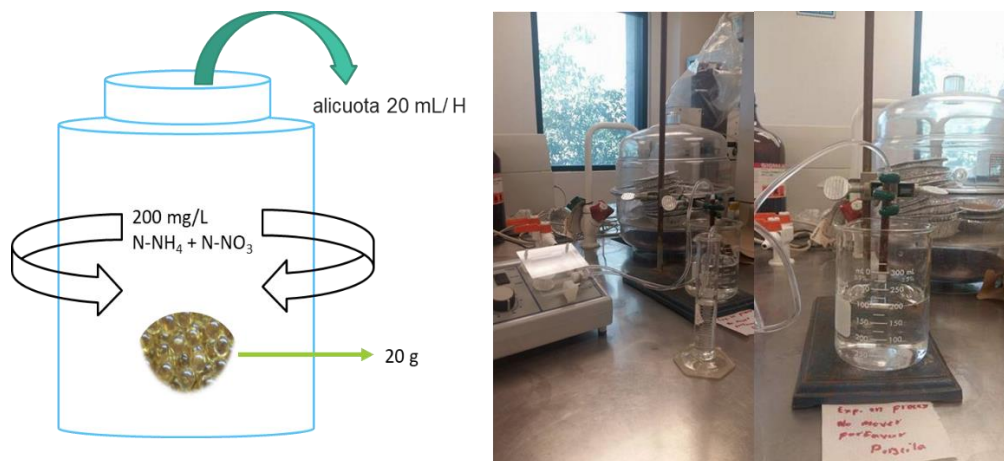


Figura 6. Diseño de los experimentos (a= Cinética de adsorción b=bomba de flujo inverso) para determinar capacidad de adsorción de las resinas de intercambio iónico.

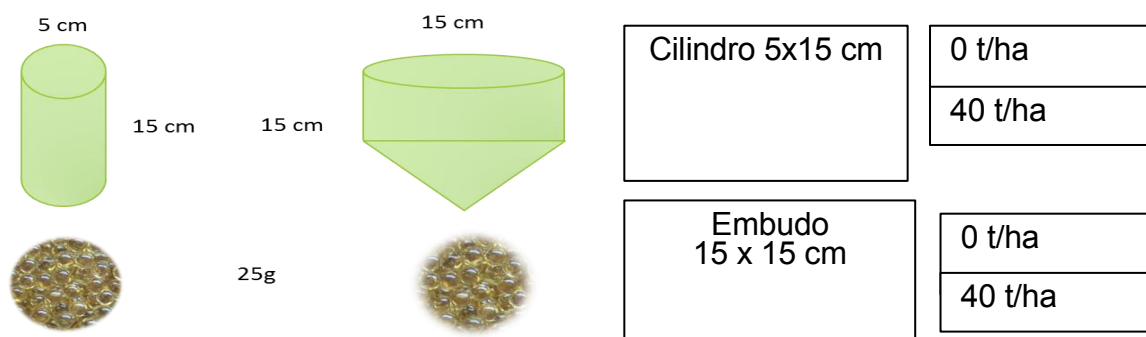


Figura 7. Diseño del experimento de comparación de técnicas para medir la mineralización de N.

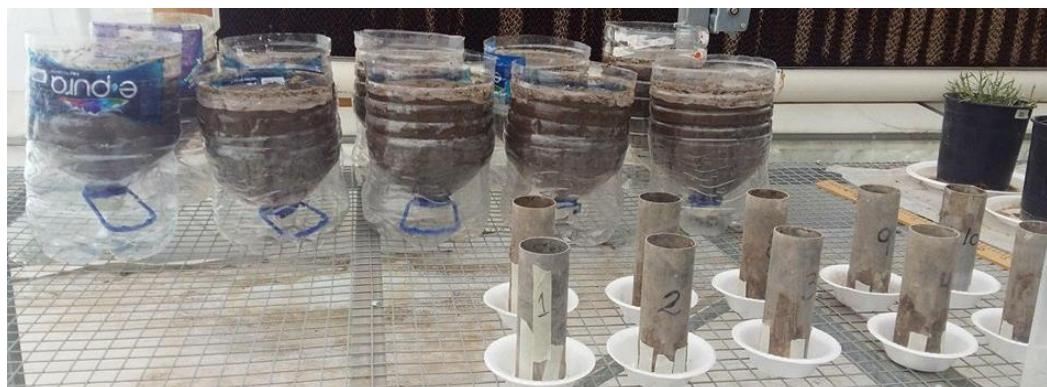


Figura 8. Establecimiento del experimento de evaluación de técnicas de incubación para medir mineralización de N: al fondo los embudos (15 x 15 cm) y al frente los cilindros (5 x 15 cm) La dosis de aplicación se calculó basándose en el área tanto del embudo como del cilindro y con base en el peso húmedo del biosólido (Cuadro 7).

Cuadro 3. Cálculo de las dosis de aplicación de biosólidos para el experimento de técnicas.

Técnica	Tratamiento (Kg/10,000 m2)	Área (m2)	Dosis equivalente (Kg)	Dosis (g)	peso seco (Kg)
Cilindro	40000	0.001767	0.007068	7.068	0.0018
Embudo	40000	0.0314	0.1256	125.6	0.0314

Los diez cilindros del experimento se llenaron con 232 g de suelo, a cinco cilindros se les agregó la dosis correspondiente de biosólido conforme el tratamiento (7 g de biosólido húmedo). En la parte de abajo del cilindro se colocó una bolsa de resinas de intercambio iónico de 25 g asegurada con cinta adhesiva para atrapar los iones nitratos y amonio generados en el proceso de mineralización o descomposición de la mezcla suelo con biosólido. Los diez embudos se llenaron con 4.6 kg de suelo y solo a cinco se agregó la dosis correspondiente al tratamiento (126 g de biosólido peso húmedo). En la parte de debajo de cada embudo se colocó una bolsa de resinas de intercambio iónico de 25 g asegurada con cinta adhesiva.

Los cilindros se irrigaron la primera vez con 100 mL de agua y las cuatro veces posteriores con 50 mL, los riegos fueron aplicados con una probeta de 50 mL. En el caso de los embudos, la primera irrigación de 2 L y los cuatro riegos posteriores fueron de 1 L aplicados con una probeta de 1 L. Los riegos se realizaron cada tres semanas después de la primera vez. El agua utilizada para el riego fue agua potable de uso común obtenida de la llave. Antes de cada riego se realizó el remplazo de la bolsa de resinas de intercambio iónico y las resinas anteriores se almacenaron en doble bolsa de plástico y se refrigeraron para posterior análisis. Al periodo transcurrido entre cada riego se le conoce como periodo de incubación. La determinación de $N-NO_3^-$ (nitrógeno proveniente de nitratos) y $N-NH_4^+$ (Nitrógeno proveniente del amonio) se realizó por arrastre de vapor en un equipo con titulación automática, en presencia de MgO (óxido de magnesio) y aleación de Devarda (Al, Cu y Zn) (Aguilar et al, 1987).

Al finalizar los experimentos, el suelo de cada unidad experimental se colocó en papel canela y se dejó secar a temperatura ambiente. Una vez seco se procedió con la molienda y el tamizado a 2 mm, y se almacenaron en bolsas de plástico en el laboratorio. Las partes de planta de pasto Bermuda (tallos y hojas) cosechadas en cada corte y la planta completa removida de la maceta al final, se secaron en la estufa a 65°C durante tres días, una vez secas se trituraron en el molino (Molino Retsch Modelo SK 100) y se almacenaron en bolsas de plástico en el laboratorio.

Extracción de N inorgánico de suelo con KCl 2N. Posteriormente, se tomaron 5 g de cada una de las muestras de suelo y se colocaron en matraces Erlenmeyer a los cuales se les agregó 50 mL de KCl 2N, se taparon con tapones de plástico y se colocaron en el agitador de vaivén (marca Eberbech) a 140 rpm por 30 minutos. El contenido se filtró utilizando embudos de plástico y papel filtro Walthman número 42, se colectó el filtrado en un recipiente de plástico y se almacenaron en el refrigerador. Extracción de N inorgánico de las resinas con KCl 2N. Cada bolsa de resinas de intercambio iónico se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, con 50 mL de KCl 2 N. A cada matraz se le colocó un tapón de plástico y se pusieron en un agitador de vaivén (marca Eberbech) a 140 rpm durante 30 min. Se filtró el contenido utilizando embudos de

plástico y papel filtro Walthman número 42, se colectó el filtrado en un recipiente de plástico de 250 mL. Este proceso se repitió cinco veces (Aguilar et al, 1987). El nitrógeno potencialmente mineralizable (N_0) y la tasa constante de mineralización (k) fueron calculados con una ecuación exponencial simple que se muestra a continuación con los datos de nitrógeno inorgánico determinados en las resinas de cada periodo de incubación (Stanford y Smith, 1972). Determinación del porcentaje de N mineralizado proveniente de biosólidos por el método de la diferencia de NTK en los dos experimentos. El porcentaje de mineralización de los biosólidos se calculó utilizando las diferencias de NTK del suelo sin tratamiento (NTK *sti*) al inicio del experimento y el NTK del suelo con tratamiento al final del experimento (NTK *scf*) y considerando el NTK aportado por la dosis de biosólido aplicada (NTK *aplicado*) utilizando como unidad mg NTK/kg de suelo (Flores et al, 2010). Los cálculos se realizaron conforme la siguiente formula:

$$\% N \text{ min (Bios)} = (NTK \text{ s f} - NTK \text{ sti}) * \frac{100}{NTK \text{ aplicado} + NTK \text{ suelo ti}}$$

Se realizaron análisis de varianza y pruebas de promedios con la técnica Tukey y el software estadístico SPSS versión 24.0 para determinar diferencias significativas entre los tratamientos con relación a la respuesta agronómica y variables de suelo como N inorgánico y N total.

IV.1.3. Estudio sobre metales pesados en grano de trigo cosechado en suelos tratados con biosólidos.

El Sitio de estudio comprende las áreas agrícolas del Valle de Juárez, Chihuahua (Figura 9). En la cual se seleccionaron parcelas las cuales son irrigadas con aguas residuales y tratadas con biosólidos. De estas parcelas se tomaron muestras de suelo y trigo.

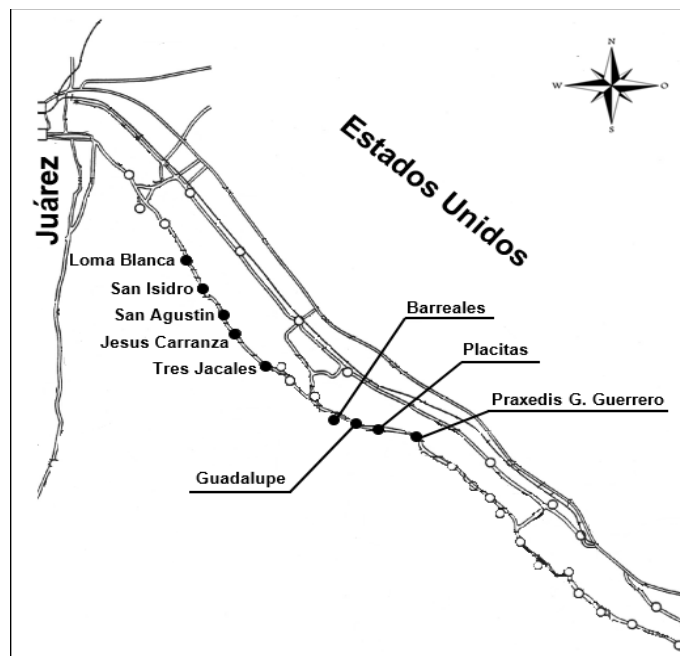


Figura 9. Valle de Juárez. Imagen modificada de Córdova et al. 2006.

Muestras en campo. Se seleccionaron parcelas tratadas con y sin biosólidos para la etapa I, mientras que otro grupo de parcelas sin biosólidos (etapa II), pero irrigadas con aguas residuales fueron también analizadas. El Efecto de biosólidos en la concentración de metales pesados, en el grano de trigo fue realizado al coleccionar muestras de trigo en parcelas con diferentes tipos de suelo, a considerarse como un diseño completamente al azar. Cada muestra consistió de 10 submuestras por parcela, es decir cinco repeticiones por parcela de 0.25 m² por cada tratamiento (con y sin biosólidos), para tener un total de 60 muestras de trigo. Se seleccionaron parcelas tratadas con y sin biosólidos e irrigadas con aguas residuales. Se muestrearon parcelas de diferente tipo de manejo, en las cuales se cultivaba trigo, las cuales se muestran en el Cuadro 4 y Figuras 10,11 y 12.



Figura 10. Mapa del Valle de Juárez en donde se muestran las áreas muestreadas.

Cuadro 4. Coordenadas geográficas de sitios muestreados durante la etapa I.

Núm. Parcela	Sitio	Dosis Biosólido (t/ha)	Latitud	Longitud
1	Polo-casa	30	31° 32.006' N	106° 15.540' O
2	Prieto-pacas	80	31° 29.854' N	106° 14.075' O
3	Polo-W	30	31° 32.100' N	106° 15.608' O
4	Prieto-canal	80	31° 29.881' N	106° 14.313' O
5	Polo-Algodón 2014	21	31° 32.732' N	106° 15.430' O
6	Balo-2015	54	31° 28.28' N	106° 1.628' O
7	Polo-2015	30	31° 31.919' N	106° 15.728' O

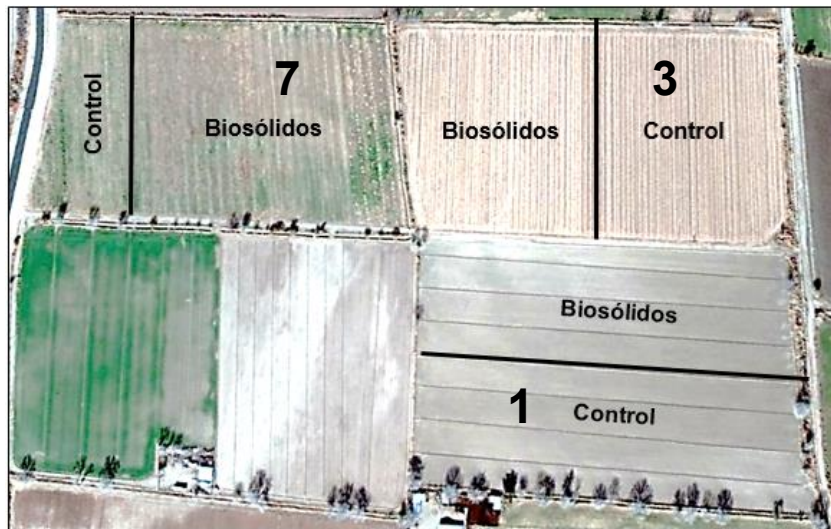


Figura 11. Parcela tratada con biosólidos en el Valle de Juárez (San Isidro): 1) Polo-casa (abajo derecha); 3) Polo-W (arriba derecha); 7) Polo-2015 trigo (arriba izquierda).

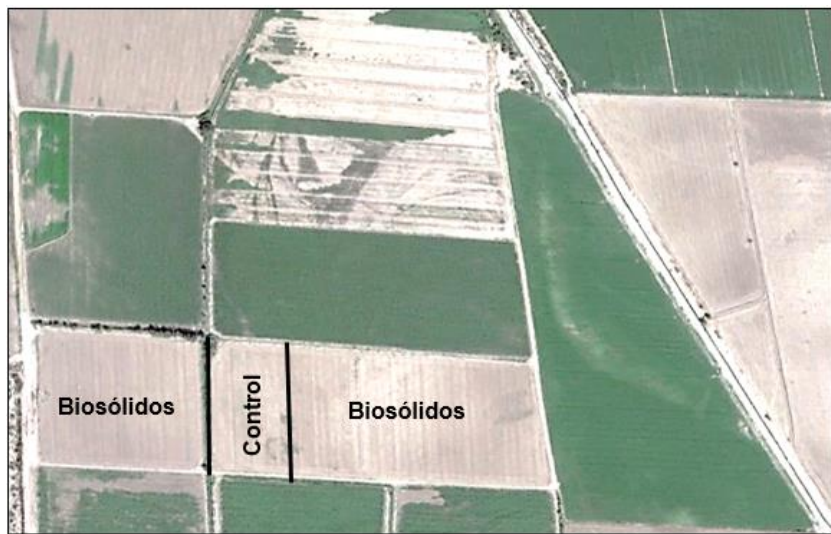


Figura 12. Parcela tratada con biosólidos en el Valle de Juárez (Mpo. Guadalupe). 6) Balo-2015, trigo.

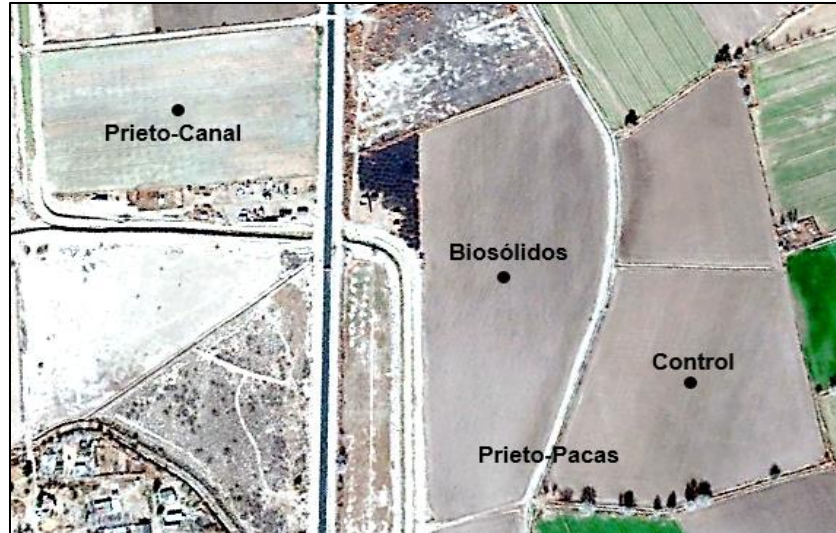


Figura 13. Parcela tratada con biosólidos en el Valle de Juárez (Ejido Jesus Carranza). 2) Prieto-pacas (derecha); 4) prieto canal (izquierda).

Una vez recolectadas las muestras de plantas de trigo, estas fueron llevadas al invernadero de ICB, donde se llevaron a cabo distintas mediciones antes de procesarlas, como fue el peso de biomasa que incluyo tallos, hojas y espigas de trigo. De igual forma, algunas variables agronómicas de la planta como el número de plantas, altura de cinco plantas al azar, longitud de espiga, el número de granos por espiga y rendimiento de grano. Se procesó cada una de las muestras, para al final tener solamente el grano. El cual fue llevado al laboratorio, se pesaron 200 g de grano de trigo, el cual fue lavado con agua de la llave y posteriormente con agua destilada (por triplicado) y colocado en un horno a 65 °C por 24 horas o hasta que estuviera completamente seco. Posteriormente el grano de trigo fue molido y tamizado finamente con una malla menor a 0.5 mm, después se colocó en bolsas de papel con su respectiva etiqueta y almacenado en un lugar seco, para posteriormente llevar a cabo los análisis correspondientes.

El suelo de las parcelas fue colectado con una barrena de acero inoxidable (para evitar contaminación de metales), se tomaron cinco sub-muestras de suelo a una profundidad de 0 a 30 cm para formar cada muestra. Las muestras colectadas fueron colocadas en bolsas de plástico ziploc y etiquetadas correctamente. Las muestras se llevaron al laboratorio, donde se dejaron secar por varios días a la sombra sobre papel canela en el invernadero, una vez seco se realizó la molienda y tamizado a 2 mm. Luego fueron almacenadas y etiquetadas apropiadamente para su análisis químico.

Variabes analizadas:

Grano: Se analizaron los metales pesados Cd, Cu, Cr, Pb, Ni y Zn.

Suelo: Se analizó textura, conductividad eléctrica, pH, y metales pesados.

Análisis de metales pesados en grano de trigo.

La digestión ácida vía seca del grano de trigo se llevó a cabo al pesar 10 g de muestra de trigo, el cual había sido previamente secado en horno y molido. Cada una de las muestras fue colocada en un crisol de porcelana con su respectiva etiqueta. Es importante señalar que todo el material utilizado para este procedimiento fue puesto a remojar en HNO₃ 5% durante 24 horas. Posteriormente, las muestras fueron calcinadas en una placa de calentamiento Thermolyne Cimarec 2 a una temperatura de 100 °C hasta que cesaron los humos. Una vez que todas las muestras estaban completamente calcinadas, estas fueron situadas en una mufla marca Felisa, la temperatura fue elevando gradualmente hasta alcanzar una temperatura de 800 °C, la cual fue mantenida durante cuatro horas. Se esperó hasta que las muestras estuvieran completamente frías para poder retirarlas de la mufla, después las cenizas obtenidas fueron disueltas completamente en 5 mL de ácido clorhídrico 1N y transferidas a un matraz de 25 mL, para evitar la presencia de partículas o materia insoluble se utilizó un embudo de plástico y papel filtro Whatman 125 nm (NOM-117-SSA1-1994). Las muestras fueron llevadas al aforo utilizando agua destilada (1.79 µs/cm) y mezcladas. Después fueron trasladadas a contenedores de plástico previamente lavados con agua acidificada para eliminación de contaminantes.

La digestión ácida vía húmeda para el suelo y biosólidos consistió en lo siguiente: las muestras fueron secadas y tamizadas previamente. Posteriormente se pesó 1 g de suelo por muestra y se colocó en un tubo de digestión junto con dos perlas de ebullición, los tubos se colocaron en un bloque de digestión. A cada tubo se le adiciono 5 mL de HNO₃, el cual se dejó durante 24 horas dando inicio a una pre-digestión. Una vez transcurrido dicho tiempo, se añadieron 5 mL de HClO₄ al 60 por ciento, para dar inicio a la digestión. El digestor se encendió a una temperatura inicial de 80 °C (el HNO₃ ebulle a 83 °C), esta temperatura se mantuvo durante un tiempo de 30 minutos para permitir el reflujo. Al finalizar este tiempo, la temperatura se ajustó a 120 °C y se mantuvo nuevamente por 30 minutos, para esperar que el reflujo disminuyera. Pasado este tiempo, la temperatura se elevó a 160 °C y mantenida durante 30 minutos. Una vez que transcurrió dicho tiempo, la temperatura fue bajada a 140 °C y mantenida durante 3 horas, en este punto se observa que los vapores van de un color café oscuro hasta llegar a un extracto amarillo claro. Al finalizar la digestión se esperó a que las muestras estuvieran completamente frías, para posteriormente ser transferidas a un matraz volumétrico de 50 mL, esto se realizó con ayuda de un embudo de plástico y un papel filtro Whatman 125 nm, al finalizar cada muestra fue llevada a la marca utilizando agua destilada.

La determinación de metales pesados se llevó a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro de la marca Perkin Elmer modelo Analyst 200. Para comenzar con el análisis de las muestras, lo primero que se hizo fue verificar las condiciones específicas de cada elemento que se pretendía analizar. Una vez que las condiciones habían sido elegidas, se realizó la calibración del aparato utilizando una curva de calibración preparada a partir de una solución madre. Así se procedió a analizar las muestras, una vez que se tenían los datos que proporciona el instrumento, se llevaron a cabo los cálculos necesarios para determinar la concentración en mg kg⁻¹.

Muestreo de trigo en parcelas comerciales irrigadas con agua residual y sin biosólidos. Se realizó un muestreo de 12 parcelas (Cuadro 5) las cuales no fueron tratadas con biosólidos (Figura 14), pero irrigadas con aguas residuales, las cuales sirvieron de comparación con las que fueron tratadas con biosólidos. Además, se consideraron dos muestras de trigo de otras regiones como testigos de comparación: 1-Ascensión y 2-Janos, Chihuahua. Cada muestra fue compuesta, ya que está formada por 5 sub-muestras. En estas parcelas se colectaron muestras de suelo compuestas a una profundidad de 0 a 30 cm, el cual fue secado, molido y tamizado para su análisis químico y físico.



Figura 14. Mapa del Valle de Juárez con los sitios muestreados durante la etapa II.

Cuadro 5. Coordenadas geográficas de los sitios muestreados durante la etapa II.

Sitio	Descripción	Latitud	Longitud
1	Loma Blanca	31° 3.319' N	106° 17.940' O
2	Loma Blanca	31° 34.670' N	106° 17.567' O
3	San Isidro	31° 32.725' N	106° 16.369' O
4	3 jacales	31° 28.829' N	106° 13.555' O
5	Caseta	31° 24.829' N	106° 8.800' O
6	Balo-2015	31° 21.201' N	106° 1.676' O
7	Rancho UACJ	31° 21.122' N	106° 0.142' O
8	Placitas	31° 22.406' N	106° 2.258' O
9	Armandino	31° 22.810' N	106° 3.953' O
10	Barreales	31° 24.183' N	106° 7.355' O
11	Polo-2012	31° 32.060' N	106° 15.192' O
12	Polo-casa (Desc.)	31° 32.006' N	106° 15.540' O

IX.2. Capacitación sobre aplicación de biosólidos en suelos agrícolas.

El grupo de trabajo del proyecto estableció como estrategias metodológicas de capacitación dos formas: 1) Presentaciones preparadas con el programa Microsoft power point (Cuadro 6) de los temas sobre biosólidos, aguas residuales y legislación, entre otros, además se imprimió esta información y se relaboraron carpetas para entregar a los asistentes a los cursos; 2) Publicaciones tipo desplegables informativas (Cuadro 7) que fueron entregadas en los cursos, talleres o reuniones diversas. Estos fueron presentados en los Consejos Distritales de Desarrollo Rural organizados por SAGARPA en cada uno de los tres municipios (Juárez, Guadalupe y Praxedis), así como en reuniones de la sociedad de agrónomos y otros eventos.

Este material de apoyo didáctico y actividades de difusión fueron preparados por los integrantes del proyecto UACJ y SAPN previas reuniones de trabajo para acordar y distribuir los temas conforme la capacidad de cada integrante. Es importante resaltar que durante las sesiones con agricultores, técnicos, funcionarios y público en general se dio la información de biosólidos y aguas residuales mediante conferencias tipo curso breve, con discusión y análisis de seguimiento del programa de uso de biosólidos en agricultura.

Además de la distribución de las publicaciones en cada sesión, se registró la asistencia y comentarios para retroalimentación de mejoras al proyecto de aplicación de biosólidos. Esta estrategia o modalidad permitió tener una estrecha relación de comunicación con los representantes del sector agropecuario y ambiental de la región, lo cual brinda ventajas sobre la realización de cursos formales en los cuales se dificulta contar con audiencia suficiente y representativa para el éxito de la difusión y adopción de biosólidos con fines productivos. En apoyo a la capacitación se incluyó recorridos por la planta de tratamiento de aguas residuales sur con los representantes institucionales, agricultores, técnicos, investigadores y alumnos tesistas participantes en el proyecto.

Cuadro 6. Lista de temas, contenido y ponentes de las presentaciones utilizadas en la estrategia de capacitación y difusión del programa de biosólidos.

Ponente	Tema	Contenido	Tiempo	Escrito
M.C. Laura Elena Santana Contreras	Sistemas de tratamiento de aguas residuales, características físicas, químicas y biológicas del agua y biosólidos. Legislación ambiental con énfasis en aguas residuales y biosólidos	Importancia del tratamiento, volúmenes de agua residual, Legislación, Tipos de tratamientos, Planta Tr.Juarez, Factores analizados, Sólidos generados, Otro tema que el ponente desee incluir y Conclusiones	40 min. de ponencia y 20 min. para preguntas y análisis del tema por los asistentes.	5 páginas mínimo, incluye tablas y figuras, Letra Arial 12, 1.5 espacios, Justificado,
Dr. Pedro Osuna Avila	Microorganismos patógenos en agua residual y biosólidos, Supervivencias según factores ambientales, Efectos en salud, Efectos en cultivos agrícolas Métodos de reducción de patógenos y medidas de prevención.	Tipos de patógenos, Ciclos biológicos, Contenidos en aguas residuales y biosólidos, Formas de transmisión, Enfermedades, Estrategias sanitarias prevención, Otro tema que el ponente desee incluir y Conclusiones		
M.C. Carmen Agüero Reyes	Muestreo, transporte y conservación de agua residual y biosólidos, Análisis químico Parámetros, Datos reportados y comparación con legislación, Servicios de análisis y costos, Interpretación de reportes de análisis agua potable, residual y biosólidos	Técnicas de muestreo de agua residual, potable y biosólidos, Métodos de análisis, Elementos, Reportes de las plantas de tratamiento, Interpretación de análisis, Otro tema que el ponente desee incluir y Conclusiones		
M.C. Baltazar Corral Díaz	Cultivos, aguas residuales y biosólidos, Legislación agrícola en México, Riesgos en	Experiencias agrícolas en México con aguas residuales, Normas agrícolas, El problema de		

	<p>hortalizas, Cultivos permitidos, Efecto en calidad y rendimiento, Cultivos del valle de Juárez y potenciales productivos, Manejo con énfasis en riegos y fertilización y costos de producción, Ventajas de los biosolidos,</p>	<p>hortalizas y agua residual, Ventajas y desventajas de regar con agua residual, Estadísticas de superficies y rendimientos del Valle de Juárez, Problema del agua y distribución, Otro tema que el ponente desee incluir y Conclusiones</p>		
<p>Dr. Juan Pedro Flores Margez</p>	<p>Biosolidos y agua residual en México y Juárez, Norma 004, Norma EPA 503, NOM 021,suelos Transporte, aplicación y limpieza, Muestreo de suelo, análisis e interpretación, Dosis agronómica de biosolidos, Calibración de aspersora, Resultados de respuesta de cultivos a biosolidos,</p>	<p>Estadísticas nacionales y locales, Descripción de normas, Programa de aplicación y participación institucional, Técnicas de muestreo de suelos, Interpretación de análisis, Aplicación de biosolidos y dosis para cultivos y suelos, Otro tema que el ponente desee incluir y Conclusiones,</p>		
<p>Lic. Ana Irene Flores Arras</p>	<p>Uso de biosolidos en otros países y en México, Instituciones relacionadas con la disposición de biosolidos, Comité de utilización de biosolidos (CUB) Estrategias de difusión del programa, Material educativo proyectos OPS y COCEF 2010, Encuesta de opinión del programa por asistentes,</p>	<p>Estadísticas de aplicación de biosolidos, Función de las instituciones relacionadas, Funciones e integrantes del CUB-reglamento, Cotizaciones de esparcidora de biosolidos, Sitios WEB informativos generales sobre biosolidos y del programa actual,</p>		

Cuadro 7. Lista de publicaciones tipo despleables informativas utilizadas en la capacitación y difusión del programa de biosólidos, 2015 a 2017.

Publicación	Título	Fecha de publicación
Publicación tipo despleable informativa No. 1:	Reciclaje de biosólidos en suelos cultivados con algodónero	Enero 2015.
Publicación tipo despleable informativa No. 2:	Los Suelos y Cultivos del Valle de Juárez, Chihuahua, 1976 a 2015	Febrero 2015.
Publicación tipo despleable informativa No. 3:	Comité de Utilización de biosólidos (CUB) para el Valle de Juárez	Julio 2015.
Publicación tipo despleable informativa No. 4:	Utilización de biosólidos cultivados con trigo	Agosto 2015.
Publicación tipo despleable informativa No. 5:	Estrategia para activar la comisión de vigilancia para uso de biosólidos en Cd. Juárez	Septiembre 2016.
publicación tipo despleable informativa No. 6	La calidad del aire y comisión de vigilancia de biosólidos en Ciudad Juárez, Chihuahua	Enero 2017.
Publicación despleable informativa No. 7	Nuevas variedades de trigo Harinero y uso de biosólidos en Ciudad Juárez, Chihuahua.	Febrero 2017.
Publicación despleable informativa No. 8:	Recomendaciones para utilizar biosólidos en la producción Agropecuaria.	Marzo 2017.
La publicación despleable informativa No. 9	Muestreo de suelos, base para La aplicación de biosólidos y fertilizantes en agricultura	Mayo 2017.
La publicación despleable informativa No. 10	Rendimiento de Variedades de Trigo en el Valle de Juárez, Chihuahua	Junio 2017.
La publicación despleable informativa No. 11	Proyecto de Lodos Residuales o Biosólidos para el Valle de Juárez, Chihuahua	Agosto 2017.
La publicación despleable informativa No. 12	Funcionamiento de la Comisión de Utilización de Biosólidos	Septiembre 2017.
Ciencia en la Frontera, revista de ciencia y tecnología de la UACJ, volumen especial, 2016, ISSN: 2007-042x	Respuesta agronómica y edáfica a la aplicación de biosólidos en el cultivo de algodónero en el Valle de Juárez, Chihuahua”, páginas 75 a 88.	En la página 87 se indica un reconocimiento a la COCEF y US-EPA, Programa Frontera 2020 por los apoyos recibidos en este proyecto

IX.3. Estrategias de difusión del programa de biosolidos.

La metodología para la difusión del programa de biosolidos fue mediante diversas estrategias de divulgación y fueron en resumen las siguientes:

- a) Difusión mediante notas periodísticas en medios de comunicación como los periódicos locales principales: Diario de Juárez y Norte.
- b) Difusión en televisión mediante el canal 26 UNIVISION se entrevistó al Dr. Juan Pedro Flores Margez.
- c) Transmisión en televisión UACJ, canal 44.3 de la Entrevista, al Dr Juan P. Flores Margez, Director del proyecto de Biosólidos.
- d) Participación en la reunión del grupo de trabajo del agua en El Paso Texas, la cual fue organizada por la U.S. EPA Región 6.
- e) Ponencias en reuniones del gremio agronómico de Ciudad Juárez en las instalaciones de la ExESAHE actualmente ubicada en el parque central.
- f) Recorridos por las parcelas agrícolas del Valle de Juárez para entrevistar agricultores y supervisar parcelas donde se ha detectado que algunos productores apilan los biosolidos con el plan de esparcirse hasta después de la cosecha de trigo.
- g) Participaciones en las reuniones de Consejos Distritales de Desarrollo Rural organizador por SAGARPA: los investigadores del proyecto asistieron a las reuniones mensuales.
- h) Presentaciones en el Congreso Nacional de Ciencias Ambientales (Chetumal Q. Roo y Zacatecas, Zac.).
- i) Presentaciones en el Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (Montecillos, Estado de México).
- j) Participación en las Jornadas de Investigación organizadas por la UACJ 2016.
- k) Presentación en la Reunión del Consejo Ciudadano de Cultura del Agua (JMAS) en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Chihuahua.
- l) Evento: 5to. Encuentro de jóvenes investigadores del 6 al 8 de septiembre en ICB, UACJ Presentaciones de los resultados del proyecto.
- m) Evento: Resultados de Cuerpos Académicos en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, el 13 de Septiembre 2017. Se presentó la conferencia magistral: Mineralización de abonos orgánicos en suelos agrícolas.
- n) Reuniones con los directivos de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS).
- o) Reuniones organizadas por las Direcciones de Desarrollo Rural de los Municipios.

IX.4. Comisión de Utilización de Biosólidos (CUB).

La formación de la Comisión (CUB) para el adecuado uso de los biosólidos fue una de las actividades más consistentes en las diversas actividades de capacitación y difusión que incluyó el proyecto. La estrategia consistió en utilizar los siguientes tres medios:

- a) Elaboración un escrito tipo acta constitutiva de la CUB y su entrega a cada Director de Desarrollo Rural de los municipios del Valle de Juárez, Chihuahua.
- b) Utilización de la publicación No. 4 desplegable informativa de la CUB.
- c) Contrato comodato entre la UACJ y la JMAS para el préstamo de la esparcidora de biosólidos.
- d) Reuniones específicas de análisis para la formación de la CUB.

La elaboración del acta consistió en considerar lo referido en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable y los estatutos de los Consejos Municipales para el Desarrollo Rural Sustentable. Pues el Capítulo VIII de las comisiones de trabajo para cada municipio y los Artículos 39 a 47, establecen que el Consejo podrá formar comisiones de trabajo de los temas sustantivos en materia de la Ley y donde cada Comisión contara con un Coordinador. Con base en esto, se planteó la operación de un programa de utilización y manejo de biosólidos en suelos agrícolas, el cual consiste en establecer medidas de control que garanticen que el uso de los biosólidos en la agricultura se lleva a cabo de acuerdo con los lineamientos asentados en los reglamentos, leyes y normas oficiales que rigen la materia, y permitan asegurar que la salud humana y el medio ambiente estén protegidos y que los beneficios previstos del uso de biosólidos, realmente se reflejen en el mejoramiento de la productividad del sector agrícola. Esta condición de observación de cumplimiento de las disposiciones legales exige la participación conjunta de todos los sectores involucrados en la generación, manejo y utilización de biosólidos a través de una **Comisión de Utilización de Biosólidos (CUB)**, creado ex profeso para vigilar la buena marcha del programa, hacer partícipe a las autoridades de sus inquietudes y recomendaciones y promover el uso de los biosólidos.

Las gestiones para el contrato entre la UACJ y la JMAS inicio desde mayo de 2017 y después de varias reuniones entre los directivos institucionales y el director del proyecto logro firmarse el 11 de diciembre de 2017, la entrega de la esparcidora de biosólidos fue el 6 de febrero de 2018 y el convenio firmado se recibió el 8 de mayo de 2018. La UACJ con fondos del proyecto realizo la compra de una llanta para que la esparcidora estuviera en buenas condiciones. Así, la esparcidora fue facilitada a un agricultor del ejido Villa Luz en Samalayuca para la aplicación de biosólidos en cultivo de alfalfa. Las reuniones se estuvieron realizando con autoridades de la JMAS y del municipio de Juarez hasta el 16 de mayo de 2018, fecha en que se acordó constituir el CUB, sin embargo por la veda electoral existente se informó que no podrían hacerse reuniones sino hasta después del 1 de Julio por la elección de Presidente de México, senadores y diputados, entre otros.

X. Resultados

X.1. Determinación de la tasa de mineralización o descomposición de biosólidos.

X.1.1. Experimentos de campo.

Respecto a las características de los suelos, la alcalinidad de estos mostró un pH entre 7.9 y 8.4 clasificado como medianamente alcalino (Cuadro 8), el pH óptimo para el desarrollo de bacterias es de 6.5 a 7.5 (Pacheco et al., 2002); sin embargo, Zornoza et al., (2011), indicó que a pH de 7.5 y 8.5 la nitrificación puede tener una velocidad constante, es decir que las bacterias siguen activas adecuadamente a pH un poco más alto. La salinidad de los suelos varió de 1.8 a 7.4 dS/m, clasificado como muy ligeramente salino en el sitio San Agustín a salino en el sitio Praxedis, conforme la NOM-021 (SEMARNAT, 2002). La materia orgánica para el suelo de San Agustín fue de 2% y para el de Praxedis fue de 1.5% por lo que se consideran suelos muy bajos en materia orgánica, esto según la NOM-021 (SEMARNAT, 2002). En cuanto al N inorgánico en los suelos San Agustín presentó 50.1 mg/kg lo que se considera alto, en cambio para Praxedis que fue de 18.4 se clasifica como bajo contenido de N.

Cuadro 8. Promedios y desviaciones estándar de las variables medidas en el suelo donde se realizaron los experimentos de mineralización de biosólidos en campo.

Variable	San Agustín	Praxedis
pH	8.379±0.119	7.873±0.282
C.E. (dS/m)	1.857±0.878	7.477±3.116
Materia Orgánica (%)	2.010±0.288	1.544±0.124
Nitrógeno N-NH ₄ ⁺ (mg/kg)	25.651±8.426	3.346±0.00019
Nitrógeno N-NO ₃ ⁻ (mg/kg)	27.885±9.672	15.057±2.365
Nitrógeno inorgánico (mg/kg)	50.193±12.097	18.403±2.364
Nitrógeno total (mg/kg)	1001.61±34.474	591.83±42.435
Arcilla (%)	19.8	3.8
Limo (%)	22	70
Arena (%)	58.2	26.2
Clase textural	Franco arenosa	Franco limosa
Cultivo	Nogal	Algodón

Dado que la temperatura y la humedad del suelo son factores ambientales que influyen en la actividad microbiana, en el presente estudio la temperatura del suelo osciló entre los 12°C en diciembre y los 21.6°C en agosto en el sitio Praxedis, mientras que para el sitio San Agustín fue de 10.2°C en diciembre y 21.3°C en agosto (Figura 15). La temperatura estuvo en promedio de julio a noviembre en 18 °C para San Agustín y 19.2°C para Praxedis, Pacheco et al., (2002), mencionan que la temperatura óptima es de 15°C a 30 °C para que las bacterias realicen el proceso de nitrificación, en cambio Zornoza et al., (2011), menciona que el rango óptimo para la

nitrificación es de 28 a 32 °C y que a los 16 °C existe un 50% de actividad microbiana. Lo anteriormente mencionado indica que existió un efecto negativo en el último periodo de incubación entre los meses de noviembre y diciembre.

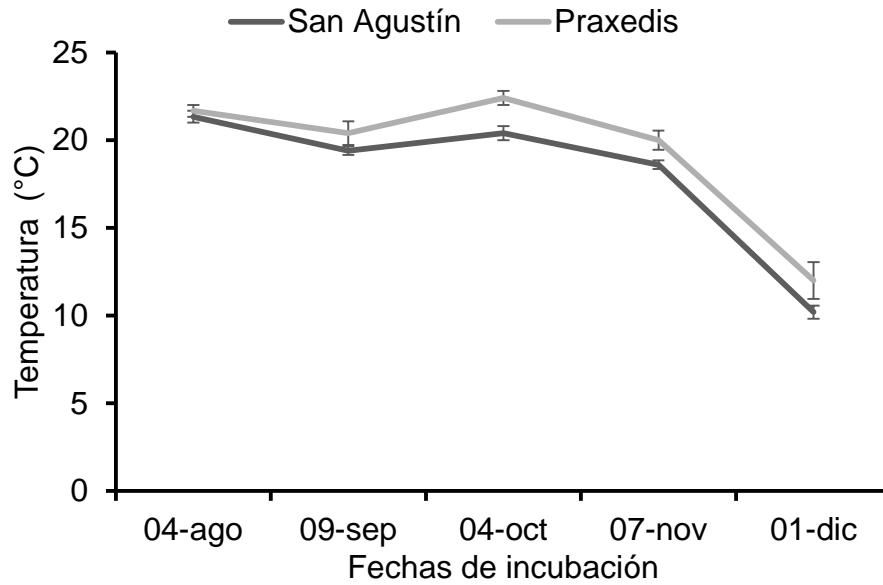


Figura 15. Temperatura del suelo de los sitios experimentales.

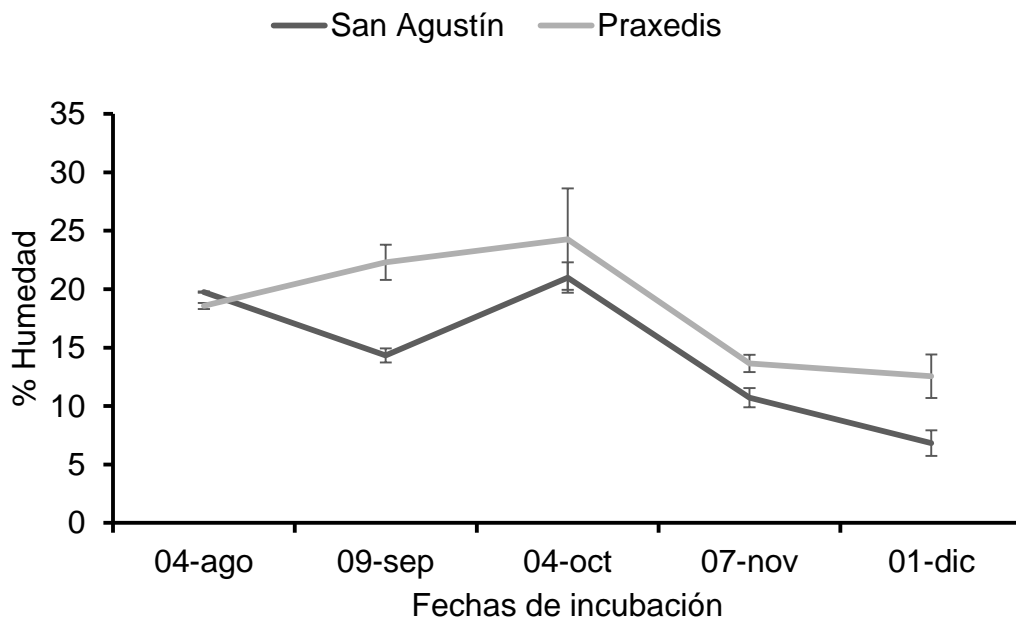


Figura 16. Porcentaje de humedad gravimétrica del suelo en los sitios experimentales.

La humedad gravimétrica del suelo fue variable porque dependió de los riegos en cada sitio experimental y de la precipitación pluvial (Figuras 16 y 17). El sitio de Praxedis mostró un porcentaje de humedad que osciló entre 24.2 % en el mes de octubre y 12.5% en diciembre, esto debido a que la temporada de lluvia se concentró en los meses de agosto y septiembre. El sitio de San Agustín se comportó de manera similar, siendo el mes de octubre el que presentó mayor humedad (20.9%) y diciembre el mes más seco (6.8%). Se puede observar que en el sitio de Praxedis la humedad es más constante debido a que el suelo presenta más cantidad de arcilla. Celaya et al., (2011) menciona que los microorganismos del suelo no siempre tienen las condiciones ideales para su actividad en cuanto a temperatura y humedad, por lo que los procesos de mineralización de N en zonas áridas suelen darse por periodos breves de tiempo y por lo general, posteriores a periodos de precipitación.

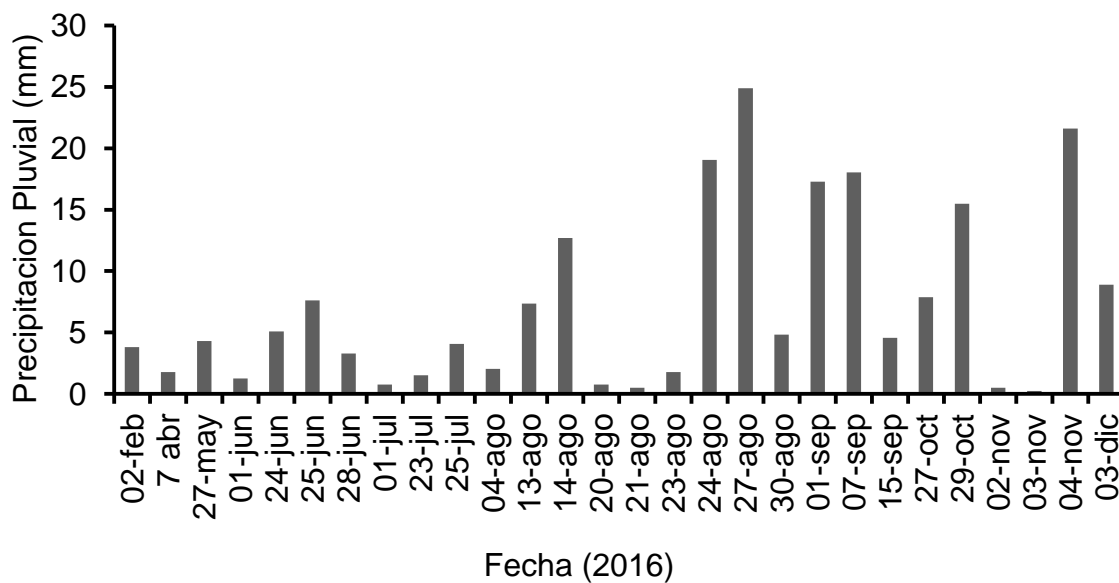


Figura 17. Precipitación pluvial en Ciudad Juárez, Cihuahua durante el año 2016 (Flores, 2017).

Los meses con mayor precipitación fueron agosto y septiembre (Figura 17), según Pacheco et al., (2002), el movimiento de los nitratos en el suelo depende de la cantidad de agua que está infiltrando el suelo y el contenido de humedad de este depende de la precipitación, porosidad y permeabilidad durante los periodos lluviosos, incrementa el filtrado de nitratos debido a que los niveles de humedad del suelo son altos y la tasa de evaporación es reducida.

Características del agua de riego. Se observó que el agua de riego para ambos sitios es muy similar en todos los aspectos. El pH fue de 7.6 para ambos sitios (Cuadro 9), las unidades de pH aceptables son entre 5 y 10, como se observa el agua de riego de ambos sitios se encuentra dentro de este intervalo (SEMARNAT, 1996). La C.E. para ambos sitios fue de 1.6 dS/m que es inferior a lo establecido por la FAO (1985) debido a que los valores son de 0.7 a 3.0 dS/m y se clasifica como salinidad ligera a moderada. La cantidad de N inorgánico para el agua de riego de San Agustín fue de 20.892 mg/L, mientras que para Praxedis resultó de 18.22 mg/L, la NOM-001 establece un promedio diario de 60 mg/L de N y 40 mg/L de N como promedio mensual, por lo que el agua de riego utilizada en ambos lugares cumple con los requisitos establecidos (SEMARNAT, 1996).

Cuadro 9. Variables analizadas en el agua de riego.

Variable	SAN AGUSTÍN	PRAVEDIS
pH	7.677±0.429	7.677±0.459
C. E. (µs/m)	1607.033±234.562	1602.933±236.831
NH ₄ (mg/kg)	16.835±10.777	14.613±12.025
NO ₃ (mg/kg)	4.057±4.008	3.606±4.783
N inorgánico (mg/l)	20.892±7.987	18.220±7.269

Los biosólidos empleados en este experimento tuvieron un pH de 8.585 y una C. E. de 0.092 dS/m (Cuadro 10), valores inferiores a los reportados por Flores et al., (2010), que fueron pH de 9.1 y C. E. de 3.4 dS/m, Del Pino et al., (2012) obtienen un pH de 7.46 y una C.E. de 5.3 µS/cm, mostrando así que las características que los biosólidos presentan son variables, a su vez la humedad que presentó el biosólido fue un poco menor, resultando de 67% en este estudio y 71% en el caso de Flores et al., 2010. El NTK de los biosólidos utilizados (digestión anaeróbica) en este estudio fue de 4.6%, mientras que Flores et al., (2010) fue de 1.8825% para biosólidos de tratamiento primario, estos valores indican que los biosólidos presentan características variables y no siempre presentaran los mismos valores.

Cuadro 10. Variables analizadas en biosólidos empleados en experimentos de mineralización de biosólidos en campo.

Variable	Promedio
pH	8.585±0.048
C.E. (ds/m)	0.092±0.004
Humedad (%)	66.917±0.151
NTK (mg/kg)	46883.553±5140.133
NTK (%)	4.688±3.213
Proteína (%)	29.302±3.213

Lo anterior mencionado, temperatura de suelo, humedad del suelo, las características del agua de riego (pH, C.E.) y de los biosólidos, influyen directamente en los microorganismos del suelo que son los encargados de llevar la mineralización del N (Abril et al., 2001; Chen et al., 2003).

Nitrógeno detectado en las resinas

La descripción de estos resultados se muestra mediante dos métodos de análisis químico del N captado en las resinas: a) mediante la medición de NO_3^- y NH_4^+ por arrastre de vapor, destilación y titulación, y b) el análisis de NO_3^- mediante un autoanalizador basado en colorimetría.

Método de arrastre de vapor y titulación: Los promedios de N inorgánico en el sitio de San Agustín para todos los tratamientos e incubaciones, así como también los acumulados de N inorgánico captado en las resinas de intercambio iónico en los experimentos se muestran en el Cuadro 11. Se observan diferencias significativas en cinco de los 27 análisis, algunos de los tratamientos por ejemplo en la incubación tres, al realizar la suma de N-NH_4^+ y N-NO_3^- , se forman tres grupos estadísticos, siendo el tratamiento de 20 t/ha el más alto, seguido del tratamiento de 60t/ha. Otro ejemplo es la suma de las cinco incubaciones para N-NO_3^- el tratamiento más alto en esta ocasión fue el de 60 t/ha y siendo menor el control. Se observa que el 73.2% del N acumulado en las resinas fue en forma de NO_3^- en el tratamiento de 60 t/ha. El hecho de que no todas las incubaciones tengan diferencias significativas o que en ocasiones las incubaciones que si presenten diferencias significativas el tratamiento con biosólidos de 60 t/ha no sea el de mayor promedio, puede deberse a diferentes factores que afectan la mineralización de manera directa, tal como lo son la humedad del suelo y la temperatura. Otro factor que pudo influir en la medición del N es el hecho de que se riegue con agua residual tratada ya que esta es rica en nutrientes como N (Tunc and Sahin, 2015).

Al analizar el suelo de los cilindros (Cuadros 11 y 12) al final del experimento se observó que no hubo diferencias significativas en cuanto a Suelo N-NH_4^+ , pero si para Suelo N-NO_3^- y la suma de estos dos (suelo suma). Para Suelo N-NO_3^- se observó que los tratamientos que mostraron más N fueron con 40 t/ha y 60 t/ha, y el que menos presentó fue el control, de la misma manera sucedió para la suma de ambos, con un valor $p \leq 0.05$ (Figura 18).

Cuadro 11. Promedios de N inorgánico (mg/L) para los tratamientos del experimento de cilindros para cada periodo de incubación en San Agustín.

FORMA DE N INCUBACIÓN	TRATAMIENTO (DOSIS DE BIOSÓLIDO T/HA)			
	0	20	40	60
N-NH₄⁺ 1	0.223	0.243	0.203	0.233
N-NO₃⁻ 1	0.943	0.933	0.943	1.136
SUMA 1	1.166	1.176	1.146	1.369
N-NH₄⁺ 2	0.284	0.233	0.274	0.213
N-NO₃⁻ 2	1.258	1.156	2.008	1.390
SUMA 2	1.542	1.390	2.282	1.603
N-NH₄⁺ 3	1.193	1.384	0.477	0.783
N-NO₃⁻ 3	0.792	2.367	0.792	2.396
SUMA 3	1.985 a b	3.751 a	1.269 b	3.178 a b
N-NH₄⁺ 4	1.680	1.107	1.107	1.670
N-NO₃⁻ 4	1.3744 b	1.441 b	2.013 a b	2.834 a
SUMA 4	3.054	2.548	3.121	4.505
N-NH₄⁺ 5	0.174	0.215	0.082	0.092
N-NO₃⁻ 5	0.410	0.451	0.246	0.451
SUMA 5	0.584	0.666	0.328	0.543
N-NH₄⁺ 1+2	0.507	0.477	0.477	0.446
N-NO₃⁻ 1+2	2.089	2.201	2.953	2.526
SUMA 1+2	2.708	2.566	3.428	2.973
N-NH₄⁺ 1+2+3	1.700	1.861	0.954	1.229
NO₃⁻ 1+2+3	2.993 b	4.456 a b	3.743 a b	4.912 a
SUMA 1+2+3	4.693	6.317	4.698	6.150
N-NH₄⁺ 1+2+3+4	3.380	2.968	2.061	2.899
N-NO₃⁻ 1+2+3+4	4.367 b	5.897 a b	5.757 a b	7.756 a
Suma 1+2+3+4	7.748	8.866	7.819	10.655
N-NH₄⁺ 1+2+3+4+5	3.554	3.183	2.143	2.991
N-NO₃⁻ 1+2+3+4+5	4.777 b	6.3483 a b	6.003 a b	8.206 a
SUMA 1+2+3+4+5	8.331	9.531	8.146	11.198

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos a un $p \leq 0.05$, promedios sin letras fueron estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

Cuadro 12. Promedios para N inorgánico (mg/L) en suelo San Agustín.

Forma de N	Tratamiento (dosis de biosólido t/ha)			
	0	20	40	60
Suelo N-NH ₄ ⁺	14.321 a	122.958 a	19.107 a	24.565 a
Suelo N-NO ₃ ⁻	12.961 c	23.187 b c	37.525 a b	47.076 a
Suelo suma	27.283 b	36.145 b	56.633 a	71.641 a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$).

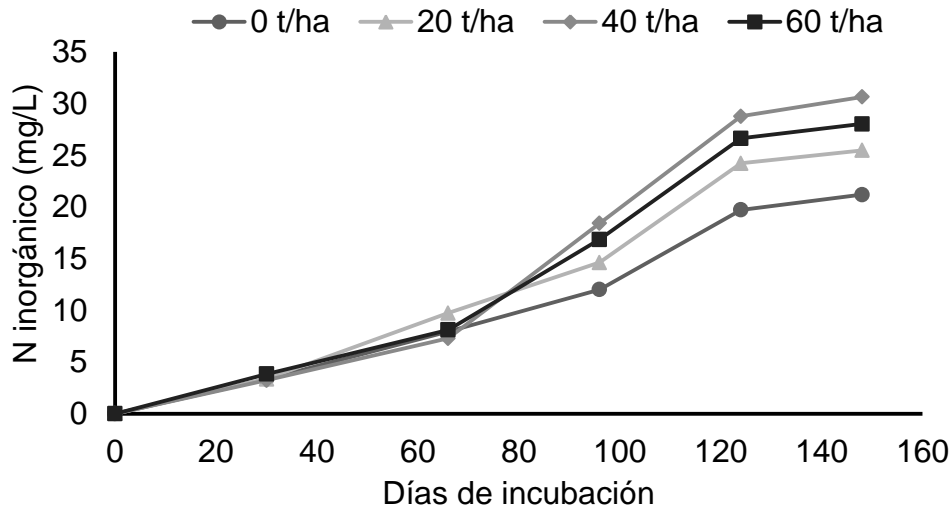


Figura 18. Valores acumulados de N inorgánico (mg/L) para el sitio San Agustín.

Los valores de N inorgánico ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$) acumulados son una forma de apreciar el cambio en las cantidades de N. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$), sin embargo, como se aprecia en la Figura 18, la tendencia muestra que a mayor cantidad de biosólidos, se incrementa la cantidad de N inorgánico disponible para el cultivo. Se aprecia también que el tratamiento de 40 t/ha es ligeramente mayor al de 60 t/ha, una de las razones de esto puede radicar en el hecho de que se riega con agua residual tratada, o a factores de posición, debido a que los cilindros en ocasiones se encontraban por encima del suelo, lo que pudo dificultar la entrada de agua y evitar que las resinas atraparan todo el N disponible.

También, la falta de diferencia estadística puede deberse a la enorme variabilidad de nitratos y amonio detectado en las resinas a través de las incubaciones. Esta variación también ha sido reportada por Rigby (2016) El nitrógeno es el elemento más móvil en el suelo y agua, lo que dificulta su medición precisa, lo cual explica las grandes variaciones de lo captado en las resinas. Algo destacable es que, en las primeras dos incubaciones, la mineralización del N fue prácticamente igual para todos los tratamientos, esto fue similar a lo ocurrido en el experimento de Flores *et al.*, (2010) ya que ellos observaron que las concentraciones de N mineralizado neto acumulado, se observaron similares entre tratamientos.

Se observan diferencias significativas en algunos de los tratamientos para el sitio Praxedis (Cuadro 13) tal como en la incubación uno para $N-NH_4^+$ mostrando que el tratamiento que presentó mayor cantidad de N fue el de 60 t/ha, y el menor fue el control. Se observa también diferencia significativa a un valor $p \leq 0.05$ para la suma de todas las incubaciones (suma 1+2+3+4+5), siendo el tratamiento de 60 t/ha el que mostró mayor cantidad de N y el que presentó menos fue el control, para la suma de todas las incubaciones se muestra que para el control se tiene un valor de 8.331 mg/L y para el tratamiento de 60 t/ha se tiene un valor de 11.19 mg/L, dando como diferencia un total de 2.89 mg/L, esto es similar a lo encontrado por Flores *et al.*, (2010), debido a que ellos encontraron que al final del período de incubación en el tratamiento de 600 kg/ha se obtuvo 62.9 mg/kg con una diferencia mayor de 2.7% en relación al testigo. No todas las incubaciones presentan diferencias significativas o en ocasiones las

incubaciones que si presentan diferencias significativas el tratamiento con biosólidos de 60 t/ha, no es el que presenta un promedio mayor puede deberse a diferentes factores que afectan la mineralización del N de manera directa, como lo son la humedad que presentó el suelo y la temperatura. Otro factor importante que pudo influir en la medición del N es el hecho de que se riegue con agua residual tratada, ya que esta es rica en nutrientes como N (Tunc and Sahin, 2015).

El suelo de los cilindros (Cuadro 14) al final del experimento se observa que no hubo diferencias significativas en cuanto a Suelo N-NH_4^+ y, ni para la suma, pero si para Suelo N-NO_3^- . Se observó que el tratamiento que mostró más N en la suma fue el de 60 t/ha con 113.7 mg/L y el que menos presentó fue el control con 61.93 mg/L, siendo la diferencia de 51.8 mg/L. Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) indicando que el tratamiento de 60 t/ha es diferente al control en la liberación de N como N-NO_3^- .

Los valores de N inorgánico ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$) acumulados en las resinas son una forma de apreciar el cambio en las cantidades de N disponible o mineralizado de los biosólidos. Se observaron diferencias significativas entre todos los tratamientos al ser analizados como datos acumulados, esto se aprecia en la Figura 19, la tendencia muestra que a mayor cantidad de biosólidos, se incrementa la cantidad de N inorgánico disponible para el cultivo. En el sitio Praxedis se observa claramente que el tratamiento que aportó mayor cantidad de N fue el de 60 t/ha de biosólido, seguido de 40 t/ha y 20 t/ha, el control en el día 60 se observa mayor que el tratamiento de 20 t/ha, así como también el de 40 t/ha mostró ser ligeramente superior al de 60 t/ha esto puede deberse a que igual que en San Agustín también se riega con agua residual tratada. Para ambos sitios por lo general la cantidad de N obtenido fue mayor en los tratamientos de 40 y 60 t/ha, esto coincide con lo señalado por Flores *et al.*, (2010), que menciona que los tratamientos 400 y 600 kg NTK/ha presentaron una mayor concentración de N.

Cuadro 13. Promedios de N (mg/L) para los tratamientos del experimento de cilindros para cada periodo de incubación en sitio Praxedis.

FORMA DE N	TRATAMIENTO (DOSIS DE BIOSÓLIDO T/HA)			
	0	20	40	60
N-NH₄⁺ 1	0.27386 b	0.32458 b	1.02444 a	1.05488 a
N-NO₃⁻ 1	1.17658	1.23746	1.39974	1.5823
SUMA 1	1.4506 c	1.5618 b c	2.424 a b	2.637 a
N-NH₄⁺ 2	0.06084 b	0.22314 a	0.13184 a b	0.1014 a b
N-NO₃⁻ 2	1.207	0.81146	1.54174	1.40986
SUMA 2	1.2678	1.0348	1.6736	1.5112
N-NH₄⁺ 3	0.1718	0.24816	0.21	0.16226
N-NO₃⁻ 3	0.58222	1.28852	0.74448	0.89718
SUMA 3	0.754	1.5366	0.9544	1.0596
N-NH₄⁺ 4	0.1024	0.21506	0.1536	0.16384
N-NO₃⁻ 4	0.83982	0.002	0.241	1.20854
SUMA 4	0.942	0.8294	0.7886	1.3726
N-NH₄⁺ 5	0.291	0.24578	0.09216	0.13312
N-NO₃⁻ 5	0.27652	0.36868	0.23554	0.31748
SUMA 5	0.5734	0.6146	0.3276	0.4506
N-NH₄⁺ 1+2	0.33474 b	0.54772 b	1.15628 a	1.1663 a
N-NO₃⁻ 1+2	2.38362	2.0489	2.94148	2.99218
SUMA 1+2	2.7182 c	2.5966 b c	4.0976 a b	4.1486 a
N-NH₄⁺ 1+2+3	0.50654 b	0.79588 a b	1.31858 b	1.36628 a
N-NO₃⁻ 1+2+3	2.96582	3.33738	3.68592	3.88936
SUMA 1+2+3	3.4724 b	4.1334 a b	5.0522 b	5.2078 a
N-NH₄⁺ 1+2+3+4	0.60894 b	1.010 94 a b	1.51992 a	1.48244 a
N-NO₃⁻ 1+2+3+4	3.80564	3.9519	4.3209	5.0979
SUMA 1+2+3+4	4.4146 b	4.9628 a b	5.8408 a b	6.5802 a
N-NH₄⁺ 1+2+3+4+5	0.90594	1.25676	1.6121	1.61555
N-NO₃⁻ 1+2+3+4+5	4.08216	4.3206	4.5565	5.41538
SUMA 1+2+3+4+5	4.988 b	5.5774 a b	6.1688 a b	7.031 a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$).

Cuadro 14. Promedios para N inorgánico (mg/L) en suelo Praxedis.

Forma de N	Tratamiento (dosis de biosólido t/ha)			
	0	20	40	60
Suelo N-NH ₄ ⁺	17.02 a	12.919 a	34.039 a	19.058 a
Suelo N-NO ₃ ⁻	44.907 b	80.2553 a b	58.375 a b	94.7443 a
Suelo suma	61.93 a	93.176 a	92.414 a	113.798 a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$).

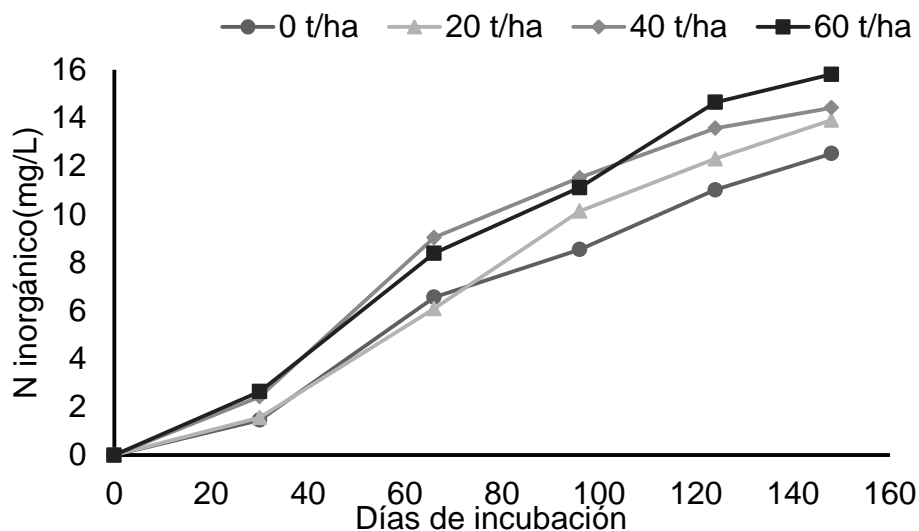


Figura 19. Valores acumulados de N inorgánico (mg/L) para el sitio Praxedis.

Se decidió analizar las muestras con otro método donde se utiliza un autoanalizador basado en colorimetría (AA3) para N-NO_3^- , esto fundamentado en que con el destilador (arrastre de vapor) el N-NO_3^- resultó mayor que el NH_4^+ en ambos sitios de estudio, para el sitio de San Agustín el N-NO_3^- resultó ser el 73.2% del N inorgánico y para el sitio Praxedis fue de 77% del N inorgánico. El N captado por las resinas aumentó conforme la dosis de biosólido aplicado en ambos sitios, lo que confirma la hipótesis de este estudio, en que el N acumulado después de 150 días es proporcional al aumento de la dosis de biosólido. Por ejemplo, en el sitio de San Agustín aumentó de 8.3 mg/L a 11.2 mg/L entre el control y la dosis de 60 t/ha, mientras que para el sitio Praxedis este aumento fue de 4.9 mg/L a 7.03 mg/L entre el control y la dosis de 60 t/ha. De forma que similar el N inorgánico que quedó en el suelo al final del experimento fue proporcional al incremento de las dosis de biosólido.

Nitrógeno potencialmente mineralizable

Con los datos generados de N inorgánico retenido en las resinas de intercambio iónico mediante los métodos de arrastre de vapor (destilador) y con el autoanalizador (AA3) se ajustaron los valores observados de N a un modelo exponencial reportado por varios autores en estudios de mineralización (Flores et al., 2010). Estos resultados siguientes son estratégicos para la predicción de la mineralización de N conforme las dosis y tipos de suelos de la región de estudio.

Resultados del auto-analizador (AA3), este método muestra los resultados de N-NO_3^- . La mineralización del N puede verse afectada por las propiedades del suelo, textura, pH, carbono orgánico del suelo, debido a que, durante el proceso de conversión de N orgánico en N inorgánico a través de la mineralización microbiana, el valor C/N afecta la capacidad de descomposición microbiana, mientras que el pH y la textura afectan principalmente a la comunidad y la actividad del microorganismo (Zhang et al., 2017). El análisis de varianza para

los tratamientos del sitio San Agustín muestra que entre los datos acumulados existen diferencias significativas (Cuadro 15), esto conforme al valor Z observado, los acumulados Inc 1+2+3 hasta Inc 1+2+3+4+5 muestran un valor z más pequeños que las otras incubaciones.

Cuadro 15. Análisis de varianza para N inorgánico (mg/kg) del sitio San Agustín (AA3).

	TRATAMIENTO	BLOQUE	C.M.E.
INC 1	0.13 ^z	0.641	45.838
INC 1+2	0.072 ^z	0.893	85.03
INC 1+2+3	0.01 ^{z*}	0.934	72.455
INC 1+2+3+4	0.014 ^{z*}	0.97	88.989
INC 1+2+3+4+5	0.014 ^{z*}	0.911	88.689
SUELO FINAL	0.093 ^z	0.225	4.689
SUELO + RESINA	0.002 ^{z**}	0.791	66.149
BALANCE	0.002 ^{z**}	0.701	66.149

^z Valor p (N.S.O); * diferencia significativa (p<0.05); ** diferencia altamente significativa (p<0.01); C.M.E.= Cuadrado Medio del Error. Inc = incubación.

Para el sitio de San Agustín (AA3) se observó que en todas las incubaciones acumuladas el tratamiento de 60 t/ha fue mayor que el resto de los tratamientos, sin embargo, no en todas hubo diferencia significativa (Cuadro 16). Aquellas que presentaron diferencia significativa a un valor p≤0.05 fueron Inc 1+2+3, Inc 1+2+3+4 e Inc 1+2+3+4+5, así como el suelo + resina y el balance.

Cuadro 16. Promedios de N inorgánico (mg/kg) para sitio San Agustín (AA3).

Días	Periodo	TRATAMIENTOS (DOSIS DE BIOSÓLIDO T/HA)			
		0	20	40	60
30	Inc 1	10.965 a	12.57 a	17.01 a	21.251 a
66	Inc 1+2	15.62 a	21.236 a	26.415 a	32.404 a
96	Inc 1+2+3	18.157 b	24.817 a b	29.023 a b	40.349 a
124	Inc 1+2+3+4	22.563 b	27.72 a b	34.65 a b	45.231 a
148	Inc 1+2+3+4+5	22.761 b	27.886 a b	34.756 a b	45.444 a
	Suelo final	4.357 a	5.773 a	8.054 a b	6.966 a
	Suelo + resina	27.118 c	33.659 b c	42.81 a b	52.41 a
	Balance	22.768 c	29.309 b c	38.46 a b	48.06 a

Letras distintas indican diferencia significativa (p≤0.05).

Los valores predichos de N inorgánico (mg/kg), como se mencionó se ajustan a los valores observados en el experimento (Cuadro 17). El N potencialmente mineralizable (N_0) varió para todos los tratamientos en el sitio de San Agustín, con valores de 49.9 mg/kg para el tratamiento de 60 t/ha y 24.8 mg/kg para el de 40 t/ha, siendo la diferencia entre ambos de 25.1 mg/kg. La tasa constante de mineralización (k , dada en mg/kg/día) fue similar en todos los tratamientos. Comparado con el sitio Praxedis, los valores N_0 y k de San Agustín son menores, esto podía estar relacionado con el tipo de textura del suelo y el clima (Castellanos et al., 2000). El modelo exponencial utilizado fue $N_m = N_0 (1 - e^{-kt})$, por ejemplo, para el control el modelo sería $N_m = 24.806 (1 - e^{-(0.01627)t})$ y para el tratamiento de 60 t/ha sería $N_m = 49.92 (1 - e^{-(0.0172)t})$.

Cuadro 17. Valores predichos de $N-NO_3^-$ (mg/kg) sitio San Agustín (AA3).

PREDICHOS/DÍAS	TRATAMIENTOS (BIOSÓLIDO T/HA)			
	0	20	40	60
$B_0(N_0)$	24.806	30.401	36.715	49.92
$B_1(K)$	0.01627	0.01801	0.01932	0.0172
R (CORRELACIÓN)	0.993	0.915	0.9	0.924
C.M.E.	1.887	0.187	2.062	1.755
30	9.58	12.69	16.15	20.13
66	16.33	21.14	26.46	33.88
96	19.61	25.01	30.97	40.35
124	21.51	27.14	33.37	44.01
148	22.57	28.29	34.61	46.01

Se observan los datos acumulados de $N-NO_3^-$ con el auto-analizador para el sitio San Agustín (Figura 20), la línea indica los datos predichos dados por el programa estadístico, los símbolos en miniatura corresponden a los datos observados, se aprecia que tanto los datos predichos como observados concuerdan o bien, son muy similares (Cuadro 17). También se observa claramente que la concentración de $N-NO_3^-$ va en orden ascendente conforme aumenta la dosis de biosólido aplicado, siendo el tratamiento de 60 t/ha el mayor, seguido por el de 40 y 20 t/ha y por último el control (sin biosólido).

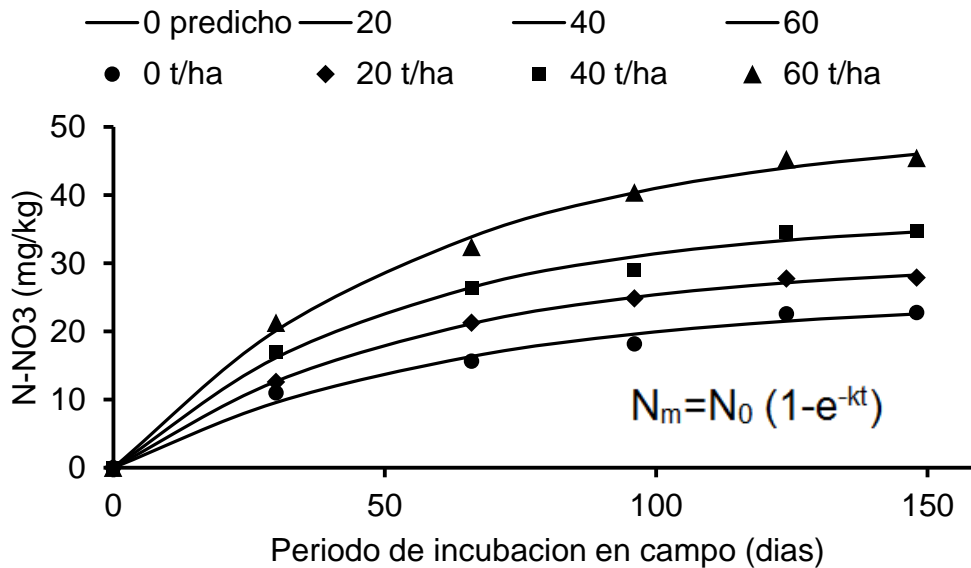


Figura 20. Valores predichos y observados de N-NO₃⁻ (mg/Kg) sitio San Agustín (AA3).

El análisis de varianza para los tratamientos del sitio Praxedis muestra que entre los datos acumulados existen diferencias significativas (Cuadro 18), esto conforme al valor p observado, los acumulados Inc 1+2 hasta Inc 1+2+3+4 muestran un valor z más pequeños que las otras incubaciones.

Cuadro 18. Análisis de varianza para el N N-NO₃⁻ (mg/kg) del sitio Praxedis (AA3).

	TRATAMIENTO	BLOQUE	C.M.E
INC 1	0.039 ^{z*}	0.035	17.807
INC 1+2	0.009 ^{z**}	0.621	126.227
INC 1+2+3	0.008 ^{z**}	0.548	124.535
INC 1+2+3+4	0.009 ^{z**}	0.544	131.8
INC 1+2+3+4+5	0.01 ^{z*}	0.535	132.836
SUELO FINAL	0.082 ^z	0.621	105.784
SUELO + RESINA	0.021 ^{z*}	0.882	242.277
BALANCE	0.021 ^{z*}	0.882	242.27

^z Valor p (N.S.O); * diferencia significativa (p<0.05); ** diferencia altamente significativa (p<0.01); C.M.E.= Cuadrado Medio del Error. Inc = incubación.

En los datos de NO_3^- acumulados analizados con el AA3, se pudo observar qué existen diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 19), en todos los acumulados se aprecia que el tratamiento de 40 t/ha obtiene el grupo estadístico a, siendo mayor que el tratamiento de 60 t/ha, esto podría estar influenciado por el tipo de agua de riego (agua residual tratada) o que la descomposición con el tratamiento de 60 t/ha no fue proporcional.

Cuadro 19. Promedios de N-NO_3^- para el AA3 (mg/kg) para el sitio Praxedis.

Días	periodo	TRATAMIENTOS (DOSIS DE BIOSÓLIDO T/HA)			
		0	20	40	60
0	Inc 1	25.19 b	26.56 a b	33.62 a	28.16 a b
30	Inc 1+2	42.84b	52.81 a b	72.51 a	59.01 a b
66	Inc 1+2+3	43.44 b	53.75 a b	73.3 a	59.28 a b
96	Inc 1+2+3+4	44.201 a	54.21 a b	74.09 a	62.04 a b
124	Inc 1+2+3+4+5	44.426 a	54.51 a b	74.28 a	62.5 a b
148	Suelo final	13.124 a	24.974 a	13.85 a	38.45 a
	Suelo + resina	57.55 b	79.434 a b	88.14 a	90.958 a
	Balance	44.43 b	66.36 a b	75.02 a	77.83 a

Letras distintas en hileras indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

El N potencialmente mineralizable (N_0) fue variable para todos los tratamientos en el sitio de Praxedis, teniendo valores de 66.527 mg/kg para el tratamiento de 60 t/ha y 45.92 mg/kg para el tratamiento de 40 t/ha, siendo la diferencia entre ambos de 20.5 mg/kg. La tasa constante de mineralización (k) fue similar en todos los tratamientos (Cuadro 20). El modelo exponencial utilizado fue $N_m = N_0 (1 - e^{-kt})$, por ejemplo, para el control el modelo sería $N_m = 45.92 (1 - e^{-(0.0301)t})$ y para el tratamiento de 60 t/ha sería $N_m = 66.527 (1 - e^{-(0.0234)t})$.

Cuadro 20. Valores predichos de N-NO_3^- (mg/kg) sitio Praxedis (AA3).

PREDICHOS/DÍAS	TRATAMIENTOS (DOSIS DE BIOSÓLIDO T/HA)			
	0	20	40	60
$B_0 (N_0)$	45.924	57.698	79.875	66.527
$B_1 (K)$	0.0301	0.0258	0.0241	0.0234
R (CORRELACIÓN)	0.758	0.816	0.838	0.847
C.M.E	5.38	19.29	49.39	26.1
30	27.32	31.1	41.13	33.62
66	39.63	47.19	63.61	52.38
96	43.37	52.86	71.98	59.53
124	44.82	55.35	75.86	62.9
148	45.39	56.43	77.62	64.46

En los datos acumulados de $N-NO_3^-$ con el auto-analizador AA3 para el sitio Praxedis (Figura 21), la línea muestra los datos predichos dados por el programa estadístico, los símbolos en miniatura corresponden a los datos observados, se aprecia que en la mayoría de los casos, los observados son muy similares a los predichos (Cuadro 21), ya que el modelo exponencial ajustó bien los valores.

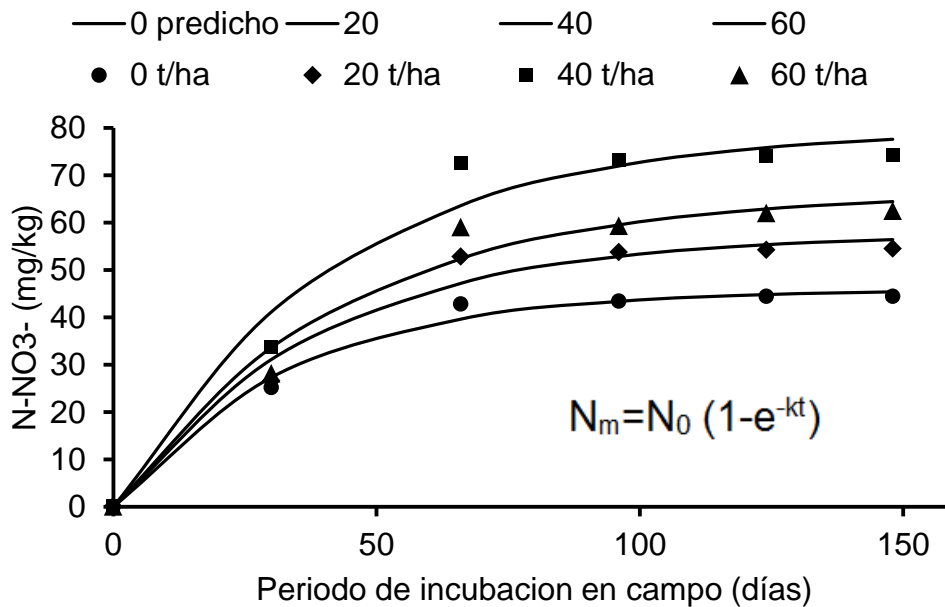


Figura 21. Valores predichos y observados AA3 de $N-NO_3^-$ (mg/Kg) para sitio Praxedis.

Método destilador: Nitrógeno potencialmente mineralizable. El análisis de varianza para los tratamientos del sitio San Agustín muestra que entre los datos acumulados existen diferencias significativas en los bloques del suelo más resina y el balance (Cuadro 21).

Cuadro 21. Análisis de varianza para N inorgánico (mg/kg) del sitio San Agustín (destilador).

	TRATAMIENTO	BLOQUE	C.M.E.
INC 1	0.621 ^z	0.234	0.709
INC 1+2	0.323 ^z	0.884	4.47
INC 1+2+3	0.182 ^z	0.303	16.68
INC 1+2+3+4	0.273 ^z	0.276	50.23
INC 1+2+3+4+5	0.246 ^z	0.277	1.453
SUELO FINAL	0.465 ^z	0.108	130.3
SUELO + RESINA	0.329 ^z	0.016 *	125.38
BALANCE	0.329 ^z	0.016*	125.385

^z Valor p (N.S.O); * diferencia significativa ($p < 0.05$); C.M.E.= Cuadrado Medio del Error.; Inc = incubación.

En el sitio de San Agustín no se observó diferencia significativa entre tratamientos en ninguna de las incubaciones acumulada (Cuadro 22). Así como tampoco se observan diferencias en el contenido de N inorgánico en el suelo al final del experimento, ni en la suma de los valores de suelo + resina, ni para el balance final, esto a un valor de $p \leq 0.05$.

Cuadro 22. Promedios de N inorgánico (mg/kg) para sitio San Agustín (destilador).

DÍAS	Incubación	TRATAMIENTOS (DOSIS DE BIOSÓLIDO T/HA)			
		0	20	40	60
30	Inc 1	3.304 a	3.333 a	3.247 a	3.879 a
66	Inc 1+2	7.672 a	7.269 a	9.712 a	8.419 a
96	Inc 1+2+3	13.296 a	17.896 a	13.308 a	17.423 a
124	Inc 1+2+3+4	21.948 a	25.115 a	22.15 a	30.185 a
148	Inc 1+2+3+4+5	23.602 a	27 a	23.078 a	31.722 a
	Suelo final	30.695 a	37.497 a	42.297 a	34.776 a
	Suelo + resina	54.297 a	64.498 a	65.375 a	66.498a
	Balance	35.897 a	46.098 a	46.975 a	48.098 a

Letras diferentes señalan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

El N potencialmente mineralizable (N_0) varió para todos los tratamientos en el sitio de San Agustín, con valores de 1214 mg/kg para el tratamiento de 60 t/ha y 725 mg/kg para el de 40 t/ha, siendo la diferencia entre ambos de 489 mg/kg. La tasa constante de mineralización (k) fue variable en todos los tratamientos (Cuadro 23). Comparado con el sitio Praxedis, los valores N_0 y k de San Agustín son mayores, esto podía estar relacionado con el tipo de textura del suelo y el clima (Castellanos *et al.*, 2000). El modelo exponencial utilizado fue $N_m = N_0 (1 - e^{-kt})$, por ejemplo para el control el modelo sería $N_m = 725.121 (1 - e^{-(0.0002185)t})$ y para el tratamiento de 60 t/ha sería $N_m = 1214.188 (1 - e^{-(0.000173)t})$.

Cuadro 23. Valores predichos de N inorgánico (mg/kg) sitio San Agustín (destilador).

Predichos	Tratamientos (dosis de biosólido t/ha)			
	0	20	40	60
$B_0 (N_0)$	725.121	833.38	498.34	1214.188
$B_1 (k)$	0.0002185	0.000221	0.000324	0.000173
R (correlación)	0.999	0.999	0.999	0.999
C.M.E	6.447	11.546	4.474	20.58
30	4.738	5.506	4.809	6.296
66	10.383	12.065	10.519	13.808
96	15.053	17.492	14.227	20.033
124	9.384	22.524	19.58	25.814
148	23.076	26.813	23.28	30.746

Los datos predichos de N inorgánico, no se ajustan a los datos observados, por lo que el modelo exponencial no es adecuado a esta respuesta y se podría buscar otra relación entre las variables estudiadas. Esta variación entre datos puede ser debida a las condiciones de humedad, temperatura y tipo de riego.

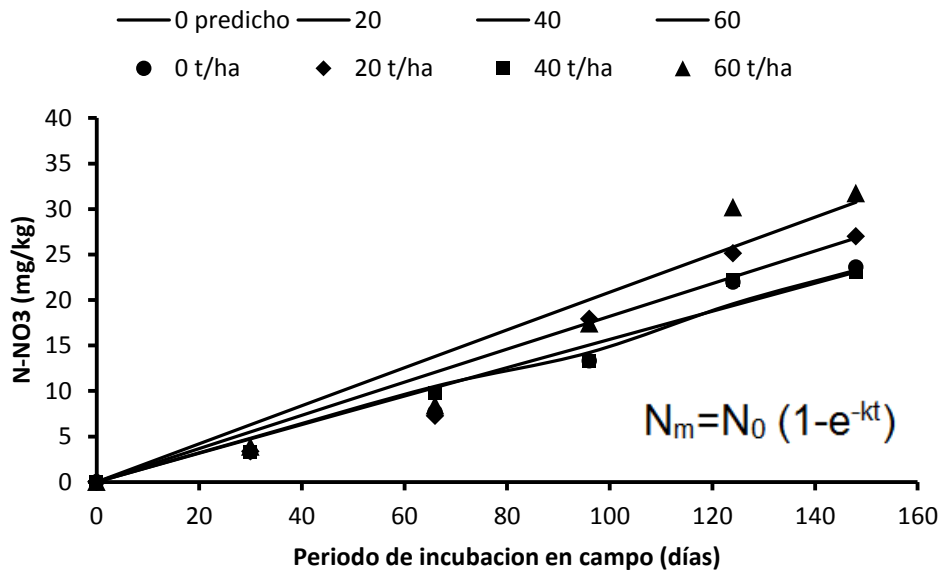


Figura 22. Valores predichos y observados de N inorgánico (mg/Kg) sitio San Agustín (destilador).

El análisis de varianza para los tratamientos del sitio Praxedis muestra que entre los datos acumulados existen diferencias significativas (Cuadro 24), esto conforme al valor Z observado, los acumulados Inc 1 hasta Inc 1+2+3 muestran un valor z más pequeños que las otras incubaciones. A su vez los datos de suelo, suelo más resina y el balance también son significativamente diferentes.

Cuadro 24. Análisis de varianza para N inorgánico (mg/kg) del sitio Praxedis (destilador).

	TRATAMIENTO	BLOQUE	C.M.E
INC 1	0.006 ^{Z**}	0.624	1.787
INC 1+2	0.008 ^{Z*}	0.201	3.825
INC 1+2+3	0.016 ^{Z*}	0.332	4.34
INC 1+2+3+4	0.013 ^Z	0.226	5.681
INC 1+2+3+4+5	0.055 ^Z	0.269	7.682
SUELO FINAL	0.019 ^{Z*}	0.727	558.79
SUELO + RESINA	0.019 ^{Z*}	0.773	636.69
BALANCE	0.019 ^{Z*}	0.773	636.994

^Z Valor p (N.S.O); * diferencia significativa (p<0.05); ** diferencia altamente significativa (p<0.01); C.M.E.= Cuadrado Medio del Error. Inc = incubación.

Se encontraron diferencias significativas a un valor de significancia de $p > 0.005$ para el sitio de Praxedis (método de destilador), Se observa que en la suma total de las cinco incubaciones el valor mayor de N inorgánico fue obtenido con el tratamiento de 60 t/ha y el valor menor correspondió al control (Cuadro 25). El balance muestra que el tratamiento que aportó más cantidad de N inorgánico fue el de 60 t/ha, seguido del de 20 t/ha y el de 40 t/ha.

Cuadro 25. Promedios de N inorgánico (mg/kg) para sitio Praxedis (destilador).

PERIODO	TRATAMIENTO (DOSIS DE BIOSÓLIDO T/HA)			
	0	20	40	60
INC 1	3.787 c	4.078 b c	6.329 a b	6.886 a
INC 1+2	7.097 a b	6.779 c	10.699 b c	10.382 a
INC 1+2+3	9.066 b	10.792 a b	13.191 a	13.598 a
INC 1+2+3+4	11.526 b	12.958 a b	15.25 a	17.181 a
INC 1+2+3+4+5	13.024 b	14.162 a b	16.106 a b	18.358 a
SUELO FINAL	64.78 b	102.35 a	70.95 a b	112.57 a
SUELO + RESINA	77.813 b	116.916 a	87.05 a b	130.929 a
BALANCE	24.313 b	63.416 a	33.55 a b	77.43 a

Letras diferentes señalan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

El N potencialmente mineralizable (N_0) varió para todos los tratamientos en el sitio Praxedis, con valores de 24 mg/kg para el tratamiento de 60 t/ha. La tasa constante de mineralización (k) fue variable en todos los tratamientos (Cuadro 24). El modelo exponencial utilizado fue $N_m = N_0 (1 - e^{-kt})$, por ejemplo para el control el modelo sería $N_m = 23.768 (1 - e^{-(0.00529)t})$ y para el tratamiento de 60 t/ha sería $N_m = 24.489 (1 - e^{-(0.0000924)t})$.

Cuadro 1. Valores predichos de N inorgánico (mg/kg) sitio Praxedis (destilador).

PARÁMETROS Y DÍAS	TRATAMIENTOS (DOSIS BIOSÓLIDO T/HA)			
	0	20	40	60
B_0 (N_0)	23.768	36.134	18.876	24.489
B_1 (K)	0.00529	0.00353	0.0129	0.00924
R (CORRELACIÓN)	0.095	0.998	0.962	0.984
C.M.E	0.0927	0.313	0.056	0.642
30	3.49	3.63	6.06	5.93
66	7.01	7.51	10.83	11.18
96	9.47	10.38	13.42	14.4
124	11.44	12.81	15.07	16.7
148	12.92	14.71	16.09	18.25

Los valores predichos de N inorgánico se ajustan de manera similar a los observados para el sitio Praxedis (Cuadro 24 y Figura 22). La línea muestra los datos predichos y las figuras en miniatura corresponden a los datos observados. Los datos siguen la tendencia de que a mayor dosis de biosólido aplicada, mayor cantidad de N inorgánico mineralizado.

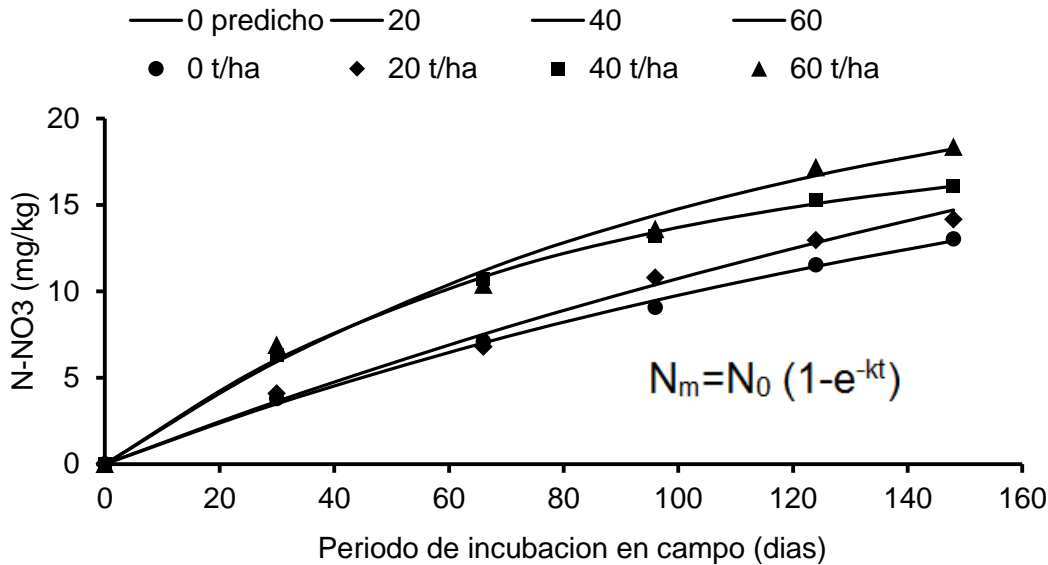


Figura 22. Valores predichos y observados de N inorgánico (mg/Kg) sitio Praxedis (destilador).

Silva et al., (2013) menciona que al emplear el modelo matemático de $N_m = (1 - e^{-kt})$, se asume que bajo ciertas condiciones ambientales la fracción de mineralización del N es proporcional a la cantidad de sustrato mineralizable en el suelo, así como los parámetros obtenidos con este modelo son útiles en la definición de balance entre las necesidades del cultivo y el N aportado por el biosólido aplicado en el suelo. Este modelo se ajustó con buen coeficiente de correlación en la mayoría de los datos observado del presente estudio.

El N potencialmente mineralizable (N_0) fue ajustado por el modelo exponencial con coeficientes de correlación entre 0.76 y 0.99. También el N_0 aumentó de manera proporcional a la dosis de biosólido, mientras que la tasa constante de mineralización (k) fue de 0.016 hasta 0.00017 mg/kg por día. Estos valores pueden utilizarse para futuras predicciones del N mineralizado en diferentes condiciones y mejorar el cálculo de las dosis de biosólidos que aplican los agricultores en el Valle de Juárez.

NTK del suelo inicial (método de la diferencia)

El valor de NTK inicial para el suelo de San Agustín fue de 591 mg/kg en promedio (Figura 23). Se han encontrado valores de 1281 mg/kg en años pasados en otros suelos de la región (Flores et al., 2010), con esto se observa que el contenido de NTK es variable. EL valor de NTK fue en promedio 1001 mg/kg para el sitio Praxedis (Figura 24), Se han encontrado valores de 1184 mg/kg en años pasados (Flores et al., 2010), con esto se observa que el contenido de NTK es variable.

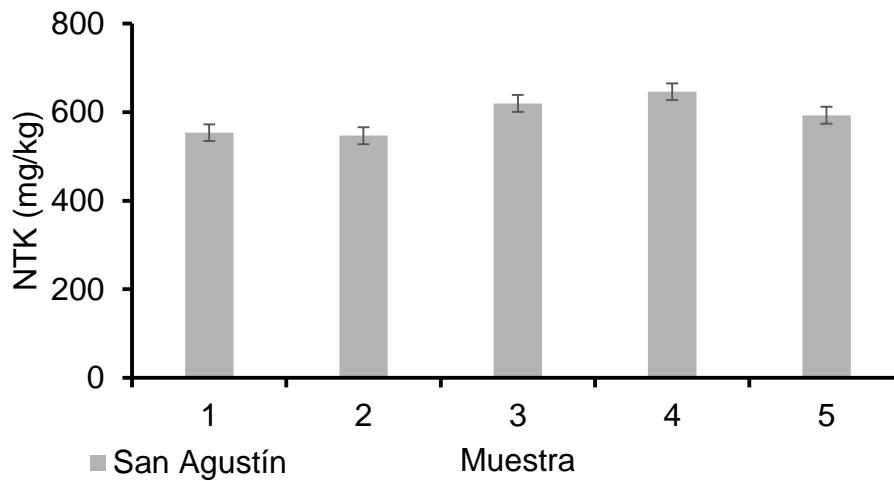


Figura 23. Valores de NTK inicial del suelo en para el sitio San Agustín.

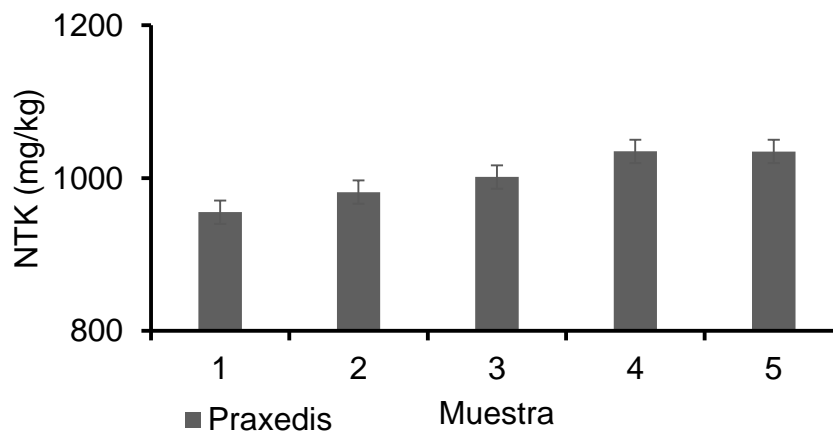


Figura 24. Valores de NTK iniciales del suelo para el sitio Praxedis.

NTK del suelo contenido en los cilindros al final de los experimentos

Se observa que para el sitio San Agustín existen diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 26), siendo el valor p . de 0.000, mientras que el efecto de bloques no fue significativo ($p > 0.05$). También, en cuanto al sitio Praxedis se observa que existen diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 27), siendo el valor sig. de 0.000, así como que el efecto de bloques no fue significativo ($p > 0.05$).

Cuadro 26. Análisis de varianza para NTK del suelo en el sitio San Agustín.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	Sig.
Tratamiento	246281.363	3	82093.788	19.613	0.000**
Bloque	13154.725	4	3288.681	0.786	0.556
Error	50228.791	12	4185.733		
Total	309664.879	19			

* Diferencia significativa ($p < 0.05$); ** diferencia altamente significativa ($p < 0.01$); G.L.= Grados de libertad

Cuadro 27. Análisis de varianza para NTK en suelo de sitio Praxedis

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	Sig.
Tratamiento	174042.227	3	58014.076	22.284	0.000**
Bloque	18504.417	4	4626.104	1.777	0.198
Error	31240.873	12	2603.406		
Total	30223787.517	19			

* Diferencia significativa ($p < 0.05$); ** diferencia altamente significativa ($p < 0.01$); G.L.=Grados de libertad

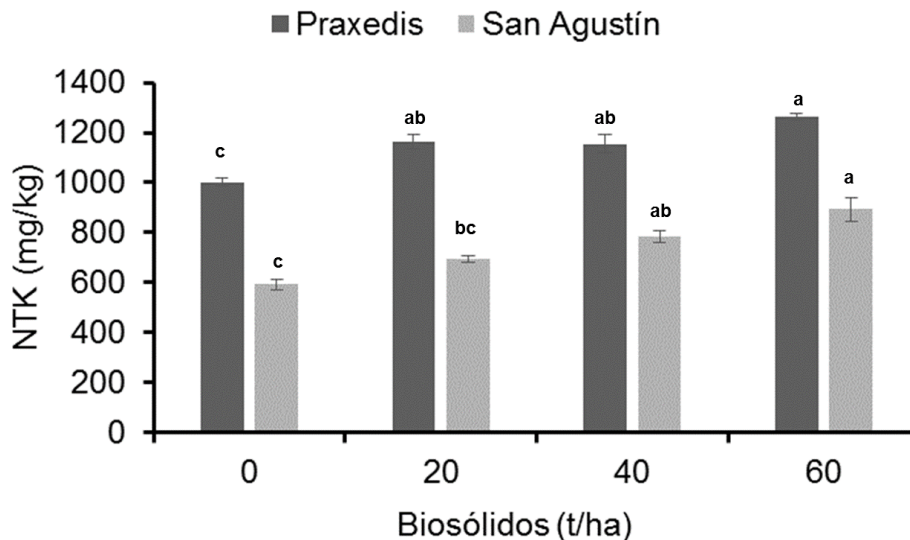


Figura 25. NTK en suelos con tratamientos con dosis de biosólidos.

El contenido de NTK en el suelo al final de los experimentos (148 días de incubación) se fue incrementando al aumentar la dosis de biosólido aplicada en el suelo (Figura 25). Estos datos corresponden al NTK residual, es decir la diferencia a lo aplicado es la mineralización de N. Para el sitio de San Agustín se registraron valores iniciales de 592 mg/kg para el control, mientras que de 892 mg/kg para el tratamiento de 60 t/ha, teniendo un aumento de NTK de 300 mg/kg. Para el sitio de Praxedis el valor inicial fue de 1001 mg/kg para el control y 1262 mg/kg para el tratamiento de 60 t/ha, siendo el aumento de 261 mg/kg al terminar el periodo de incubación (Cuadro 28).

En ambos sitios se formaron tres grupos estadísticos, que muestran diferencias significativas entre tratamientos a un valor $p \leq 0.05$. Para el sitio de San Agustín el tratamiento de 60 t/ha presentó un NTK más alto con 892 mg/kg, con respecto al control que fue de 591, aportó 301mg/kg más de N al suelo. Para el sitio Praxedis el tratamiento de 60 t/ha aportó 1262 t/ha comparándolo con el control de 1001 t/ha, aportó 261 mg/kg de N. El contenido de arena en los suelos podría tener algún efecto, debido a que Flores et al., (2010) encontraron que el suelo arenoso tuvo las concentraciones de NTK más bajas, así como en este estudio el suelo con mayor conformación de arena que fue San Agustín con un contenido de 58% siendo el que presenta la menor cantidad de NTK, en cambio Praxedis presenta un 26% de arena y tuvo una mayor cantidad de NTK.

Cuadro 28. Contenido de NTK en mg/kg para ambos sitios.

Forma de N incubación	Tratamientos (dosis de biosólido t/ha)			
	0	20	40	60
NTK San Agustín	591.828 c	693.282 a b	784.272 b c	892.182 a
NTK Praxedis	1001.614 c	1162.664 b	115.448 b	1262.678 a

Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$.)

El NTK del suelo determinado al final del experimento fue proporcional al aumento de la dosis de biosólido en ambos sitios, sin embargo, en el suelo de San Agustín (Franco arenoso) con mayor contenido de arena (58%) fue menor que en el sitio Praxedis (Franco limosa) que tuvo menor contenido de arena (26%), pero los aumentos entre dosis fueron similares entre ambos sitios. Para el sitio San Agustín la diferencia entre el control y los tratamientos de 20, 40 y 60 t/ha fue de 101.454 mg/kg, 192.444 mg/kg y 300.354 mg/kg respectivamente. Para el sitio de Praxedis la diferencia entre el control y los tratamientos de 20, 40 y 60 t/ha fue de 161.05 mg/kg, 113.834 mg/kg y 261.064 mg/kg respectivamente.

Balance de NTK

Sitio San Agustín: se aplicaron inicialmente 937.66 kg/ha, 1875.32 kg/ha, 2812.98 kg/ha para los tratamientos 20, 40 y 60 t/ha (Cuadro 29), transcurridos los 148 días del experimento de mineralización en cilindros quedó un total de 228.68 mg/kg, 433.77 mg/kg y 676.99 mg/kg para cada dosis, teniendo así que el total de N mineralizado fue de 75.61 %, 76.87% y 75% respectivamente.

Cuadro 29. Balance de NTK para el sitio San Agustín.

Trat (dosis biosólido)	NTK		Diferencia		NTK aplicado (kg/ha)	NTK min (kg/ha)	% NTK min del total
	(m/kg)	NTK %	NTK en suelo	NTK quedo en suelo (mg/kg)			
0 t/ha	591.83	0.0592	0.00	0	0	0	0
20 t/ha	693.28	0.0693	101.46	228.68	937.66	708.98	75.61
40 t/ha	784.27	0.0784	192.44	433.77	1875.32	1441.55	76.87
60 t/ha	892.18	0.0892	300.35	676.99	2812.98	2135.99	75.93

min= mineralizado

Sitio Praxedis: se aplicaron inicialmente 937.66 kg/ha, 1875.32 kg/ha, 2812.98 kg/ha para los tratamientos 20, 40 y 60 t/ha (Cuadro 30), transcurridos los 150 días del experimento de mineralización en cilindros quedó un total de 363.01 mg/kg, 344.49 mg/kg y 588.44 mg/kg para cada dosis, teniendo así que el total de N mineralizado fue de 61.29 %, 81.63% y 79.08% respectivamente.

Cuadro 30. Balance de NTK para sitio Praxedis.

Trat (dosis biosólido)	NTK		diferencia		NTK aplicado (kg/ha)	NTK min (kg/ha)	% NTK min del total
	(m/kg)	% NTK	NTK en suelo	NTK quedo en suelo (mg/kg)			
0 t/ha	1001.61	0.1002	0.00	0	0	0	0
20 t/ha	1162.66	0.1163	161.05	363.01	937.66	574.65	61.29
40 t/ha	1154.45	0.1154	152.84	344.49	1875.32	1530.83	81.63
60 t/ha	1262.68	0.1263	261.07	588.44	2812.98	2224.54	79.08

min= mineralizado

Proteína en el grano de trigo

El contenido de proteína en el grano de trigo fue diferente significativamente ($p < 0.05$) entre las parcelas analizadas, pero no entre los tratamientos de estas, es decir con y sin biosólido (Cuadro 31).

Cuadro 31. Análisis de varianza para proteína de grano de trigo en seis parcelas comerciales.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	cuadrado medio	F	Sig.
Parcela	281.036	4	70.259	7.906	0.000
Trat (parcela)	25.395	4	6.349	0.714	0.587
Error	1597.306	41	8.887		
Total	665.47	49			

G. L.= Grados de libertad.

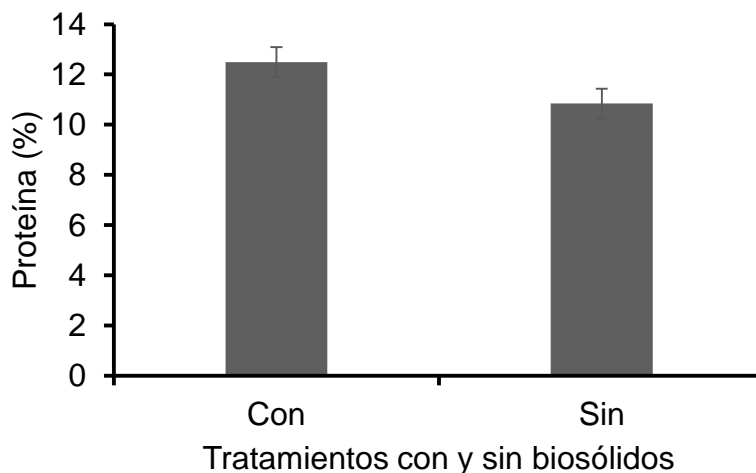


Figura 26. Porcentaje de proteína en grano de trigo en las parcelas con y sin aplicación de biosólidos.

La proteína en las parcelas con aplicación de biosólido tuvo en promedio 12.4% contra 10.8% que presentaron las parcelas sin aplicación de biosólidos (Figura 26), aunque se observa que la proteína fue mayor en aquellas parcelas con biosólidos, esto no resultó ser significativamente diferente ($p \leq 0.05$). Baloch, (1999) menciona que la proteína del grano de trigo oscila entre 10.6 y 14.6%, por lo que se observa en los resultados obtenidos que la proteína del grano de trigo del Valle de Juárez se encuentra dentro del intervalo señalado por la FAO; Se observa que los promedios de parcelas con y sin biosólido (Cuadro 32) presentaron como se mencionó anteriormente valores de nivel de proteína dentro de los criterios de evaluación de la FAO (Baloch, 1999). Flores et al., (2014) encontraron valores de proteína de 9.1% en la avena forrajera en parcelas tratadas con biosólidos, mientras que el control presentó un valor mayor de contenido de proteína (12.7%), sin embargo mencionan que ambos valores se encuentran dentro de lo requerido para la avena forrajera.

Cuadro 32. Promedios y desviación estándar del porcentaje de proteína en grano de trigo en las parcelas comerciales.

SITIO	TRATAMIENTO	PROMEDIO PROTEÍNA
E. PRIETO PACAS	con	9.934±0.634
	sin	11.901±1.604
E. PRIETO CANAL	con	17.932±8.573
	sin	11.901±8.573
POLO ALGODÓN 2014	con	12.533±1.835
	sin	10.751±1.423
POLO CASA	con	12.417±1.917
	sin	12.397±0.825
POLO W	con	9.661±0.905
	sin	8.311±0.912

Cuadro 33. Promedios de % de proteína en sitios muestreados del valle de Juárez.

Parcela	Promedios
Polo w	8.986 b
E. Prieto Pacas	11.245 b
Polo Algodón 2014	11.642 b
Polo casa	12.407 b
E. Prieto canal	17.932 a

Esta medición de proteína se considera una medición del efecto residual de los biosólidos, pues la aplicación de este material en las parcelas fue en el año 2015 y analizados en 2016. En cuanto a diferencias entre sitios se observa que el sitio de E. Prieto canal tuvo un promedio de 17.9% de proteína, esto fue significativamente mayor a los otros cuatro sitios, el sitio con menor % proteína fue el sitio de Polo w con un 8.9%. Esto puede explicarse en que las dosis de biosólidos fueron mayores a una dosis agronómica (Flores et al., 2010).

X.1.2. Experimentos de Invernadero.

Las características físicas y químicas del suelo y los biosólidos utilizados para los dos experimentos establecidos se muestran en la Cuadro 34. También se muestra la clasificación de los mismos según la NOM-021-RECNAT-2000 y NOM-004-SEMARNAT-2002. El agua utilizada fue agua potable de uso común que presentó un pH de 8.1 y una C.E de 2.7 dS/m. Estos valores se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994.

Cuadro 34. Características del suelo y los biosólidos utilizados y su clasificación según la NOM-021-RECNAT-2000 y la NOM-004-SEMARNAT-2002.

<i>Parámetro</i>	<i>Suelo</i>	<i>Biosólido</i>
Sitio de colecta	Ejido San Isidro	Planta tratadora de agua
Textura	Franco-arcilloso arenoso	-----
Humedad (%)	-----	75.01
Materia Orgánica (%)	2.01(Bajo)	68 (alto)
pH	8.16 (7.4 - 8.5 moderadamente alcalino)	8.51 (7.4 - 8.5 moderadamente alcalino)
C.E (dS/m)	2.98 (2.1 - 4 dS/m moderadamente salino)	7.51 (≥ 1 dS/m salino)
N inorgánico (mg/kg)	5.05 (≤ 10 mg/kg bajo)	65.53 (≤ 10 mg/kg alto)
NTK	875.7011 mg/kg	42016.812 mg/kg (4.2 %)

El contenido de sales de los biosólidos puede ocasionar alteraciones como la reducción del potencial osmótico en el suelo, lo cual afecta a la capacidad de retención de agua y esto puede impedir el desarrollo óptimo de algunos cultivos. Sin embargo, Robledo et al., (2010) al utilizar biosólidos clasificados como muy salinos con C.E de 9.85 dS/m concluyeron que la adición de estos al suelo incrementó la cantidad de sales solubles, pero esto no afectó al rendimiento del cultivo de pasto ballico (*Lolium perenne*) cuando se utilizó una dosis de aplicación de 80 t/ha. También menciona que la aplicación de la dosis de 120 t/ha afectó negativamente el rendimiento del cultivo debido a la salinidad excesiva. En el caso de nuestro estudio, aunque el suelo es clasificado como moderadamente salino, la salinidad proporcionada por los biosólidos es muy alta, ya que la C.E fue de 7.51 dS/m, lo cual difiere de lo reportado por Flores et al., (2007) donde la C.E de los biosólidos utilizados en el estudio fue de 12.5 dS/m, así como Flores et al., (2010) donde la C.E de los biosólidos fue de 3.4 dS/m, pero concuerda con lo reportado por Figueroa et al., (2010) en el que los biosólidos presentaron una C.E de 8.2 dS/m. Esto reafirma la idea de que los biosólidos presentan características muy variables entre sí, en cuanto al contenido de sales solubles, ya que los dos estudios mencionados utilizaron biosólidos obtenidos de las PTAR de Ciudad Juárez, Chihuahua. Es decir, la aplicación de dosis agronómica de biosólidos no afecta el aumento de sales en el suelo. La definición de dosis agronómica es donde la cantidad de biosólidos a aplicar depende del tipo de suelos, potencial productivo del cultivo y características fisicoquímicas del biosólidos (Sullivan, 1999).

Experimento 1. Respuesta agronómica del pasto bermuda (*C. dactylon*) a la aplicación de biosólidos

Parámetros fenológicos

El análisis estadístico de los parámetros para determinar la respuesta agronómica del pasto bermuda (*C. dactylon*) indica que hay diferencias significativas entre los promedios para los parámetros de peso seco, peso fresco obtenido de tres cortes o cosechas parciales y el rendimiento de forraje acumulado, así como para el índice de clorofila determinado después del primer corte o poda de inicio a los 40 días y a los 60 días después de la poda. Las diferencias significativas determinados por los valores P obtenidos de los análisis de varianza y los grupos formados por comparación de promedios de Tukey se muestran en la Cuadro 35.

Cuadro 35. Promedios de los diferentes parámetros medidos para determinar la respuesta agronómica del pasto bermuda a los diferentes tratamientos.

Parámetro	Tratamiento (t/ha)				ValorP
	0	20	40	60	
Altura C1 (cm)	23.6 ± 2.91 a	26.0 ± 2.78 a	17.8 ± 1.82 a	26.5 ± 3.65 a	0.161
Altura C2 (cm)	22.1 ± 2.76 a	30.2 ± 5.43 a	21.9 ± 4.22 a	26.8 ± 2.53 a	0.398
Altura C3 (cm)	38.8 ± 4.40 a	49.2 ± 7.60 a	39.7 ± 6.26 a	44.7 ± 3.31 a	0.548
CrecAcum(cm)	45.5 ± 9.35 a	55.2 ± 12.45 a	40.82 ± 7.61 a	54.1 ± 9.93 a	0.702
Peso Fresco (g/maceta)					
Cosecha 1	0.77 ± 0.16 b	1.10 ± 0.19 ab	1.09 ± 0.21 ab	1.89 ± 0.34 a	0.031*
Cosecha 2	1.91 ± 0.39 a	2.61 ± 0.34 a	2.34 ± 0.27 a	3.17 ± 0.45 a	0.158
Cosecha 3	2.34 ± 0.31 b	6.63 ± 1.44 a	6.83 ± 0.93 a	9.19 ± 0.63 a	0.001*
Acumulado	4.92 ± 0.84 b	10.35 ± 1.72 ab	10.26 ± 1.35 ab	14.26 ± 1.39 a	0.002*
Peso seco (g/maceta)					
Cosecha 1	0.38 ± 0.09 a	0.57 ± 0.11 a	0.51 ± 0.11 a	0.89 ± 0.17 a	0.089
Cosecha 2	0.80 ± 0.16 a	1.21 ± 0.18 a	1.00 ± 0.16 a	1.53 ± 0.28 a	0.111
Cosecha 3	0.85 ± 0.10 b	2.26 ± 0.55 ab	2.44 ± 0.35 a	3.20 ± 0.21 a	0.002*
Acumulado	1.95 ± 0.20 b	4.04 ± 0.69 ab	3.96 ± 0.57 ab	5.61 ± 0.61 a	0.002*
Índice de clorofila 40 ddt	108.6 ± 1.80 b	127.4 ± 5.24 ab	139 ± 6.84 a	152.4 ± 10.2 a	0.002*
Índice de clorofila 60 ddt	93.4 ± 4.65 b	106.2 ± 6.72 b	117.2 ± 6.48 ab	134.6 ± 7.74 a	0.003*

(*Diferencias significativas utilizando un alfa de 0.05; ddt= días después del trasplante; a,ab,b= grupos formados por comparación de promedios Tukey)

Según los resultados del análisis de varianza, la respuesta agronómica del pasto bermuda aumento significativamente en proporción a la dosis de biosólido aplicada, esto concuerda con otros autores que utilizaron diferentes especies de plantas y diferentes condiciones de estudio pero observaron la misma tendencia (Guerra et al, 2004; Flores-Margez et al, 2010; Imperial et al. 2003) aunque según la comparación de promedios de Tukey para todos los parámetros medidos el tratamiento de 40 t/ha y el de 60 t/ha son estadísticamente iguales. Por otro lado, Rodríguez et al., (2012) realizaron un estudio muy similar al que se presenta utilizando pasto buffel y dos tratamientos de biosólidos de 20 y 40 t/ha y no obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos para el parámetro de altura de planta y cobertura vegetal.

Proteína cruda en plantas cultivadas en suelos tratadas con biosólidos

El análisis de NTK para determinar el porcentaje de proteína en el material vegetal cosechado indicó que existen diferencias significativas entre todos los tratamientos de todos los cortes analizados presentándose el mayor porcentaje en el tratamiento de 60 t/ha para la cosecha 3 con un promedio de 21.16% y los porcentajes más bajos en el tratamiento control (Cuadro 36).

Cuadro 36. Promedios de los porcentajes de proteína cruda las cosechas de pasto bermuda para los diferentes tratamientos (ANOVA y prueba de promedios Tukey).

Parámetro	Tratamiento (t/ha)				Valor P
	0	20	40	60	
Proteína cruda C1 (%)	8.07825 c	12.3992 b	12.64625 b	15.4566 a	0.000 *
Proteína cruda C2 (%)	8.8214 c	15.4114 b	17.5148 b	18.1894 a	0.000 *
Proteína cruda C3 (%)	16.9392 b	19.5342 ab	18.7874 ab	21.1648 a	0.000 *
Proteína cruda Final (%)	3.2398 b	4.9274 b	6.9782 a	8.257 a	0.000 *

(*Diferencias significativas utilizando un alfa de 0.05; a, ab, b, c= grupos formados por comparación de promedios Tukey; ddt= días después del trasplante)

En el caso del porcentaje de NTK en el pasto buffel, Rodríguez et al., (2012) encontraron diferencias significativas entre los dos tratamientos y el tratamiento de 40 t/ha tuvo la mayor cantidad que fue 2.02 % que si es convertido a porcentaje de proteína cruda multiplicándolo por el factor de conversión de 6.25 es igual a 12.62 %. El periodo de este estudio fue de 45 días y no se realizaron podas. Del pozo y Herrera (2012) en un estudio donde observaron la dinámica de asimilación de N en tres diferentes especies del género *Cynodon* mencionan que este tiende a disminuir la asimilación de N al aumentar la edad. Esto junto con el factor temperatura registrado para el presente estudio, explica la disminución de proteína cruda en planta para la cosecha final.

Experimento 2: Evaluación de Técnicas de incubación para medir la mineralización del N utilizando resinas de intercambio iónico

Capacidad de adsorción de las resinas

La cinética de resinas mostró que la cantidad de 20 g de resina es capaz de capturar el 75% del N a partir de una solución nitrato de amonio de 200 ppm de N en condiciones de laboratorio antes de llegar a saturarse (Figura 27). Los datos se ajustaron a un modelo de primer orden y a uno de pseudo segundo orden (Figuras 28 y 29) y los parámetros obtenidos se muestran en el Cuadro 37.

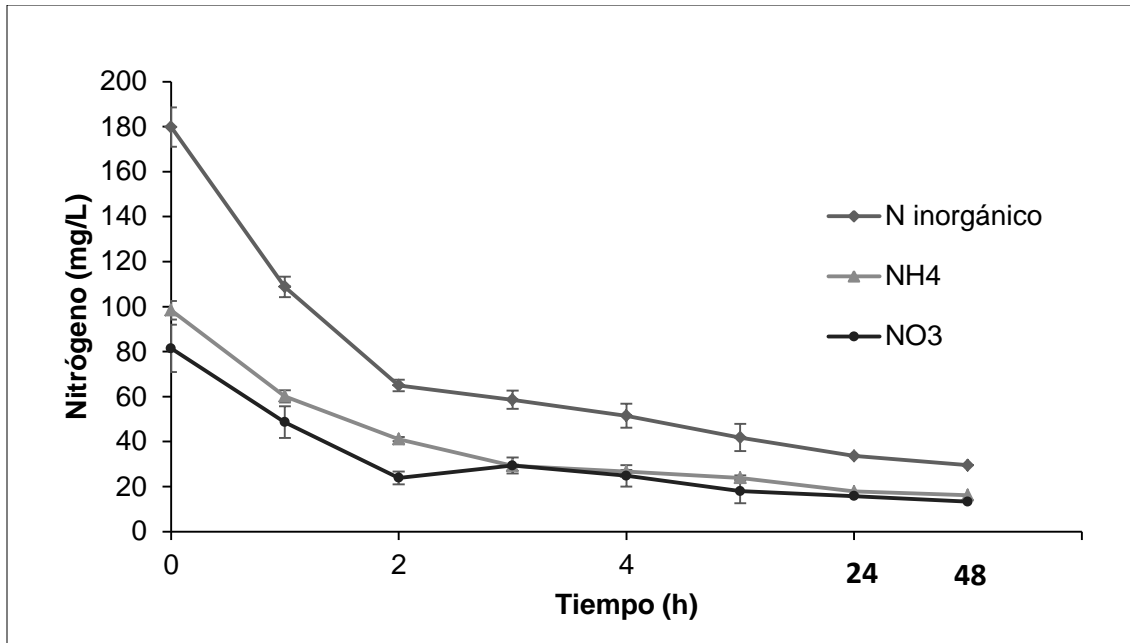


Figura 27. Capacidad de adsorción de resinas por cinética de adsorción

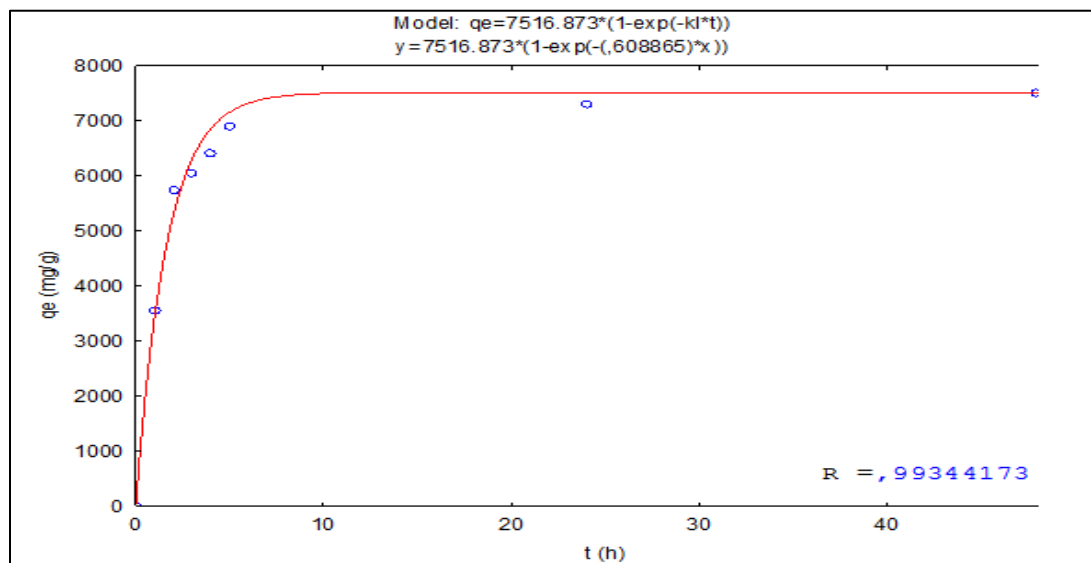


Figura 28. Modelo de primer orden aplicado a proceso de adsorción de N inorgánico sobre resina.

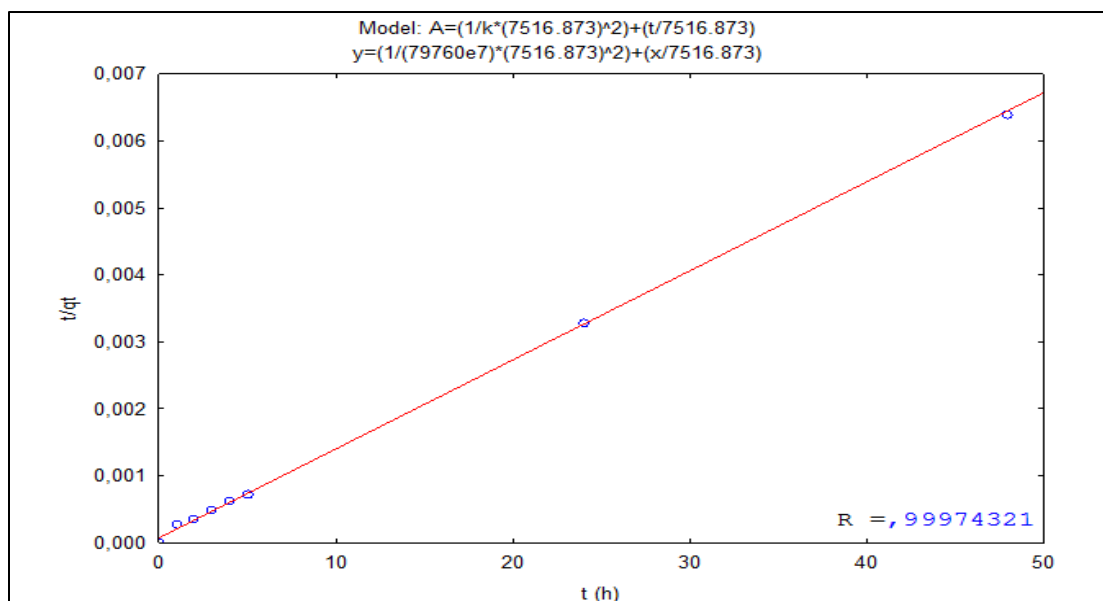


Figura 29. Modelo de pseudo-segundo orden aplicado a proceso de adsorción de N inorgánico sobre resina.

Cuadro 37. Parámetros obtenidos de los modelos cinéticos de primero y pseudo-segundo orden aplicados al proceso de sorción Nitrógeno inorgánico, N-NH₄ y N-NO₃ en una resina de intercambio iónico a una concentración de (180 mg/L).

<i>Modelos cinéticos</i>	Parámetros	<i>N- Inorgánico</i>	<i>N-NH₄</i>	<i>N-NO₃</i>
	q _e (mg/g)	7516.87	4110.79	3406.08
Primer orden qt= qe (1-e ^{-(KL)*t})	K _L (h ⁻¹)	0.6087	0.5872	0.6390
	R	0.9934	0.9977	0.9783
Pseudo-segundo orden $\frac{t}{qt} = \frac{1}{K(qe)^2} + \left(\frac{t}{qe}\right)$	K (g/mg)	7.9 x 10 ⁴	1.3 x 10 ³	7.1 x 10 ²
	R	0.9997	0.9997	0.9997

También se observó en el experimento de cinética por columna que 1.5 g de resina pueden remover todo el N de una solución efectivamente cuando han pasado a través de esta 100 mL de una solución de nitrato de amonio de 180 ppm y que alrededor de los 200 mL 1.5 g de resina empiezan a perder la mitad de su capacidad de adsorción lo que marca el límite de operación llegando a su saturación a los 250 mL conocido como punto de agotamiento (Figura 30).

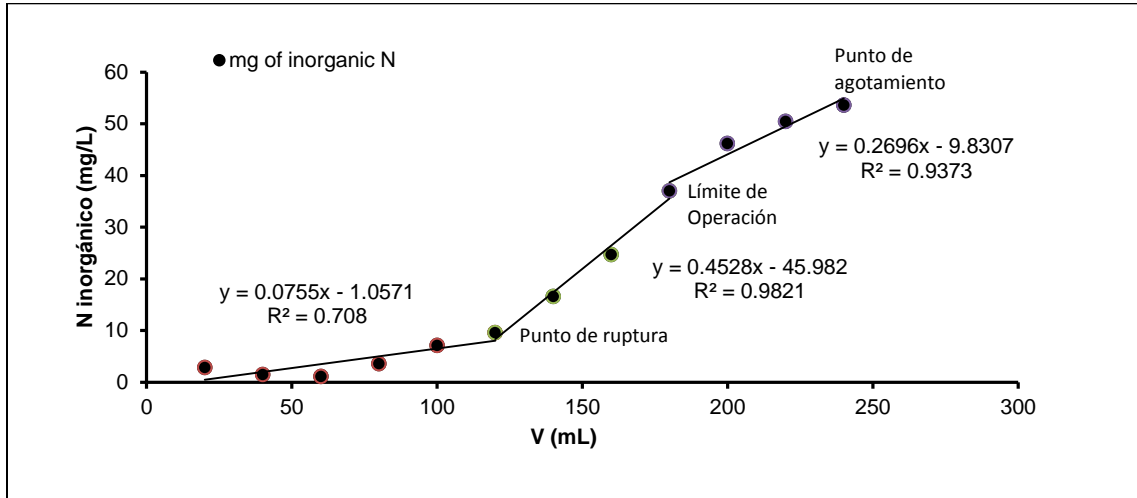


Figura 30. Capacidad de adsorción de las resinas en el experimento de bomba de flujo inverso.

Evaluación de técnicas para determinar mineralización de N

N inorgánico del suelo al final del experimento

El N inorgánico en forma de amonio y nitrato (NH_4 y NO_3) del suelo de los cilindros al final del experimento fue significativamente diferente entre el control y el tratamiento presentando concentraciones de 53.74 y 68.05 mg/kg, respectivamente. Para el caso de los embudos (15 x 15 cm) también se presentaron diferencias significativas entre el tratamiento y el control, con concentraciones N inorgánico de 27.85 y 59.87 mg/kg (Cuadro 38 y 39). Este resultado indica que hubo una mayor mineralización en el cilindro y en el embudo con tratamiento, pero también se observa un fenómeno en el que el suelo de los controles, el contenido de N inorgánico del cilindro es el doble que el de los embudos. Esto podría indicar que la mineralización natural del suelo es afectada en el embudo y posiblemente atribuida a mayor retención de humedad en el suelo por efecto del embudo y reducir el flujo de aire y humedad en todas direcciones, lo que podría haber provocado una condición de falta de oxigenación y por ende, menor actividad microbológica en el suelo, lo que se reflejó en menor cantidad de N mineralizado y captado en las resinas.

Cuadro 38. Promedios y prueba T de student para N inorgánico de las muestras de suelo de los cilindros al final del experimento.

Cilindros	NH₄ (mg/kg de suelo)	NO₃ (mg/kg de suelo)	N inorgánico (mg/kg de suelo)
Suelo Cilindro C	17.69± 1.67 a	36.06 ± 4.88 a	53.75 ± 2.5 b
Suelo Cilindro T	18.37± 0.83 a	49.67 ± 5.75 a	68.04 ± 3.5 a
valor P	0.362	0.05445	0.0463*

C= Control; T=Tratamiento

Cuadro 39. Promedios y prueba T de student para N inorgánico de las muestras de suelo de los cilindros.

Embudos	NH₄ (mg/kg de suelo)	NO₃ (mg/kg de suelo)	N inorgánico (mg/kg de suelo)
Suelo Embudo C	15.65 ± 2.30 b	12.25± 1.36 b	27.89± 2.5 b
Suelo Embudo T	23.81 ± 1.86 a	36.06± 2.54 a	59.87± 3.5 a
valor P	0.012*	0.000*	0.000*

C= Control; T=Tratamiento

N inorgánico captado por las resinas

Se determinó el N inorgánico en forma de NH₄ y NO₃ extraído de las resinas cada periodo de incubación tanto de los embudos como de los cilindros. También se realizó una prueba de T de student para determinar las diferencias significativas entre el tratamiento y el control encontrando que en la técnica de cilindros el tratamiento mostró cantidades de N inorgánico significativamente mayores que las del control para todos los periodos de incubación mientras que en la técnica de embudos, solo hay diferencias significativas entre el tratamiento y el control en el primer periodo de incubación y en el último. Los promedios y valores P se muestran en las Cuadros 40 y 41.

Cuadro 40. Nitrógeno inorgánico capturado en las resinas de los cilindros en los diferentes periodos de incubación.

Cilindros P. Inc	NH ₄ (mg/kg)	Valor P	NO ₃ (mg/kg)	Valor P	N inorgánico (mg/kg)	Valor P
23- Oct C	5.55± 0.37 b	0.000*	18.94 ± 0.56 b	0.030*	24.49 ± 0.39 b	0.002*
23- Oct T	38.7 ± 6.04 a		32.79± 6.34 a		70.96 ± 11.81 a	
21- Nov C	8.18 ± 0.51 b	0.000*	14.70 ± 0.56 b	0.0011*	22.88 ± 0.53 b	0.000*
21- Nov T	30.25 ± 1.76 a		23.74 ± 1.96 a		54.00 ± 1.63 a	
11-Dic C	9.40 ± 1.02 b	0.048*	10.74 ± 1.52 b	0.000*	20.15 ± 2.39 b	0.001*
11-Dic T	11.59 ± 0.52 a		21.48 ± 1.50 a		33.07 ± 1.87 a	
16- Ene C	3.81 ± 0.42 b	0.008*	10.74 ± 0.84 b	0.005*	14.55 ± 0.82 b	0.002*
16- Ene T	5.65 ± 0.44 a		24.88 ± 4.16 a		30.53 ± 4.18 a	

(C= Control T=Tratamiento P. Inc= Periodo de incubación)

Cuadro 41. Nitrógeno inorgánico capturado en las resinas de los embudos en los diferentes periodos de incubación.

Embudos	NH ₄ (mg/kg)	Valor P	NO ₃ (mg/kg)	Valor P	N inorgánico (mg/kg)	Valor P
23- Oct C	0.31 ± 0.17 b	0.000*	1.05 ± 0.17 b	0.205	1.36 ± 0.17 b	0.000*
23- Oct T	2.18 ± .07 a		1.22 ± .09 a		3.40 ± 0.15 a	
21- Nov C	0.78 ± 0.08 b	0.017*	2.02 ± 0.27 a	0.266	2.80 ± 0.35 a	0.15
21- Nov T	1.06 ± .07 a		2.33 ± 0.39 a		3.40 ± .40 a	
11-Dic C	0.52 ± 0.04 b	0.014*	1.89 ± 0.50 a	0.0073	2.42 ± 0.51 a	0.059
11-Dic T	0.72 ± 0.06 a		3.63 ± 0.95 a		4.36 ± 0.98 a	
16- Ene C	0.35 ± 0.02 a	0.132	1.24 ± 0.02 b	0.007 *	1.59 ± 0.22 b	0.004*
16- Ene T	0.45 ± 0.08 a		4.71 ± 1.10 a		5.17 ± 1.03 a	

(C= Control T=Tratamiento P. Inc= Período de incubación)

En los cilindros la mayor captación de N inorgánico por las resinas ocurrió en el primer periodo de incubación que fue de 13 días iniciando el 10 de octubre y terminando el 23 de ese mismo mes tanto para el tratamiento como para el control y la menor captación ocurrió durante el periodo más largo que fue de 36 días lo cual nos podría indicar que acortando el periodo de incubación de las resinas podría disminuir los sesgos en la medición, tal y como lo mencionan Abril et al (2001). Sin embargo, esta tendencia podría también estar relacionada con la temperatura, ya que el proceso de mineralización se ve afectado por el descenso de la temperatura (Celaya-Michel et al, 2011; Flores et al, 2010, Uribe et al, 2006) y en el periodo en que se realizó el experimento coincide con el periodo de otoño-invierno y se presentaron temperaturas bajas en los meses de diciembre y enero (Figura 31).

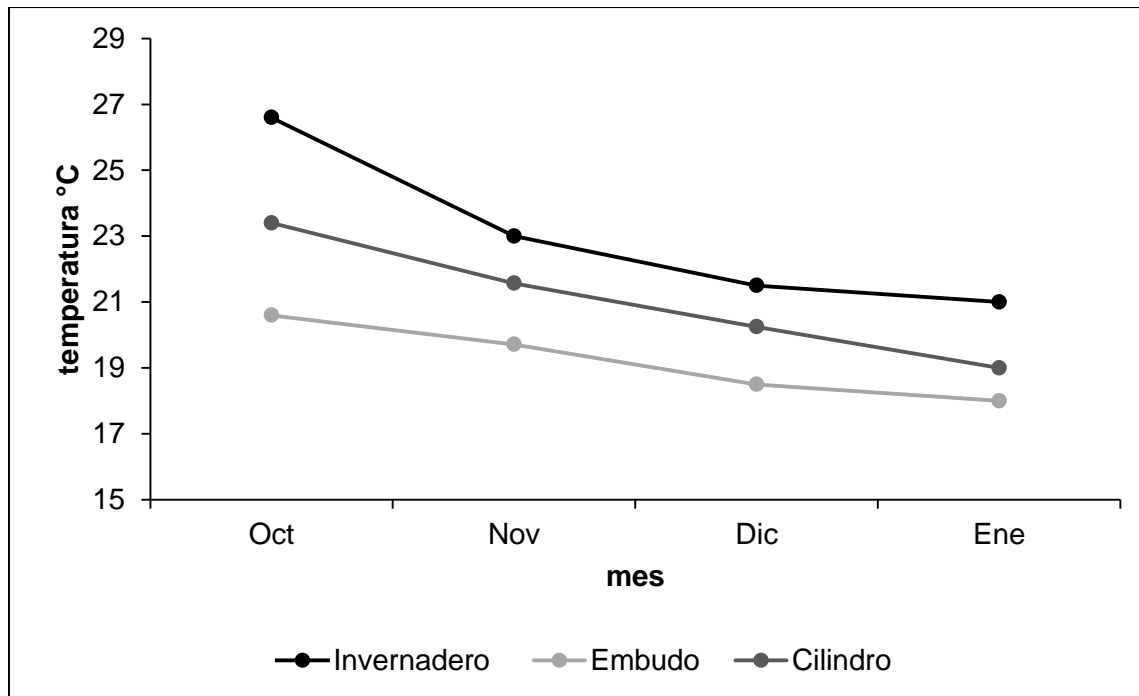


Figura 31. Comportamiento de la temperatura promedio durante los meses que duro el experimento de técnicas de incubación para medir mineralización de N.

En el caso de los embudos, las concentraciones de N inorgánico fueron muy bajas en comparación con los cilindros, lo cual no se esperaba ya que la cantidad de suelo que contenía el embudo era 20 veces mayor que la del cilindro por lo que se esperaba obtener mayores cantidades de N inorgánico en las resinas de los embudos. La mayor captación por las resinas ocurrió en el último periodo que concluyó en el 16 de enero y tuvo una duración de 36 días.

La baja captación de N inorgánico por las resinas en la técnica de embudos pudo deberse a factores que afectan la capacidad de adsorción de las resinas, ya que por las captación de las resinas en la técnica de embudos y el N inorgánico encontrado en el suelo de los dos experimentos (Cuadro 42) se puede inferir que hay un sesgo en la medición del N inorgánico con

esta técnica y puede ser por factores micro ambientales del sistema completo (suelo, embudo y resina) o por la afinidad de las resinas con algún otro compuesto que se haya encontrado presente en el suelo (Cortijo, 2013; La Peña y Rigola, 1989).

Porcentaje de N mineralizado acumulado en las resinas

El porcentaje de N acumulado captado por las resinas de los cilindros muestra que esta técnica es mejor para medir la mineralización a comparación de los embudos donde el porcentaje para el mismo tratamiento de 40 t/ha es menor (Cuadro 40).

Cuadro 42. Porcentaje de N mineralizado acumulado captado por las resinas al final del experimento

Trat. (t/ha)	NTK inicial (mg/kg)	N inorg. Resinas (mg/kg)	% de N min en resinas
Cilindro Control	875.70	135.84	15.51
Cilindro 40	1191.34	256.62	21.54
Embudo Control	875.70	36.09	4.12
Embudo 40	1159.71	76.23	6.57

Nitrógeno potencialmente mineralizable

El N potencialmente mineralizable proveniente de los biosólidos en cierto periodo se puede predecir ajustando los datos observados a una ecuación exponencial simple. Utilizando este modelo y los datos observados de N min, se calcularon los siguientes parámetros N_0 = Nitrógeno potencialmente mineralizable, K = tasa constante de mineralización, R^2 = coeficiente de correlación y N_m = Nitrógeno mineralizado predicho con el modelo (Pred) (Cuadro 43). Aunque las tendencias de los datos podrían ajustarse a una línea recta, es importante mencionar que la mayoría de las tendencias del proceso de mineralización se ajustan a un modelo exponencial donde se calcula el N_0 y la k para una mejor precisión y uso predictivo de la ecuación al tener el mínimo error (Flores et al., 2007).

El N_0 mayor se observó en el embudo con tratamiento con un valor de 2083.66 mg/kg pero también se observa que en este se obtuvo la K más baja, lo cual puede explicarse diciendo que a mayor cantidad de materia orgánica la descomposición de la misma es más lenta lo cual concuerda con Flores et al., (2007) y Trevizo (2016). Sin embargo, estos resultados podrían no describir lo que verdaderamente ocurre en el suelo, ya que para el cilindro con tratamiento y el cilindro control, la N_0 fue muy similar con 372.84 y 308.26 respectivamente, pero las K si variaron siendo mayor la del tratamiento casi el doble a comparación del control con valores de 0.0051 y 0.0102 lo cual indica que el tratamiento con biosólido beneficia a la tasa constante de mineralización (Silva et al, 2013).

Cuadro 43. Valores predichos de N mineralizado con los valores obtenidos del modelo simple exponencial $N_m = N_o(1 - e^{-kt})$.

Trat	No(mg/kg)	K(mg/dia)	R ²	Días	Nm Pred	Nm Obs
CC	308.2613	0.005149	0.997	13	44.12	40.65
				42	81.93	78.70
				62	104.08	111.80
				98	138.63	135.84
CT	372.84	0.01024	0.986	13	98.63	95.73
				42	171.17	169.4
				62	208.53	214.56
				98	259.2	256.62
EC	572.27	0.000573	0.999	13	9.77	6.013
				42	19.37	18.26
				62	25.67	29.04
				98	36.85	36.09
ET	2083.66	0.000308	0.999	13	19.18	15.84
				42	38.18	31.8
				62	50.75	52.47
				98	73.18	76.22

CC= Cilindro control, CT= Cilindro tratamiento ET= Embudo tratamiento, EC=Embudo control, K=tasa constante de mineralización, No=Nitrógeno potencialmente mineralizable, Nm Pred= Nitrógeno mineralizado predicho, Nm Obs= Nitrógeno mineralizado observado, R²= Coeficiente de correlación).

Aunque ambos coeficientes de correlación fueron significativos, los datos observados se ajustaron a los datos predichos de mejor manera en la técnica de embudos, con coeficientes de correlación de 0.999, para la técnica de cilindros los coeficientes fueron de 0.997 para el control y 0.986 para el tratamiento, sin embargo todos los valores nos indican que el modelo se ajustó a todos los datos observados (Figura 32).

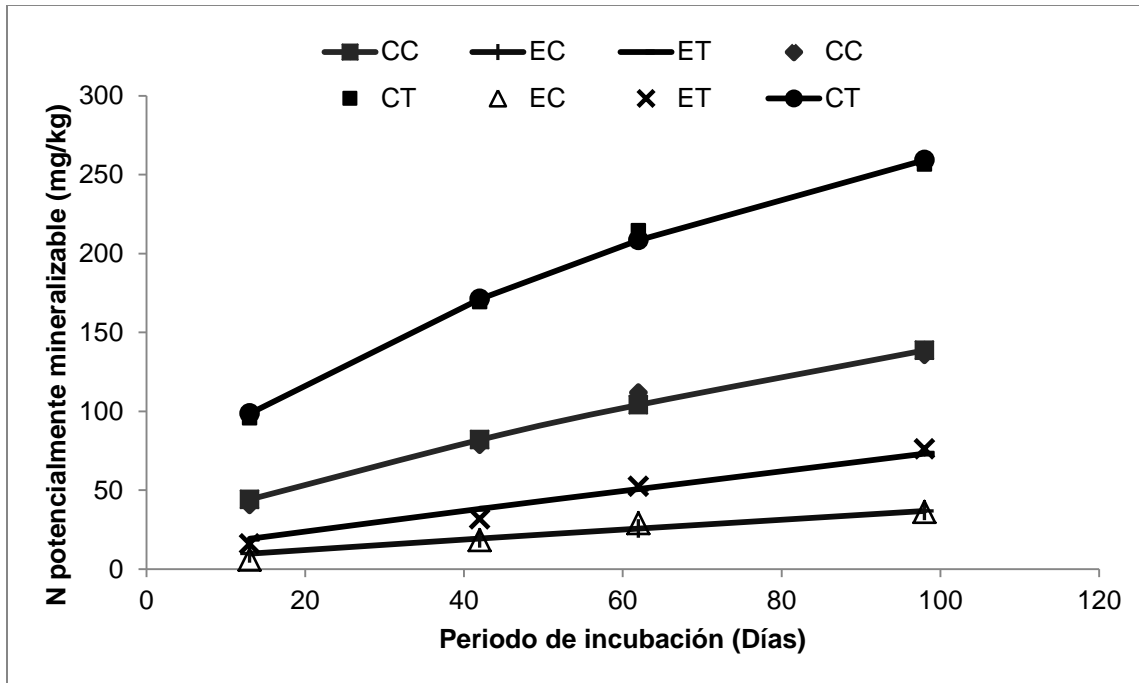


Figura 32. Nitrógeno potencialmente mineralizable de los biosólidos determinado por incubaciones con resinas en función de los datos de N_{min} observados (representado por las figuras) y los datos predichos (representado por las líneas) utilizando el modelo exponencial simple de Stanford & Smith (1972). (CT= Cilindro tratamiento; CC= Cilindro control; ET= Embudo tratamiento; EC= Embudo control).

Mineralización de Nitrógeno determinada por método de diferencia en el suelo de los dos experimentos.

Experimento con Pasto bermuda (*C. dactylon*)

El porcentaje de mineralización de N en el experimento de plantas de *C. dactylon* aumenta conforme a la dosis de aplicación de biosólidos, pero también se puede observar un fenómeno en el que el tratamiento de 40 t/ha presentó mayor porcentaje de mineralización de N comparado con el de 60 t/ha aunque la diferencia entre ellos fue muy poca (Cuadro 44) lo cual puede indicar que una dosis de biosólido de 40 t/ha produce un 50% de mineralización de N en un periodo de 4 meses.

Cuadro 44. Porcentaje de mineralización de N en los tratamientos del experimento de pasto bermuda

Trat. (T/ha)	NTK suelo inicial (mg/kg)	NTK suelo final (mg/kg)	Desv. Std	% de min
0	875.70	816.24	104.03	6.78
20	1469.65	940.14	81.12	36.02
40	2063.60	1033.93	163.09	49.89
60	2657.55	1391.77	232.03	47.62

Otros autores utilizando diferentes dosis han encontrado porcentajes de hasta 44 % (Kumar et al, 2014) en las dosis de aplicación de biosólidos de 20 t/ha, lo cual no concuerda con esta investigación, ya que se encontró un porcentaje de mineralización de 36% para esta dosis. En cuanto a las dosis de 40 t/ha, la bibliografía muestra que el porcentaje de mineralización encontrado es de 20 a 24% en suelos arcillosos y franco-arcilloso-arenoso (Hafidi et al, 2012; Roig et al, 2012). Esto indica que el porcentaje de mineralización tiene que ver con la textura del suelo y con el tratamiento que se les dé a los biosólidos antes de ser usados, así como a la temperatura y humedad del suelo (Echeverría et al., 2000).

Cuadro 45. Resultados de porcentaje de mineralización de N obtenidos por otros autores utilizando biosólidos

autores	Tipo de suelo	tratamiento	dosis de aplicación	% de mineralización de N
Hafidi et al, 2012	Arcilloso	biosólido compostado	42 t/ha	20-24%
Flores et al, 2010	Arcilloso	biosólidos estabilizados con cal	60 t/ha	28%
Kumar et al, 2014	No específica	biosólidos centrifugados	25 t/ha	44%
Roig et al, 2012	Franco-arcilloso-arenoso	biosólidos estabilizados anaeróbicamente	40 t/ha	20-22 %
Roig et al, 2013	Franco-arcilloso-arenoso	biosólidos estabilizados anaeróbicamente	80 t/ha	18 a 20%

Técnicas de incubación

El porcentaje de mineralización de N proveniente de biosólidos en el experimento de técnicas indica que en el suelo del cilindro y del embudo con dosis de aplicación de 40 t/ha presentan 25.92% y 21.04% de mineralización respectivamente (Cuadro 46) y este resultado concuerda con lo encontrado en la bibliografía muestra que el porcentaje de mineralización es de 20 a 24% en suelos arcillosos y franco-arcilloso-arenoso (Hafidi et al, 2012; Roig et al, 2012). Si se compara este porcentaje con el obtenido en el experimento de pasto bermuda para la misma dosis se observa que este es mayor, esto podría explicarse por la presencia de raíces y microorganismos asociados a estas pueden beneficiar la descomposición de la materia orgánica y por lo tanto aumentar el porcentaje de mineralización (Cerrato y Alarcon, 2001).

Cuadro 46. Porcentaje de mineralización de N proveniente de biosólido en los tratamientos del experimento de evaluación de técnicas de incubación.

Trat. (T/ha)	NTK suelo inicial (mg/kg)	NTK suelo final (mg/kg)	Desv. Std	% de min
Cilindro 0	875.70	769.95	20.74	12.07
Cilindro 40.	1191.33	1184.59	87.01	25.92
Embudo 0	875.70	801.14	60.17	8.51
Embudo40	1159.71	1119.71	139.45	21.04

Efecto de los biosólidos sobre las características físico-químicas del suelo

Se evaluaron características como pH, C.E y porcentaje de humedad de los suelos utilizados en los experimentos para ver el efecto de los biosólidos sobre estas y se realizó un análisis de varianza para ver las diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 47). Se observa que la C.E aumento significativamente según la dosis de biosólido aplicada pero relacionando los parámetros fenológicos se puede inferir que esto no afecto al cultivo, ya que las plantas con mayor dosis de aplicación presentaron la mayor respuesta agronómica, pues *C. dactylon* es tolerante a la salinidad. Este aumento de la C.E. resalta la importancia del uso de dosis agronómica óptima de biosólidos y así evitar impactos de salinidad en el suelo. Para el parámetro de pH del suelo, no hubo ninguna diferencia significativa entre los tratamientos con promedio en 7.9. El porcentaje de humedad del suelo en los diferentes meses de riego indica que los suelos tratados con biosólidos son los que tienen el mayor porcentaje de humedad por lo que se infiere que los biosólidos benefician en la retención de agua del suelo.

Cuadro 47. Diferencias entre los promedios de los parámetros para evaluar el efecto de los biosólidos sobre las características físico-químicas del suelo en macetas.

<i>Parámetro</i>	<i>Tratamiento t/ha</i>				<i>valor P</i>
	0	20	40	60	
C.E (dS/m)	3.35 c	4.10 b	5.77 a	5.85 a	0.000*
pH	7.91 a	7.87 a	7.88 a	7.92 a	0.643
Humedad Sept (%)	32.91 b	34.70 a	35.764 a	34.22 a	0.022*
Humedad Oct (%)	35.97 b	39.30 a	40.99 a	39.54 a	0.002*
Humedad Nov (%)	31.66 b	37.83 a	40.61 a	39.12 a	0.000*
Humedad Dic (%)	36.97 c	40.17 b	41.9 a	41.16 ab	0.000*
Humedad Ene (%)	36.64 c	39.89 b	41.63 a	40.86 ab	0.000*

(*Diferencias significativas utilizando un alfa de 0.05; a, ab, b, c= grupos formados por comparación de promedios Tukey; ddt= días después del trasplante)

En el experimento de técnicas se observaron las mismas tendencias en cuanto a la C.E y el pH. Para el porcentaje de humedad se calculó un promedio de todos los riegos y lo que se puede observar es que aunque el porcentaje de humedad en el tratamiento con biosólidos en los cilindros es significativamente mayor que el control, es menor que el porcentaje calculado para las macetas. Sin embargo, el porcentaje de humedad de los embudos se acerca más al de las macetas por lo que esta diferencia puede deberse solo a la cantidad de suelo (Cuadro 48 y 49).

Cuadro 48. Diferencias entre los promedios de los parámetros para evaluar el efecto de los biosólidos sobre las características físico-químicas del suelo en cilindros.

<i>Parámetro</i>	<i>Tratamiento T/ha</i>		<i>valor P</i>
	0	40	
<i>C.E (dS/m)</i>	3.45 b	5.67 a	0.000*
<i>pH</i>	7.95	7.99	0.741
<i>Humedad (%)</i>	19.77 b	20.51 a	0.000*

(*Diferencias significativas utilizando un alfa de 0.05; a, ab, b, c= grupos formados por comparación de promedios Tukey; ddt= días después del trasplante)

Cuadro 49. Diferencias entre los promedios de los parámetros para evaluar el efecto de los biosólidos sobre las características físico-químicas del suelo en embudos.

<i>Embudo</i>	<i>Tratamiento T/ha</i>		
	0	40	valor P
<i>Parámetro</i>			
<i>C.E (dS/m)</i>	3.53 b	5.71 a	0.000*
<i>pH</i>	7.89	7.92	0.698
<i>Humedad (%)</i>	29.83 b	30.72 a	0.000*

(*Diferencias significativas utilizando un alfa de 0.05; a, ab, b, c= grupos formados por comparación de promedios Tukey; ddt= días después del trasplante)

X.1.3. Estudio sobre metales pesados en grano de trigo cosechado en suelos tratados con biosólidos.

Etapas I: Efecto de biosólidos en la concentración de metales pesados, en el grano de trigo

Variables agronómicas

Al evaluar la biomasa consistente en el peso de la planta entera, tallos, hojas, espigas pero sin raíces (Figura 33) de las muestras de trigo obtenidas en cada una de las parcelas tratadas con biosólidos (B) y sin estos (C), se encontró que no existe una diferencia significativa entre parcelas ($p > 0.05$), pero sí entre tratamientos ($p < 0.05$). Siendo mayor la biomasa en el control (512.24 g), en comparación con el tratamiento con biosólidos (418.56). Conviene aclarar que la aplicación de biosólidos fue durante el 2015 y se evalúa el efecto residual de los biosólidos, asumiendo que se mineralizó el 50% el primer año y con aplicaciones consecutivas de aguas residuales durante varios años. Este comportamiento es probable a los aportes de elementos minerales esenciales como N y P provenientes del agua residual y los fertilizantes utilizados en el control, ya que estimulan la producción de biomasa de las plantas, lo cual ha sido reportado por otros autores (Rodríguez-Petit *et al.*, 2005). Lo cual sugiere que los nutrientes contenidos en el agua residual se presentan en formas más rápidamente aprovechables para las plantas que los contenidos en los biosólidos (Metcalf., 1995). Con los datos obtenidos se podría inferir una biomasa obtenida en t/ha, asumiendo una densidad de plantas de 19.02 t/ha para la parcela 5, la cual tuvo la mayor producción de biomasa en cuanto al tratamiento con biosólidos.

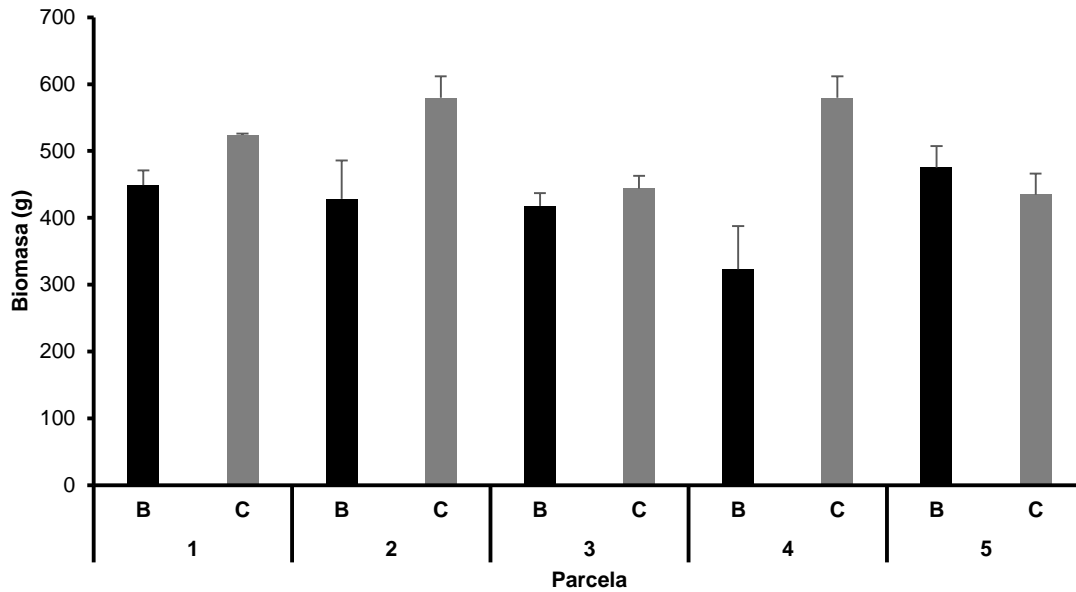


Figura 33. Biomasa de trigo obtenida en parcelas tratadas con (B) y sin biosólidos (C), en el Valle de Juárez 2016.

Con respecto al número de tallos de trigo, se observa en la Figura 34 que existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre parcelas, a diferencia de lo ocurrido entre tratamientos donde no existe diferencia significativa ($p > 0.05$). Se realizó una comparación del número de tallos producidos en cada una de las parcelas mediante el método de Tukey (Cuadro 50), donde se obtuvieron dos grupos estadísticamente similares, siendo las parcelas con mayor producción la 5, 4 y 2, a diferencia de la 3 y 1 que fue mucho menor. El hecho de que no se presentaran diferencias entre los tratamientos, puede deberse a la desventaja que presenta el uso de biosólidos, el cual es que el contenido de nutrientes esenciales para las plantas es muy variable debido a los cambios en la actividad microbiológica y química (Hernández-Herrera *et al.*, 2005).

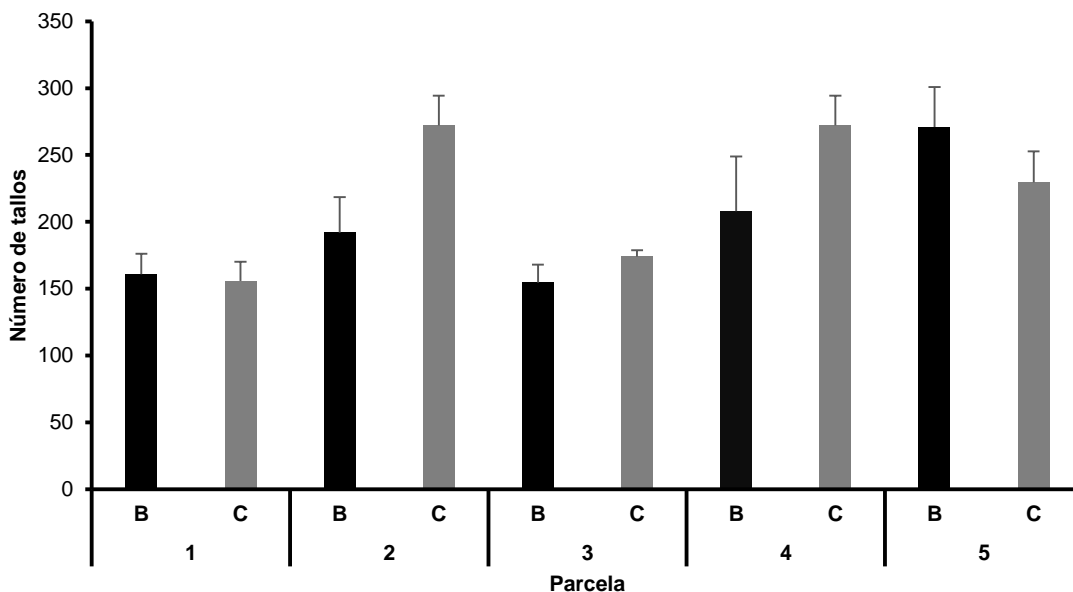


Figura 34. Número de tallos de trigo en 0.25 m², obtenido en parcelas tratadas con (B) y sin biosólidos (C), en el Valle de Juárez 2016.

Cuadro 50. Comparación del número de tallos producidos en cada parcela por el método Tukey.

Parcela	Tallos * en 0.25 m ²
5	250.30 a
4	240 a
2	232 a
3	164.30 b
1	158.30 b

*Parcelas con la misma letra son similares.

En la Figura 35 se muestra el comportamiento de la altura en las parcelas tratadas con biosólidos y sin estos. Se puede resaltar que existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos. Siendo menor la media del tratamiento control el cual fue de 74.14 cm a diferencia con el tratamiento de biosólidos el cual fue mayor con una media de 83.12 cm. Lo cual se debe a la aplicación de los biosólidos, ya que estos son ricos en nutrientes y materia orgánica (Flores et al., 2010). Su enmienda aumento los nutrientes en el suelo, lo que llevo a un mayor número de crecimiento de plantas en comparación con el suelo no modificado. Similar a lo ocurrido en el experimento realizado por Singh y Agrawal (2010), en el cual evaluaron el crecimiento de plantas de arroz y observaron una respuesta positiva en el suelo tratado en comparación con el que no tenía modificación alguna. En cuanto a la relación entre parcelas, se demostró que hay

una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre estas, al realizar una comparación de la altura en cada parcela por el método de Tukey (Cuadro 51), se obtuvieron 4 grupos estadísticos. Siendo las parcelas 1 y 3 las que presentan mayor altura, datos mayores a los obtenidos por las parcelas 5, 2 y 4, de las cuales se formaron tres grupos estadísticos completamente diferentes. El aporte de minerales favoreció a un rápido crecimiento vegetativo. Las diferencias entre parcelas más que entre tratamientos podrían estar explicadas por las condiciones de suelo, manejo del agua diferentes en cada sitio y tipo de variedad de trigo.

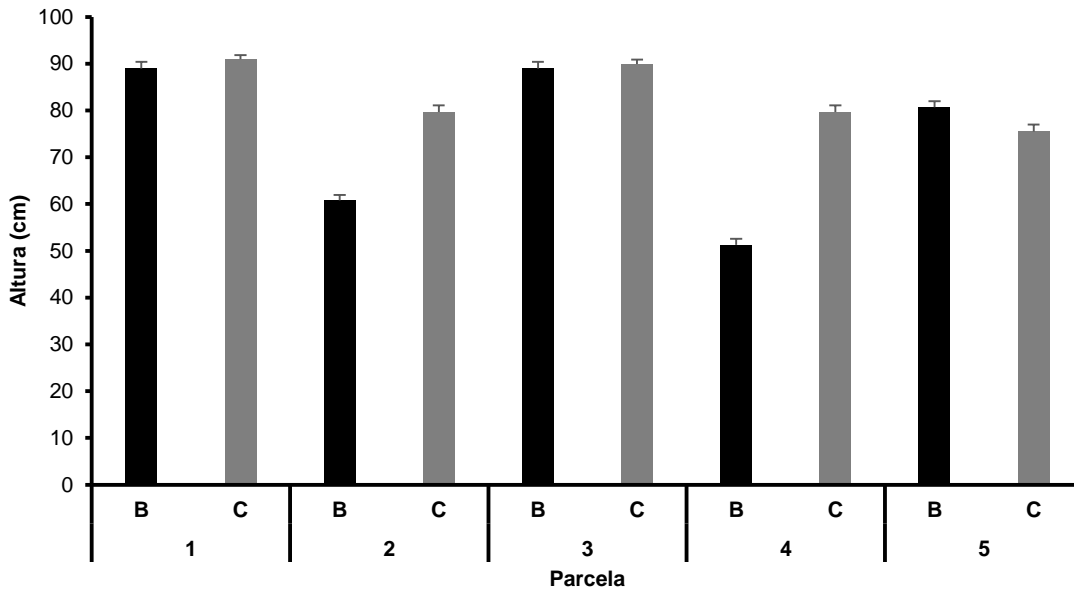


Figura 35. Altura de las plantas de trigo en parcelas tratadas con (B) y sin biosólidos (C), en el Valle de Juárez 2016.

Cuadro 51. Comparación de la altura (cm) de trigo en cada parcela por el método Tukey.

Parcela	Altura * (cm)
1	89.94 a
3	89.44 a
5	78.10 b
2	70.20 c
4	65.50 d

*Parcelas con la misma letra son similares.

Al realizar la comparación entre la longitud de las espigas (Figura 36) obtenidas en el tratamiento con biosólidos y el control, se determinó que hay una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos, al igual que entre parcelas ($p < 0.05$). Se logró apreciar que el tratamiento con lodos residuales obtuvo una mayor longitud en las espigas (8.13 cm), mientras que en el grupo control fue menor (7.55 cm). La longitud de la espiga es un factor genético, pero puede verse afectada por las enmiendas orgánicas, tal y como se observó en el experimento. Mismo que ocurrió en el estudio realizado por Jamil et al., (2006), en el cual observaron que en todos los tratamientos en los que se aplicaron biosólidos aumento significativamente la longitud de la espiga, esto al compararse con el grupo control. Además, Flores et al. (2015) encontraron mayor rendimiento con biosólidos en suelos de la región del Valle de Juárez por lo que el efecto residual de los biosólidos es significativo. En cuanto a parcelas se realizó una comparación de medias de la longitud de espiga (Cuadro 52) y se encontró que los tratamientos 1 y 3 manifiestan un comportamiento estadísticamente similar, con longitudes de espiga mayores a las encontradas en las parcelas 5, 2 y 4, estas dos últimas son similares entre sí.

Cuadro 52. Comparación de la longitud de espiga (cm) de trigo en cada parcela por el método Tukey.

Parcela	Longitud espiga * (cm)
1	8.57 a
3	8.15 ab
5	8.07 b
2	7.33 c
4	7.07 c

*Parcelas con la misma letra son similares.

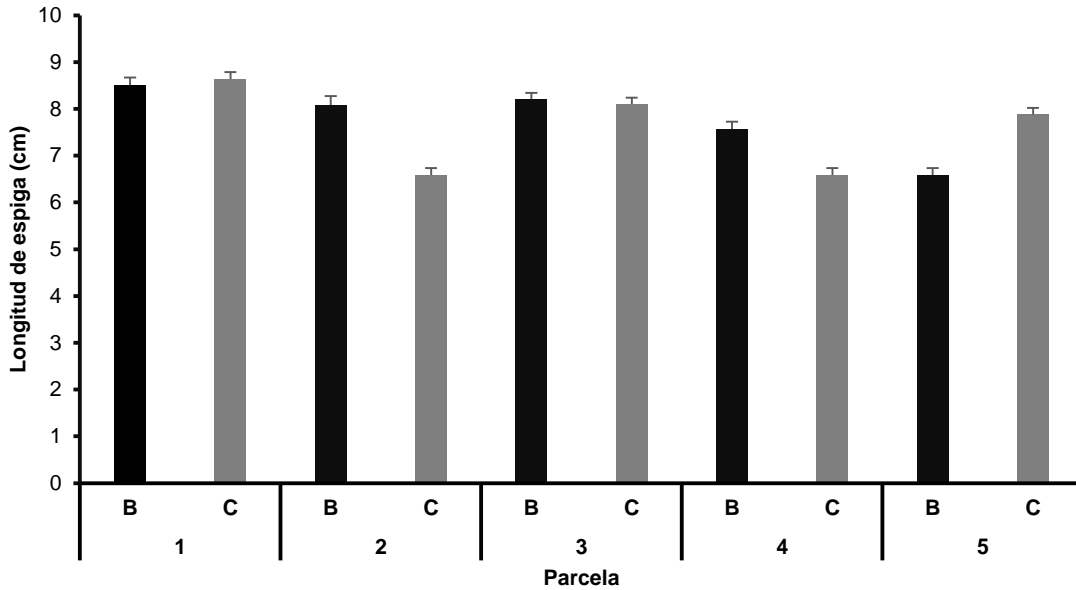


Figura 36. Longitud de espigas de trigo obtenida en parcelas tratadas con (B) y sin biosólidos (C), en el Valle de Juárez 2016.

En cuanto a los granos por espiga, se encontró que existe una diferencia significativa tanto entre parcelas como entre tratamientos ($p < 0.05$), es decir, los resultados obtenidos son diferentes entre sí. En la Figura 37 se puede apreciar como la aplicación de biosólidos estimulo de manera positiva el aumento en los granos por espiga producidos por planta en las parcelas 2 y 4. Al realizar una comparación de medias en la producción de grano por espiga, en cada parcela por el método de Tukey (Cuadro 53), se observó que la parcela 1, expresa un comportamiento estadísticamente diferente, con una producción de grano superior, en comparación con las parcelas 5 y 3, 2 y 4 los cuales son similares entre sí, respectivamente. Entre tratamientos, la media obtenida para biosólidos fue mayor (42.88) en comparación con la cosecha del tratamiento control (39.37). El número de granos por espiga incremento significativamente en los tratamientos con lodos residuales, esto puede deberse principalmente a la tasa de infiltración, la materia orgánica y los contenidos de NPK (Jamil *et al.*, 2006).

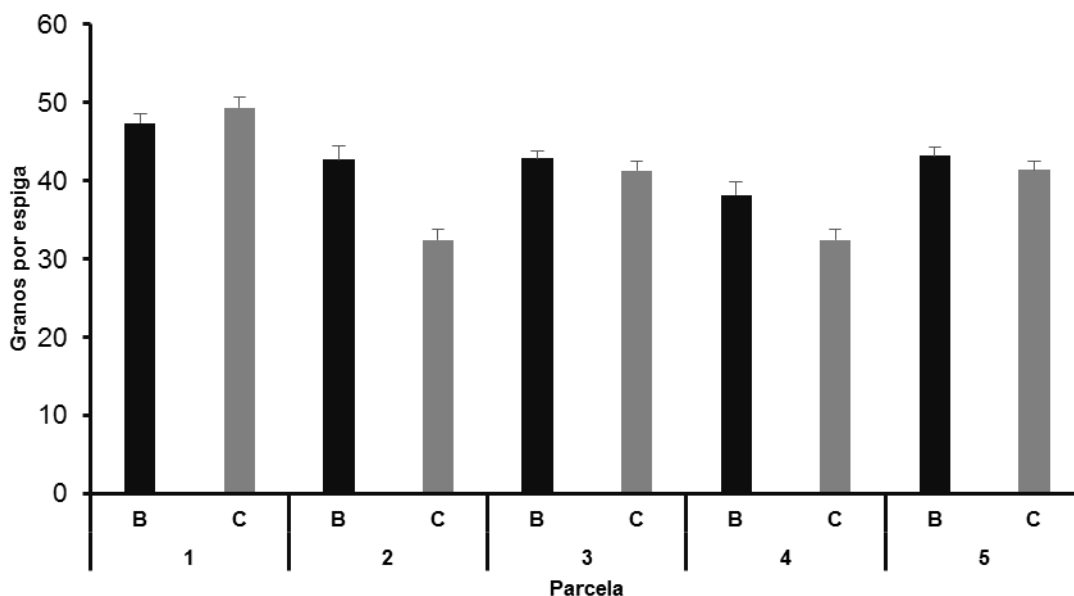


Figura 37. Granos por espiga obtenidos en parcelas tratadas con (B) y sin biosólidos (C), en el Valle de Juárez 2016.

Cuadro 53. Comparación de la producción de granos por espiga en cada parcela por el método Tukey.

Parcela	Granos * (g/espiga)
1	48.34 a
5	42.30 b
3	42.10 b
2	37.58 c
4	35.32 c

*Parcelas con la misma letra son similares.

El rendimiento de grano de trigo (Figura 38) mostro que existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos, siendo el control (254.96 g) el que presento un mayor rendimiento en comparación con el tratamiento con lodos residuales (190.32 g). En cuanto a parcelas, se observó que hay una diferencia significativa entre estas (Cuadro 54), siendo la parcela 2 la que presento un rendimiento superior a las parcelas 1, 4 y 3, las cuales presentan un comportamiento estadísticamente similar entre ellas, al contrario de la parcela 5 la cual mostro el valor de rendimiento más bajo.

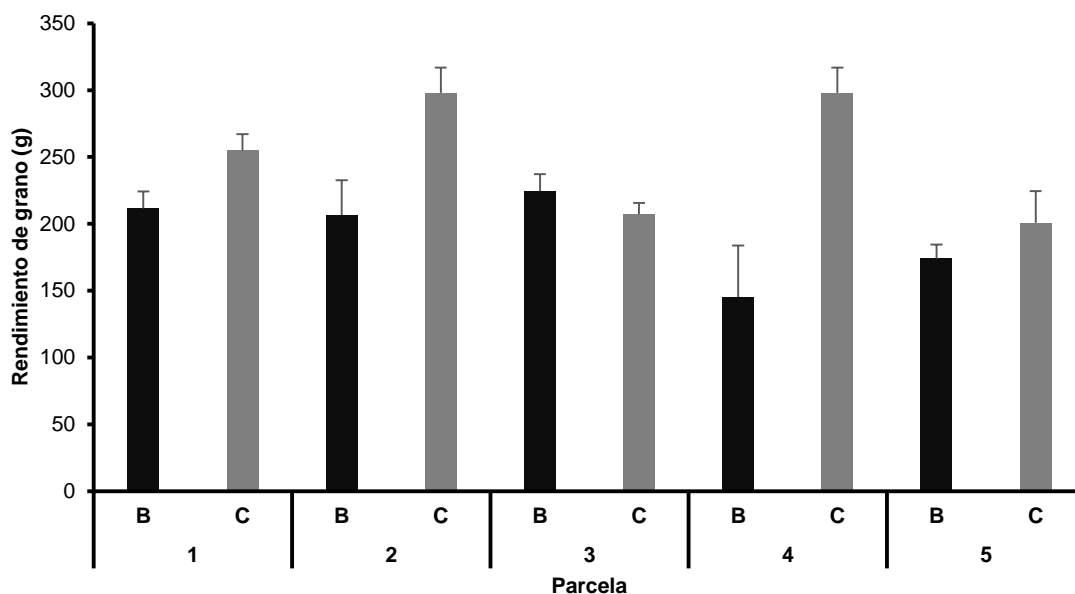


Figura 38. Rendimiento de grano (0.25 m²) obtenido en parcelas tratadas con (B) y sin biosólidos (C), en el Valle de Juárez 2016.

Cuadro 54. Comparación del rendimiento de grano en cada parcela por el método Tukey.

Parcela	Rendimiento * (g/espiga)
2	256.20 a
1	233.20 ab
4	225.60 ab
3	215.80 ab
5	187.40 b

*Parcelas con la misma letra son similares.

Se observó que en la mayoría de las parcelas la ampliación de biosólidos aumento el número de tallos, altura, longitud de la espiga y granos por espiga. Esto demuestra que la cantidad de nutrientes contenidos en estos favoreció en varios aspectos agronómicos de la planta.

Metales pesados en grano de trigo

En la Figura 39 se muestra el promedio de las concentraciones obtenidas de Cd en el grano de trigo, se puede apreciar que existe una diferencia significativa entre parcelas ($p < 0.05$). Al realizar una comparación de medias de la concentración mediante el método de Tukey (Cuadro 55), se observa que las parcelas que tienen las concentraciones más altas son la 4 y 6, a diferencia de la 7 que presenta el valor más bajo de estas. Mientras que, al comparar los tratamientos se observa que no existe diferencia significativa entre estos ($p > 0.05$). Obteniendo una concentración de 0.042 mg kg^{-1} para el control, mientras que se obtuvo una media un poco mayor 0.050 mg kg^{-1} para el tratamiento con biosólidos y para el tratamiento de biosólidos más fertilizante 0.057 mg kg^{-1} . Las concentraciones obtenidas se encuentran por debajo del límite máximo permitido para el grano de trigo establecido por varios países, rango que va de 0.05 a 0.1 mg kg^{-1} (Kabata-Pendias y Pendias, 2001). La absorción de Cd por las plantas está fuertemente influenciada por las propiedades fisicoquímicas del suelo. Se considera que el pH del suelo es un factor primario que influye en la fitodisponibilidad de Cd (Chaudri *et al.*, 2001).

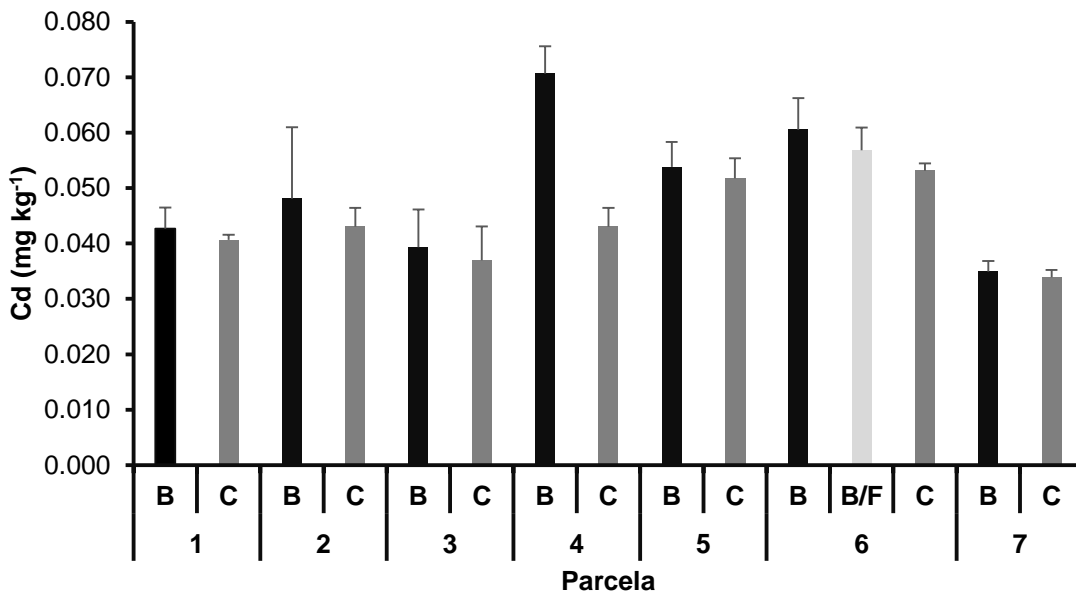


Figura 39. Concentración promedio (mg kg^{-1}) de Cd en el grano de trigo, en parcelas tratadas con biosólidos y sin estos.

Cuadro 55. Comparación de la concentración (mg kg^{-1}) de Cd promedio en cada parcela por el método Tukey.

Parcela	Cd* (mg kg^{-1})
4	0.056 a
6	0.056 a
5	0.052 ab
2	0.045 abc
1	0.041 abc
3	0.038 bc
7	0.034 c

*Parcelas con la misma letra son similares.

El promedio de las concentraciones de Cr en el grano de trigo (Figura 40) demuestra que no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) al comparar los tratamientos con (0.182 mg kg^{-1}) y sin biosólidos (0.156 mg kg^{-1}). Entre parcelas existe una diferencia significativa ($p < 0.05$), en la comparación de medias mediante Tukey (Cuadro 56) se logra apreciar que la parcela 3 tiene una concentración mayor con 0.334 mg kg^{-1} , mientras que la parcela 6 presenta la menor concentración con 0.061 mg kg^{-1} . Se puede observar que, en la mayoría de las parcelas la concentración de cromo fue ligeramente mayor en el tratamiento con biosólidos en comparación con el grupo control, solo en la parcela 3 se logra apreciar un aumento del grupo control (0.361 mg kg^{-1}) contra el tratamiento con lodos (0.307 mg kg^{-1}), mientras que la parcela 5 presenta una mayor concentración en el tratamiento con biosólidos (0.260 mg kg^{-1}) al ser comparados con el control (0.112 mg kg^{-1}). El rango de concentraciones obtenido para el tratamiento con biosólidos fue de 0.151 a 0.212 mg kg^{-1} , mientras que Huang et al., (2008) obtuvieron un rango de concentración de Cr en el grano de trigo (0.027 a 0.799 mg kg^{-1}), el cual fue mayor en comparación al que se obtuvo en este estudio. Sin embargo, ambos se encuentran por debajo de los límites de tolerancia de Cr en alimentos (1 mg kg^{-1}).

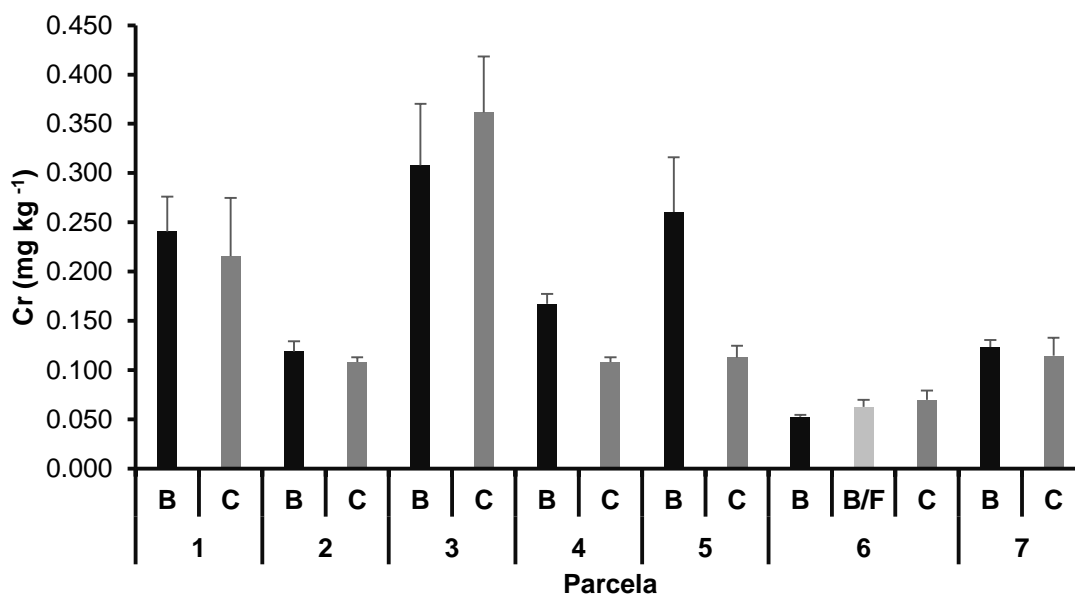


Figura 1. Concentración promedio (mg kg^{-1}) de Cr en el grano de trigo, en parcelas tratadas con biosólidos y sin estos.

Cuadro 56. Comparación de la concentración (mg kg^{-1}) de Cr promedio en cada parcela por el método Tukey.

Parcela	Cr* (mg kg^{-1})
3	0.334 a
1	0.224 ab
5	0.186 b
4	0.131 bc
7	0.119 bc
2	0.115 bc
6	0.061 c

*Parcelas con la misma letra son similares.

Al evaluar las concentraciones de Cu en el grano de trigo (Figura 41), se observó que existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre parcelas, esto quiere decir que son diferentes entre sí. Al realizar una comparación de medias mediante el método de Tukey (Cuadro 57), se observó que la parcela 7 tiene la concentración más alta con 3.853 mg kg^{-1} , mientras que la parcela 3 tiene el valor más bajo con 2.589 mg kg^{-1} . En el caso de tratamientos, no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre estos. Se obtuvo un valor de 3.337 mg kg^{-1} para el tratamiento con lodos residuales, una concentración de 3.336 mg kg^{-1} y para el tratamiento de biosólidos más fertilizante una concentración de 3.574 , un poco mayor a las anteriores. Esto puede deberse a que el cobre es un micronutriente esencial para las plantas, el cual está incluido en los fertilizantes y al realizar

una aplicación de estos en parcelas las cuales contienen biosólidos, las cantidades de Cu contenidas en el suelo aumentan. Sin embargo, ninguna de las concentraciones de este elemento esencial para las plantas fue mayor a la obtenida por Mantovi e al., (2005), la cual fue de 8.11 mg k⁻¹ en el grano de trigo.

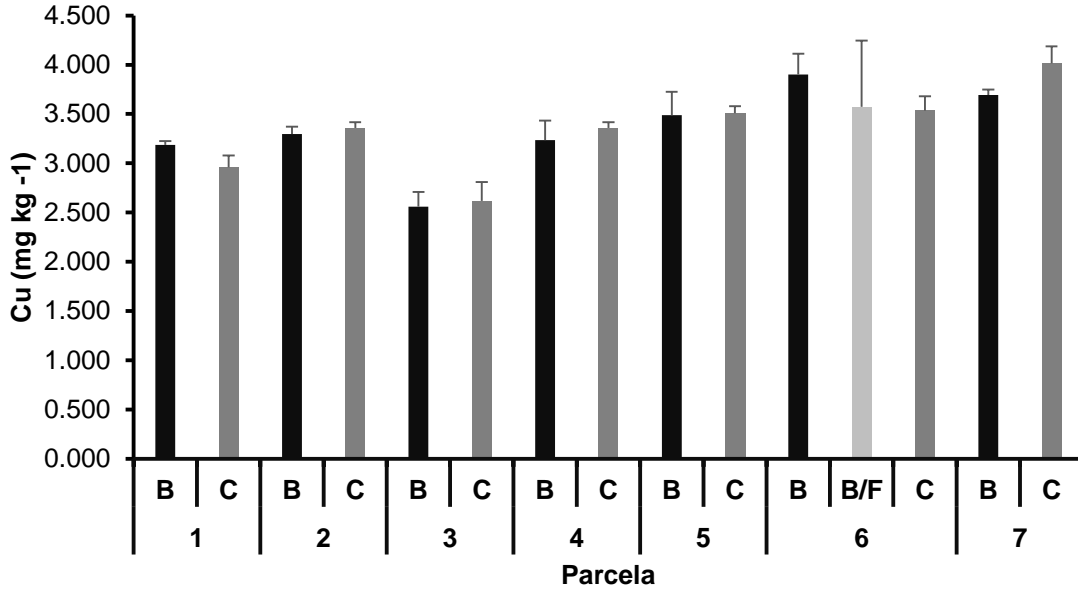


Figura 41. Concentración promedio (mg kg⁻¹) de Cu en el grano de trigo, en parcelas tratadas con biosólidos y sin estos.

Cuadro 57. Comparación de la concentración (mg kg⁻¹) de Cu promedio en cada parcela por el método Tukey.

Parcela	Cu* (mg kg ⁻¹)
7	3.853 a
6	3.669 ab
5	3.498 ab
2	3.328 ab
4	3.290 ab
1	3.071 bc
3	2.589 c

*Parcelas con la misma letra son similares.

En la Figura 42 se muestran las concentraciones de Ni contenidas en el grano de trigo analizado. Se determinó que existen diferencias significativas entre parcelas ($p < 0.05$). Las diferencias observadas se pueden apreciar en el Cuadro 58, donde se muestran las medias de las concentraciones mediante el método Tukey. La parcela 7 fue la que presentó la concentración mayor (0.406 mg kg^{-1}), mientras que las parcelas 1 y 3 las concentraciones menores 0.228 y 0.208 mg kg^{-1} respectivamente. La parcela 4 se logra apreciar una diferencia muy marcada entre tratamiento (0.410 mg kg^{-1}) y control (0.284 mg kg^{-1}). En cuanto a tratamientos, no existen diferencias significativas entre estos ($p > 0.05$), se obtuvo un valor de 0.293 mg kg^{-1} para el tratamiento con biosólidos, 0.282 mg kg^{-1} para el grupo control y 0.277 mg kg^{-1} para el tratamiento de lodos residuales más fertilizante. Los valores obtenidos fueron menores a los encontrados en el estudio de Huang et al., (2008), en el cual encontraron Ni en el grano de trigo en un rango de 0.043 a 0.637 mg kg^{-1} .

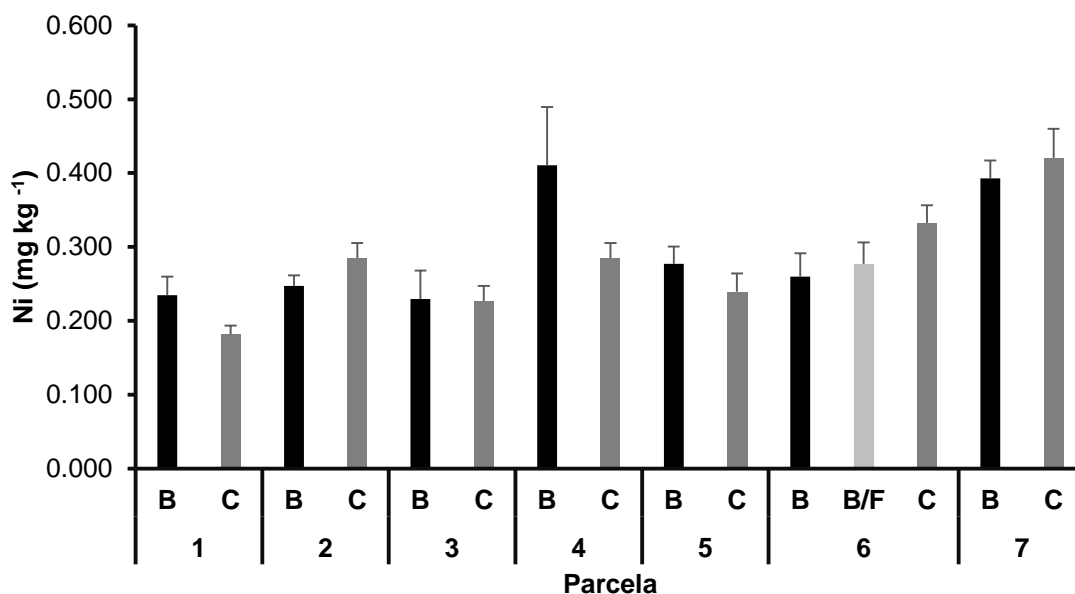


Figura 42. Concentración promedio (mg kg^{-1}) de Ni en el grano de trigo, en parcelas tratadas con biosólidos y sin estos.

Cuadro 57. Comparación de la concentración (mg kg^{-1}) de Ni promedio en cada parcela por el método Tukey.

Parcela	Ni* (mg kg^{-1})
7	0.406 a
4	0.347 ab
6	0.289 bc
2	0.266 bc
5	0.258 bc
3	0.228 c
1	0.208 c

*Parcelas con la misma letra son similares.

En cuanto a las concentraciones de Pb en el grano de trigo (Figura 43), la concentración de Pb fue de 0.396 mg kg^{-1} en el control, 0.419 mg kg^{-1} en el tratamiento de biosólidos más fertilizante y de 0.433 mg kg^{-1} en el tratamiento únicamente con biosólidos, presentando diferencias significativas ($p < 0.05$), entre ellos. De igual forma se encontró que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Las concentraciones obtenidas entre parcelas se pueden apreciar en el Cuadro 59, donde se observa que la parcela 5 fue la que presentó una mayor concentración (0.476 mg kg^{-1}) en comparación con la parcela 3 que fue la de menor concentración (0.347 mg kg^{-1}) entre las parcelas. Las concentraciones obtenidas en este estudio fueron mucho mayores a las obtenidas por Bose y Bhattacharyya (2008), ya que ellos encontraron una concentración de 0.03 mg kg^{-1} en el grano de trigo, y menores a las obtenidas por Huang et al., (2008), ellos reportan un rango de concentración de 0.017 a 1.158 mg kg^{-1} , las cuales rebasan el límite máximo permisible en alimentos (0.4 mg kg^{-1}). Si se toma en cuenta el valor que ellos mencionan como límite máximo permitido, varias de las muestras obtenidas en este estudio están por encima de este límite. Por lo que se debe prestar atención a los posibles efectos dañinos de Pb en el grano de trigo en la salud del ser humano.

Cuadro 59. Comparación de la concentración (mg kg^{-1}) de Pb promedio en cada parcela por el método Tukey.

Parcela	Pb* (mg kg^{-1})
5	0.476 a
4	0.458 ab
7	0.445 ab
1	0.405 abc
6	0.395 abc
2	0.383 bc
3	0.347 c

*Parcelas con la misma letra son similares.

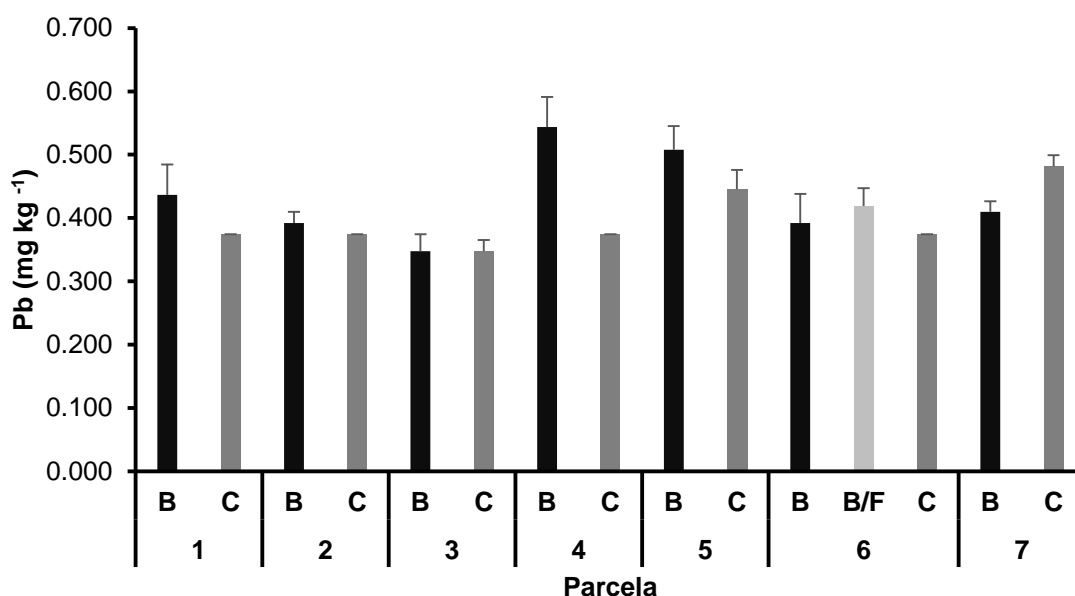


Figura 43. Concentración promedio (mg kg^{-1}) de Pb en el grano de trigo, en parcelas tratadas con biosólidos y sin estos.

En la Figura 44 se muestra el promedio de la concentración de Zn, se puede observar que existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) tanto en parcelas, como entre tratamientos, esto quiere decir que son diferentes entre sí. La parcela 7 (Cuadro 60) es la que presenta la mayor concentración ($41.104 \text{ mg kg}^{-1}$) entre parcelas, al igual que la mayor concentración en el tratamiento control ($51.630 \text{ mg kg}^{-1}$) se presentó en esta parcela. La mayor concentración con el tratamiento de lodos residuales se presentó en la parcela 4 ($37.628 \text{ mg kg}^{-1}$) y la parcela que presentó las concentraciones más bajas en ambos tratamientos fue la 3 con un promedio de $18.499 \text{ mg kg}^{-1}$. Como ya se mencionó anteriormente, se presentó una diferencia entre tratamientos, siendo el tratamiento con biosólidos más fertilizante el que presentó el promedio mayor de concentración ($34.515 \text{ mg kg}^{-1}$), le siguió el tratamiento con biosólidos ($28.643 \text{ mg kg}^{-1}$) y por último el control ($29.690 \text{ mg kg}^{-1}$). Las concentraciones encontradas de Zn son muy similares entre tratamientos en la mayoría de las parcelas, únicamente la concentración del grupo control de la parcela 7 excede el límite máximo permisible en alimentos (50 mg kg^{-1}) que mencionan Huang et al., (2008). El hecho de que la parcela control saliera más alta, podría estar relacionada con el suelo y a una posible bio-acumulación de dicho metal por la irrigación con agua residual.

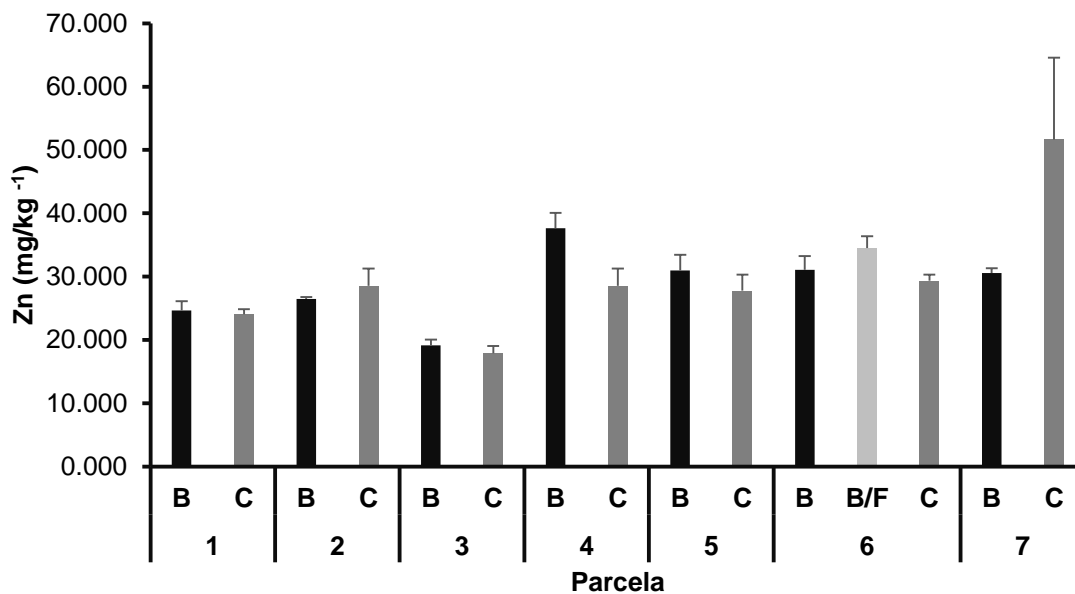


Figura 44. Concentración promedio (mg kg^{-1}) de Zn en el grano de trigo, en parcelas tratadas con biosólidos y sin estos.

Cuadro 60. Comparación de la concentración (mg kg^{-1}) de Zn promedio en cada parcela por el método Tukey.

Parcela	Zn* (mg kg^{-1})
7	41.104 a
4	33.095 ab
6	31.642 ab
5	29.387 bc
2	27.522 bc
1	24.350 bc
3	18.499 c

*Parcelas con la misma letra son similares.

Los metales pesados analizados en el grano de trigo bajo un tratamiento con biosólidos y agua residual estuvieron en el siguiente orden: Zn> Cu>Pb>Ni>Cr>Cd. En el Cuadro 61 se muestra una comparación de las concentraciones obtenidas en el grano de trigo del presente estudio, con los límites de tolerancia de China. Se puede apreciar que el único metal pesado que no se encuentra dentro de los límites permisibles es el Pb, lo cual sugiere que se deben de tomar extremas precauciones o realizar más estudios en el área para determinar la causa del aumento. Ya que el posible riesgo para la salud pública asociado a la ingesta de metales pesados por medio de la cadena alimenticia se ha convertido en una preocupación creciente (Liu et al., 2007).

Cuadro 61. Concentraciones de metales pesados (mg kg⁻¹) en el grano de trigo, cultivado en parcelas con tratamiento de biosólidos.

Metales pesados	Rango	Media	Límite de tolerancia ^a
Zn	25.780-31.506	28.643	50
Cu	3.170-3.505	3.337	10
Pb	0.412-0.454	0.433	0.4
Cr	0.151-0.212	0.182	1
Ni	0.269-0.318	0.293	1
Cd	0.046-0.054	0.050	0.1

^a Límites de tolerancia de diferentes metales pesados en alimentos (Huang *et al.*, 2008).

pH y textura del suelo

En el cuadro 62, se observan el pH obtenido de 4 parcelas con tratamiento con y sin biosólidos. El rango obtenido fue de 7.45 a 7.86, el cual lo clasifica en ligeramente alcalino. El pH es un factor importante que controla la absorción de metales pesados hacia la planta. Solo en suelos ácidos se produce un movimiento vertical significativo de metales (Flores-Márgez et al. 2013). Por esta razón, la absorción de metales por parte de la planta no fue alta, ya que el pH influyó en las plantas muestreadas. Bose y Bhattacharyya (2008) observaron que un incremento en el pH del suelo, redujo la disponibilidad de Cr en este y por lo tanto la recepción por parte de la planta disminuyó. En cuanto a la textura, el suelo tiene una capacidad depuradora la cual en parte depende de esta cualidad. Los suelos arcillosos retienen más metales por adsorción o en el complejo de cambio de los minerales de la arcilla. Por el contrario, los arenosos carecen de capacidad de fijación y puede contaminarse el nivel freático (Galán y Romero, 2008). Esta podría ser la explicación al porque hubo mayor acumulación de Zn, Pb y Cd en la parcela 4 (Prieto-canal), que el tipo de textura de esta (arcillosa) influenciara en la acumulación de dichos metales.

Cuadro 62. Textura y pH de las muestras de suelo de las parcelas tratadas con y sin biosólidos.

<i>Parcela</i>	<i>Tratamiento</i>	<i>pH</i>	<i>Textura</i>
<i>Polo-casa</i>	B	7.45	Franco-arcillosa
	C	7.74	
<i>Prieto-pacas</i>	B	7.63	Arcillosa
	C	7.53	
<i>Polo-W</i>	B	7.69	Franco-arenosa
	C	7.76	
<i>Prieto-canal</i>	B	7.86	Arcillosa
	C	7.79	

(B=Biosólidos, C= control)

Etapa II: Muestreo de trigo en parcelas comerciales irrigados con agua residual y sin biosólidos.

Variables agronómicas

En cuanto a la biomasa obtenida en cada una de las parcelas irrigadas con aguas residuales (Figura 45), se logró observar que la muestra de trigo obtenida del sitio 7 (Rancho UACJ) fue la que presentó una mayor biomasa, seguida de la parcela 6 (Balo). El hecho de que estas dos parcelas presentaran una mayor biomasa podría deberse al tipo de textura de suelo en el que fue cultivado el trigo, el cual, en ambos casos se encuentra clasificado como franco arcilloso. Los suelos con arcilla suelen ser más pesados, no drenan o se secan fácilmente, lo que permite contener buenas reservas de nutrientes, provenientes de las aguas residuales. Ya que se ha demostrado que la irrigación de campos agrícolas con agua residual ayuda al incremento en la cosecha, en comparación con la irrigación de agua de pozo y permite el reciclaje de nutrientes (*Balkhair et al.*, 2013).

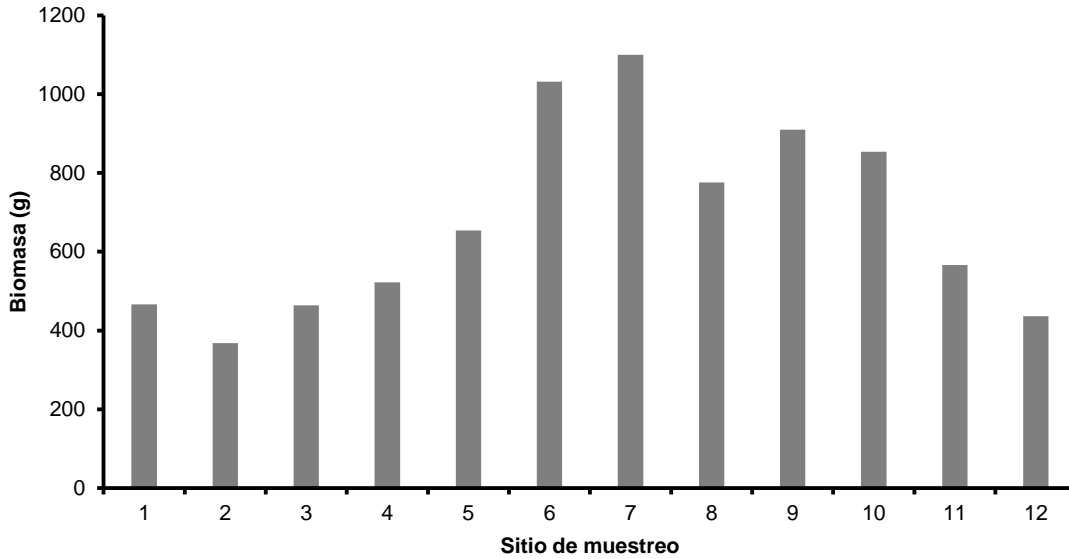


Figura 45. Biomasa total de muestra de trigo obtenida de lotes comerciales irrigados con agua residual en el Valle de Juárez, Chihuahua 2016.

Las Figuras 46, 47 y 48 no incluyen barras de error debido a que fue muestra compuesta en la parcela con el objetivo de coleccionar trigo para el análisis de metales. El número de tallos obtenidos en los sitios irrigados con agua residual fue variable entre sitios. Siendo los sitios 9, 10 y 7 los que presentaron mayor número de tallos, sin embargo, el número de tallos no fue tan variable entre sitios. Lo que indica que las aguas residuales están proporcionando suficientes macronutrientes esenciales al igual que elementos beneficiosos para las plantas. Y que las plantas de trigo están reaccionando de forma muy similar a los nutrientes aportados por el agua residual.

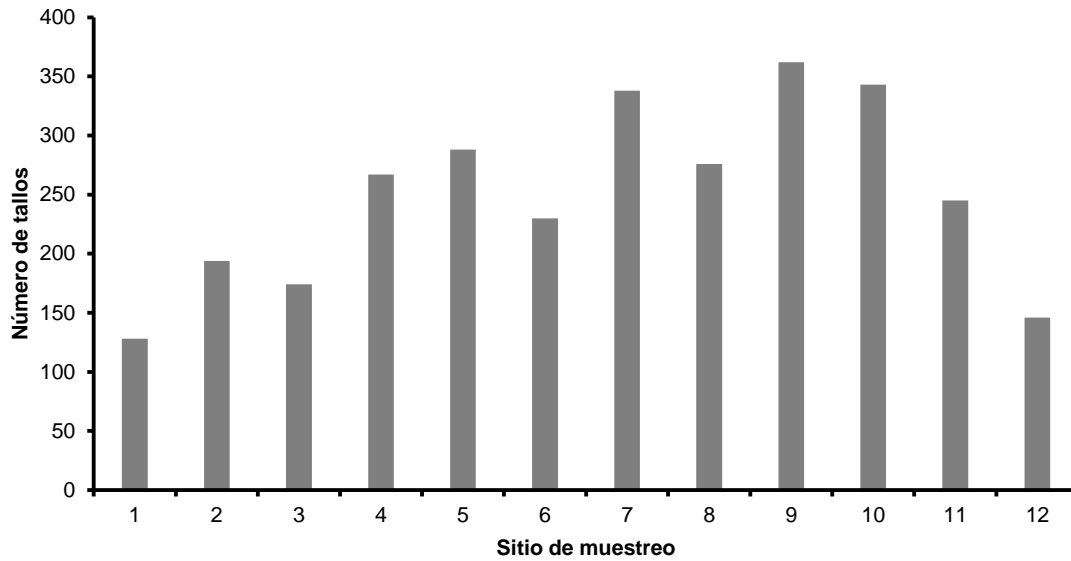


Figura 46. Número de tallos de trigo por muestra, obtenidos de sitios irrigados con agua residual en el Valle de Juárez, Chihuahua 2016.

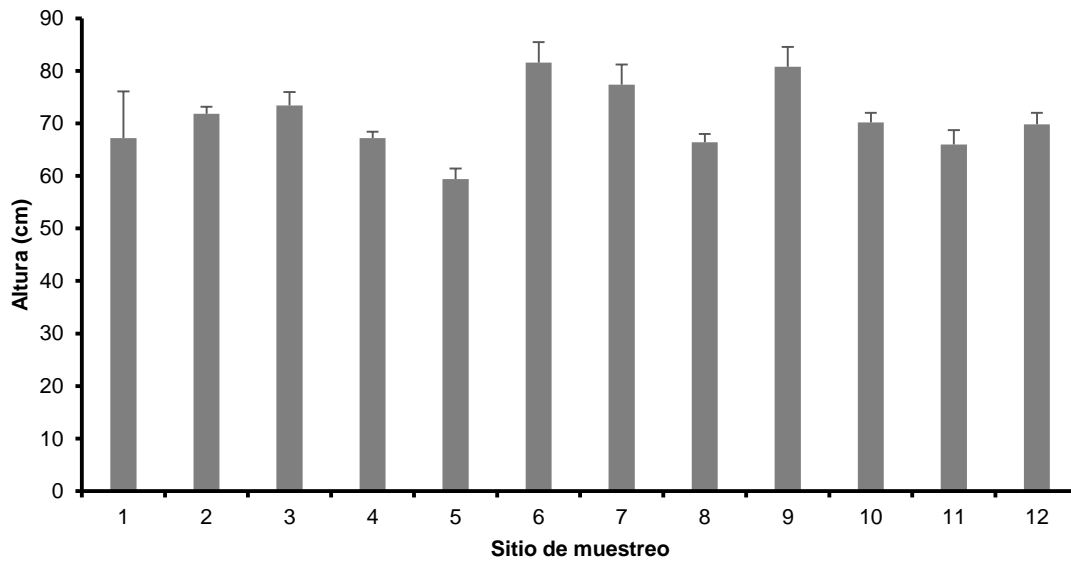


Figura 47. Altura de planta de trigo en lotes comerciales irrigados con aguas residuales en el Valle de Juárez, Chihuahua 2016.

En la Figura 47 se muestra la altura obtenida por las plantas de trigo cultivadas en sitios irrigados con aguas residuales. Se observa que existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre sitios, variando la altura entre estos. El sitio 6 (81.6 cm) y 9 (80.8 cm) presentaron el promedio más alto en altura, mientras que el sitio 5 (59.4 cm) fue el más bajo en esta variable agronómica. Al comparar los promedios de la longitud de espiga (Figura 48) entre sitios en los que se utiliza agua residual para su irrigación, se encontró que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los sitios estudiados. Esto quiere decir que la longitud de espigas tuvo una variación entre sitios, siendo la parcela 6 la que obtuvo el mayor promedio con 10.5 cm de longitud y la parcela 11 el menor promedio con 7.5 cm. La variación en la longitud de la espiga entre sitios, puede deberse a la habilidad y a la mejor utilización de los nutrientes de las plantas cultivadas en cada sitio (Jamil *et al.*, 2004).

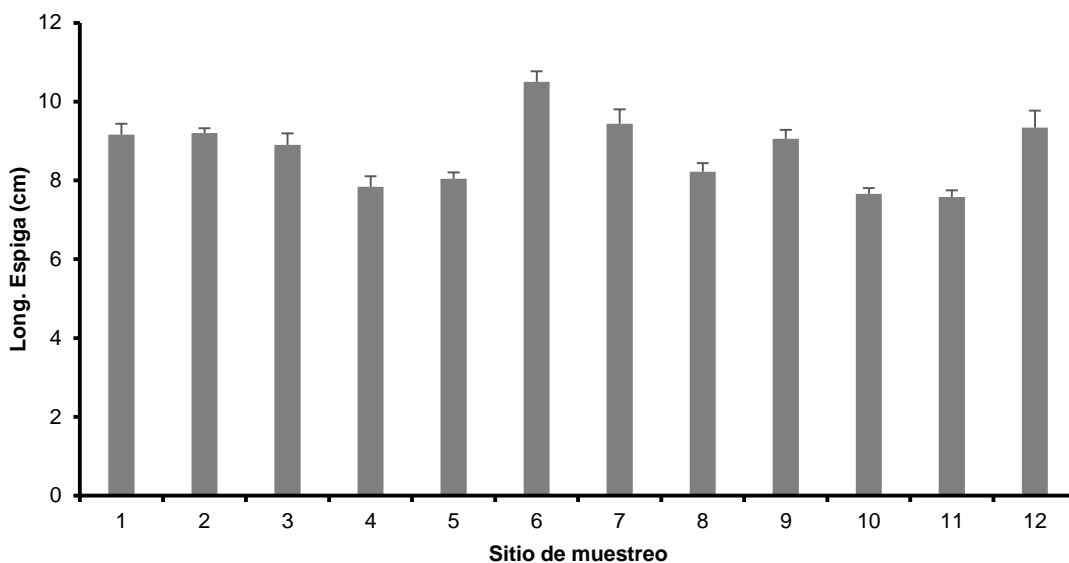


Figura 48. Longitud de la espiga de trigo en lotes comerciales irrigados con aguas residuales en el Valle de Juárez, Chihuahua 2016.

En la Figura 49, se observa el promedio de la producción de granos por espiga obtenida en los diferentes sitios de muestreo. Se determinó que existe una diferencia significativa ($p < 0.05$), siendo diferentes los valores obtenidos en los sitios. El sitio con el mayor promedio fue el del 6 con 68.20 granos por espiga y se puede apreciar que este valor es superior al de los demás sitios. El incremento en la cantidad de granos producidos por espiga en este sitio, indica que los nutrientes contenidos en el agua residual están siendo mayormente retenidos por el suelo y aprovechados por las plantas que crecen en el sitio. A diferencia de los demás sitios muestreados que presentan una producción similar.

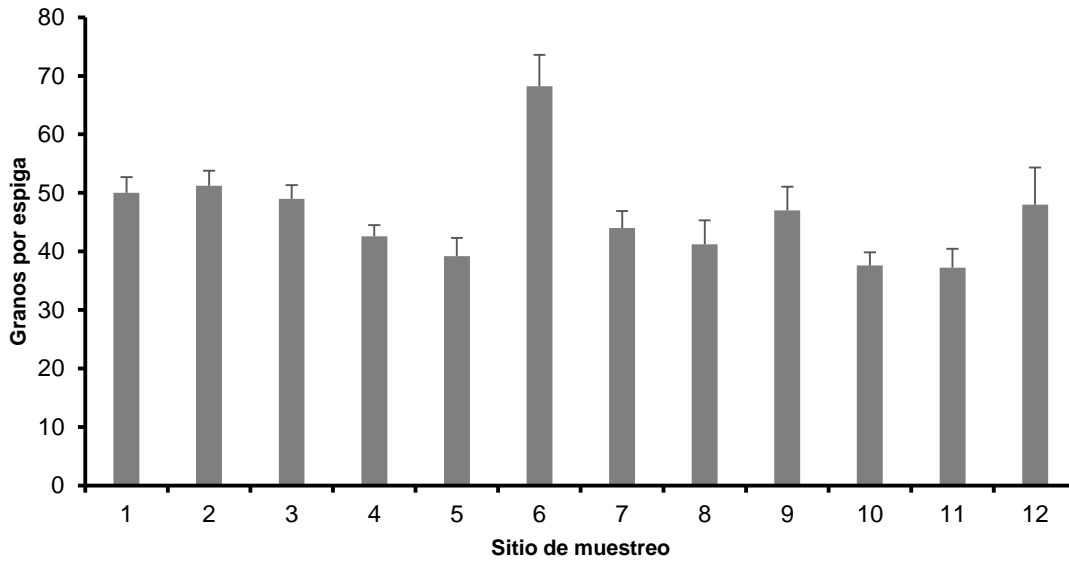


Figura 49. Grano obtenido por espiga de trigo en lotes comerciales irrigados con agua residual en el Valle de Juárez, Chihuahua 2016.

El rendimiento del grano (Figura 50) presenta una tendencia muy similar en los sitios 6 y 7, con 510 y 480 g respectivamente. Se observa nuevamente que la parcela 6 es la que predomina, ya que presentó los valores más altos tanto en longitud de espiga, como en granos por espiga. Se observó que la altura de la planta, granos por espiga y longitud de espiga fue muy similar entre sitios de muestreo, sin embargo la biomasa, el número de tallos y el rendimiento de grano tuvo mayor variación entre sitios.

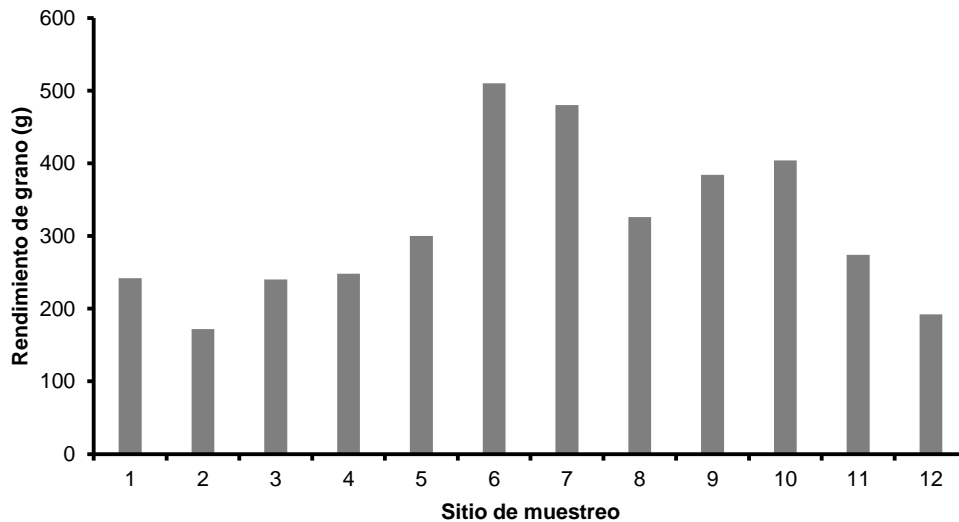


Figura 50. Rendimiento de grano de cada una de las muestras de trigo obtenidas de sitios irrigados con agua residual en el Valle de Juárez, Chihuahua 2016.

La concentración promedio de Cu en el grano de trigo (Figura 51) fue muy similar entre sitios, siendo la concentración más alta 4.713 mg kg⁻¹ en el sitio 8 y 2.717 mg kg⁻¹ la más baja en el sitio 11, esto con respecto a las parcelas irrigadas con agua residual. Se observó que una de las parcelas control presento un valor cercano al de las del tratamiento, estas parcelas fueron irrigadas con agua de pozo y tratadas con fertilizantes. Los metales pesados se pueden acumular en el suelo ya sea por la irrigación con agua residual, tratamiento del suelo con biosólidos o la aplicación de fertilizantes inorgánicas, estas prácticas son fuentes importantes de metales (Martin *et al.*, 2006). Sin embargo, todos los sitios presentaron concentraciones por debajo del límite máximo permitido en alimentos.

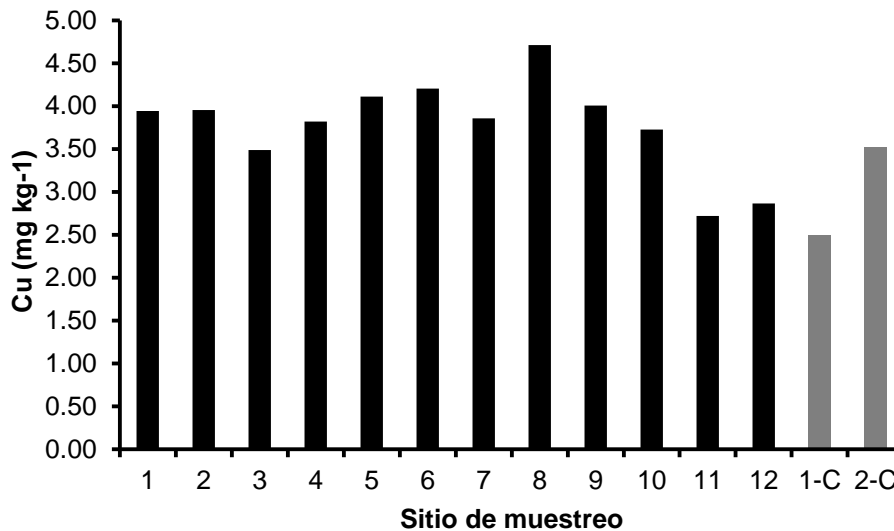


Figura 51. Concentración promedio (mg kg⁻¹) de Cu en el grano de trigo, en sitios irrigados con agua residual en el Valle de Juárez y dos de otra región (C).

En cuanto a la concentración promedio del Ni (Figura 52) fue algo variable entre sitios, se observó que los sitios 9, 10 y 11 presentaron la concentración más baja (0.127 mg kg⁻¹). Se observó que las concentraciones en los sitios irrigados con agua residual presentaron mayor concentración de Ni, en comparación con los sitios irrigados con agua de pozo. Esto se debe a que a una aplicación continua de agua residual no solo aumenta la concentración de nutrientes disponibles en el suelo, también se provoca un incremento en los metales pesados en algunas partes de la planta y suelo (Balkhair *et al.*, 2014).

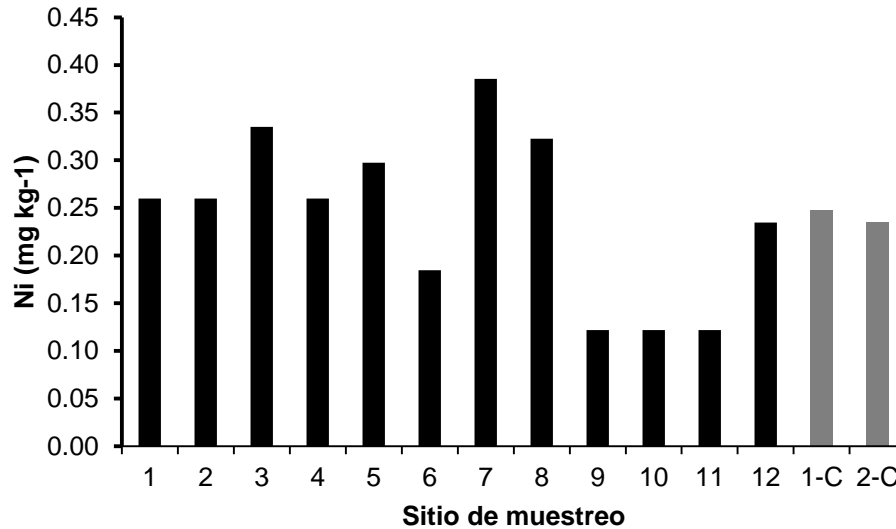


Figura 52. Concentración promedio (mg kg^{-1}) de Ni en el grano de trigo, en sitios irrigados con agua residual en el Valle de Juárez y dos de otra región (C).

La concentración de Pb encontrada en el grano de trigo (Figura 53), fue igual en la mayoría de los sitios irrigados con agua residual, solo el sitio 8 presento una concentración mayor (0.463 mg kg^{-1}), la cual se encuentra por encima del límite de tolerancia en alimentos (0.4 mg kg^{-1}). Esto nos indica que hay que realizar más estudios en este sitio para averiguar si se está produciendo una acumulación residual por el continuo riego con aguas residuales. En cuanto a los sitios control, se observó que estos presentan niveles más altos que los que fueron irrigados con agua residual 0.508 mg kg^{-1} y 0.552 mg kg^{-1} , los cuales están también por encima del límite. Esto podría estar relacionado a la aplicación de fertilizantes a la que están expuestos estos sitios, ya que una aplicación consecutiva de fertilizantes y pesticidas pueden resultar en el incremento de metales pesados particularmente Cd, Pb y As (Atafar, 2010)

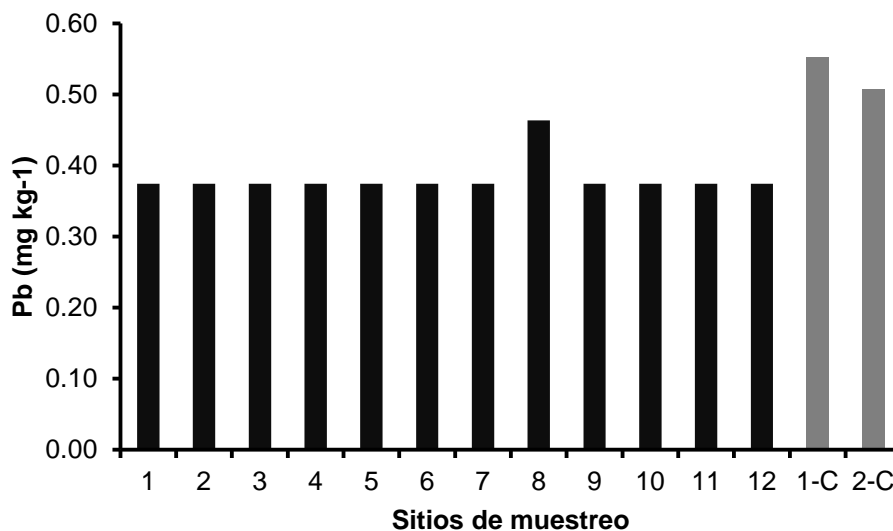


Figura 53. Concentración promedio (mg kg^{-1}) de Pb en el grano de trigo, en sitios irrigados con agua residual en el Valle de Juárez y dos de otra región (C).

La concentración promedio de Cd (Figura 54) mostro una similitud entre sitios al igual que entre las parcelas comerciales, la concentración mayor fue de 0.076 mg kg^{-1} mientras que la menor encontrada de 0.044 mg kg^{-1} , esto en cuanto a las parcelas irrigadas con agua residual. Las parcelas control mostraron una menor concentración con 0.037 (1-C) y 0.033 mg kg^{-1} (2-C). Las concentraciones tanto del control como las de agua residual se encuentran por debajo del límite de tolerancia (0.1 mg kg^{-1}) mencionado por Huang *et al.* (2008).

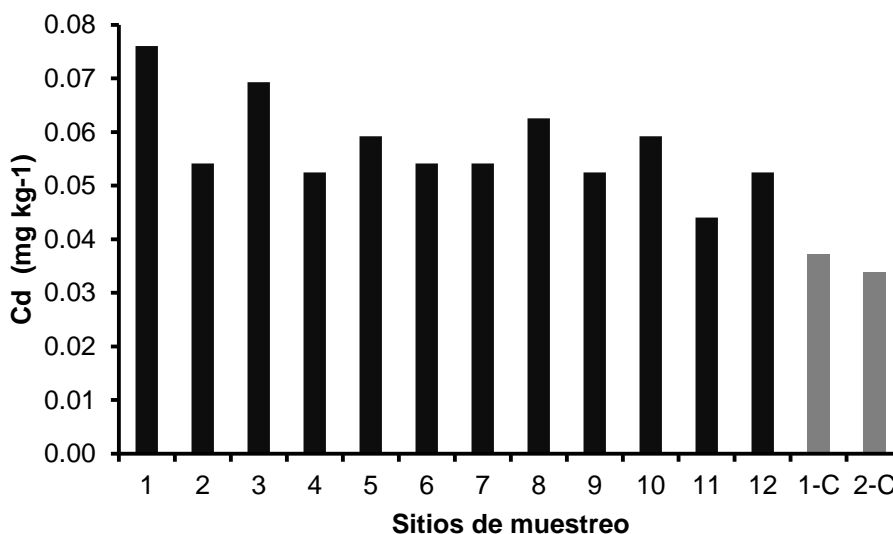


Figura 54. Concentración promedio (mg kg^{-1}) de Cd en el grano de trigo, en sitios irrigados con agua residual en el Valle de Juárez y dos de otra región (C).

En la Figura 55 observa la concentración promedio obtenida de Zn en el grano de trigo cultivado en suelos irrigados con agua residual, los valores encontrados son muy homogéneos entre sitios a diferencia de los sitios control donde se utiliza agua de pozo para irrigar los campos, donde se muestran contracciones más elevada. Uno de los sitios control se encuentra por debajo del límite máximo permitido de este metal en alimentos, mientras que el otro control presenta una concentración de $67.745 \text{ mg kg}^{-1}$ la cual se encuentra por encima del límite de tolerancia en alimentos (50). Se debe de prestar atención a estas concentraciones ya que el consumo de alimentos con elevadas cantidades de Zn puede resultar dañino para la salud. Y más por el hecho de que los granos son casi el alimento de ingestión máximo en la dieta diaria y también un tipo de consumo durante toda la vida (Huang *et al.*, 2008).

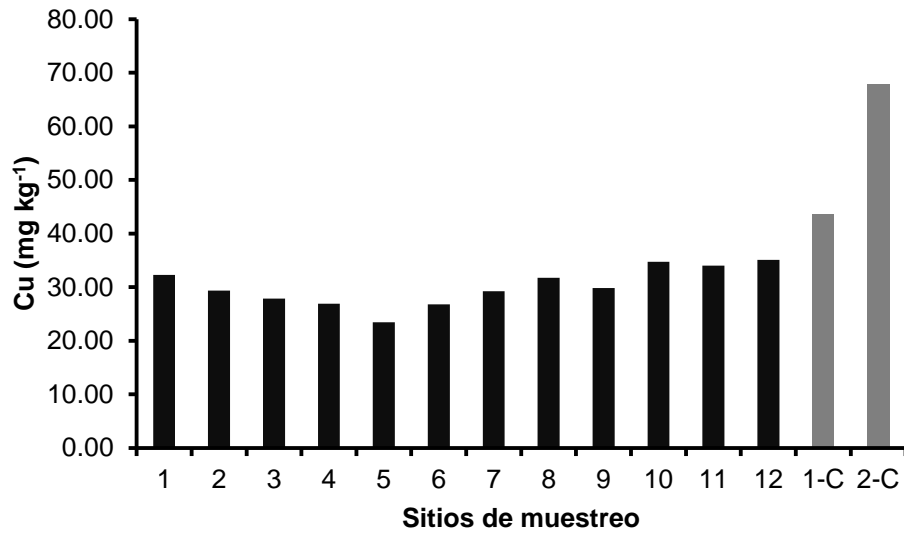


Figura 55. Concentración promedio (mg kg^{-1}) de Zn en el grano de trigo, en sitios irrigados con agua residual en el Valle de Juárez y dos de otra región (C).

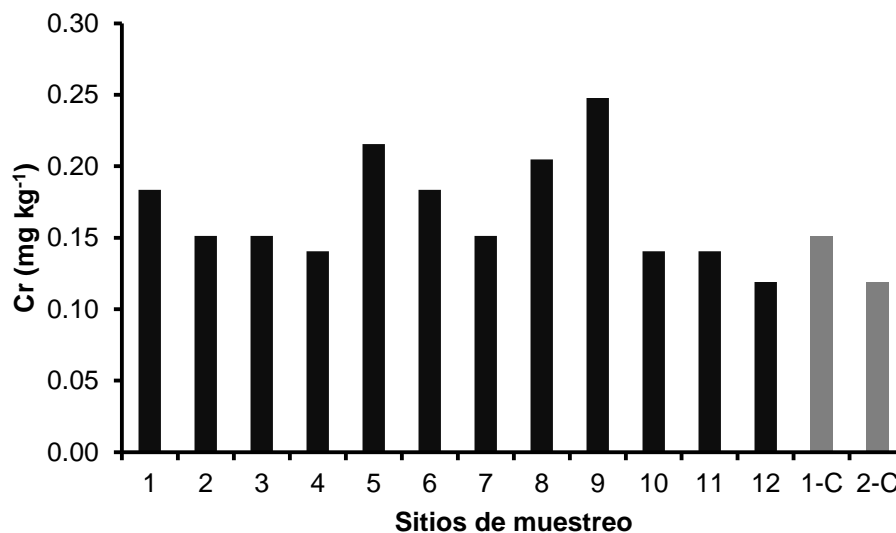


Figura 56. Concentración promedio (mg kg^{-1}) de Cr en el grano de trigo, en sitios irrigados con agua residual en el Valle de Juárez y dos de otra región (C).

Las concentraciones de Cr en el grano de trigo cultivado bajo la irrigación con aguas residuales se muestran en la Figura 56. Se logra apreciar una variación en cuanto a concentración encontrada entre parcelas siendo la mayor concentración 0.247 mg kg^{-1} y la menor concentración 0.119 mg kg^{-1} , ambas por debajo del límite de tolerancia en alimentos (1 mg kg^{-1}).

En cuanto a metales pesados contenidos en el suelo (Cuadro 64), se observó que ninguno se encuentra superando los límites máximos permitidos (Huang *et al.*, 2008). Se muestra el promedio de la concentración de metales pesados encontrados en el grano de trigo irrigado con agua residual. Se observó que la mayoría de estos se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles para alimentos (Huang *et al.*, 2008). Sin embargo, el Zn presentó una muestra con un valor más alto ($67.7453 \text{ mg kg}^{-1}$) al límite de tolerancia. Igual el Pb presenta una muestra con un valor más alto ($0.5526 \text{ mg kg}^{-1}$) al límite de tolerancia (0.4 mg kg^{-1}). Valor al cual se le debe de prestar atención y realizar otros estudios, para determinar si realmente la concentración se encuentra algo elevada. Ya que el plomo se ha identificado como uno de los metales pesados que puede perjudicar la función de los órganos en el humano, incluso cuando se ingiere en cantidades mínimas (Akpoborie *et al.*, 2014). Bigdeli (2008) menciona que la principal causa de preocupación en términos de contaminación de los vegetales es el plomo, ya que se encontró también altos niveles de plomo al realizar un estudio donde se irrigaba con agua residual. Sin embargo, los niveles que ellos reportan exceden el valor de tolerancia por bastante ($0.75\text{-}3.83 \text{ mg kg}^{-1}$). Las concentraciones encontradas variaron en un rango $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Cd}$.

Cuadro 64. Concentraciones de metales pesados (mg kg^{-1}) en el grano de trigo, cultivado en parcelas irrigadas con y sin agua residual.

Metales pesados	Rango	Límite de tolerancia ^a
Zn	23.43-67.74	50
Cu	2.49-4.71	10
Pb	0.37-0.55	0.4
Cr	0.11-0.24	1
Ni	0.12-0.38	1
Cd	0.03-0.07	0.1

^a Límites de tolerancia de diferentes metales pesados en alimentos (Huang *et al.*, 2008).

Cuadro 65. Concentraciones de metales pesados (mg kg^{-1}) en el suelo.

Metales pesados	Rango	Media	Límite permisible
Zn	43.09-56.81	49.953	200-250
Cu	12.98-21.79	17.389	50-100
Pb	16.95-21.60	19.279	250-300
Cr	12.93-15.65	14.294	150-200
Ni	16.67-19.88	18.281	40-50
Cd	0.69-0.86	0.778	0.3

^a Límites de tolerancia de diferentes metales pesados en suelo (Huang *et al.*, 2008)

Conductividad eléctrica, pH y textura del suelo

El pH encontrado en las diferentes muestras de suelo (Cuadro 66) va de un rango de 7.01 a 8.42, el cual lo clasifica entre neutro a moderadamente alcalino. Estos valores obtenidos en el suelo pueden ayudar a explicar porque los bajos niveles de metales pesados en el grano de trigo, ya que la adsorción de metales está fuertemente condicionada por el pH del suelo. La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a un pH ácido. En cuanto a la conductividad eléctrica, hubo variación en la clasificación, se encontraron suelos no salinos ($<2.0 \text{ dS/cm}$), ligeramente salinos ($2-4 \text{ dS/cm}$) y medianamente salinos ($4-8 \text{ dS/cm}$). La salinidad del suelo puede incrementar, reducir o no tener efecto sobre la concentración de metales pesados en cultivos (Peris, 2006). Por lo que se tendrían que realizar más estudios relacionados con la salinidad del suelo y la absorción de metales pesados.

Cuadro 66. pH y conductividad eléctrica de muestras de suelo.

Muestra	pH	C.E. dS/m
1	7.47 ± 0.86	1.50 ± 0.7
2	7.63 ± 0.43	1.50 ± 0.04
3	7.79 ± 0.33	1.04 ± 0.02
4	7.66 ± 0.44	1.25 ± 0.02
5	7.41 ± 0.52	1.99 ± 0.02
6	7.37 ± 0.45	2.02 ± 0.01
7	7.73 ± 0.42	1.37 ± 0.03
8	7.66 ± 0.51	1.70 ± 0.04
9	7.94 ± 0.38	1.23 ± 0.06
10	7.565 ± 0.36	3.81 ± 0.01
11	7.01 ± 0.27	0.02 ± 0.0002
12	7.79 ± 0.23	4.96 ± 0.004
1-C	8.36 ± 0.06	0.573 ± 0.01
2-C	8.40 ± 0.01	0.962 ± 0.001

En el cuadro 67 se muestra la clasificación de la textura del suelo encontrada en los diferentes sitios de muestreo, donde se muestra que en su mayoría los suelos contienen una fracción representativa de arcilla, la cual ayudo a la retención de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas cultivadas en estos sitios.

Cuadro 67. Clasificación de la textura del suelo de los diferentes sitios de muestreo.

Sitio	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clasificación
Loma Blanca- 1	39.2	21.8	39	Franca
Loma Blanca- 2	30.2	25.8	44	Franca
3 jacales	47.2	25.8	27	Franco arcillo arenosa
Caseta/Escuela	35.2	39.8	25	Franco arcillosa
Balo	23.2	37.8	39	Franco arcillosa
Rancho UACJ	31.2	27.8	41	Franco arcillosa
Polo	62.2	17.8	20	Franco arenosa
Placitas	25.2	31.8	43	Franco arcillosa
Báscula	51.2	25.8	23	Franco arcillo arenosa
Barreales	30.2	29.8	40	Franco arcillosa
Rancho UACJ- Exp. NMin.	26.2	3.8	70	Franco limosa
Polo- Exp. NMin.2016	58.2	19.8	22	Franco arenosa
Janos	25.2	45.8	29	Arcillosa
Ascensión	43.2	29.8	27	Franco arcillosa

X.2. Capacitación sobre aplicación de biosolidos en suelos agrícolas.

La difusión del programa de biosolidos consistió en estrategias de acercarse a los medios de comunicación y tratar de establecer contactos para iniciar el envío y difusión de artículos escritos, entre otros. También, se tuvo acercamiento con agricultores que están planeando aplicar biosolidos después de cosechar el trigo y para las siembras de sorgo forrajero. Un avance significativo fue la ponencia del director del proyecto al gremio agronómico de Ciudad Juárez 28 de Mayo de 2016 en las instalaciones de la ExESAHE actual parque central. El Dr Juan Pedro Flores Margez, Director del proyecto de biosolidos presento una ponencia de al gremio agronómico de Ciudad Juárez (ESAHE). 28 de Mayo 2016.

https://www.youtube.com/watch?v=HImuBmlwoKM&feature=em-share_video_user




Elaboración de material para cursos y talleres: se tuvo una reunión del grupo de trabajo al iniciar el ciclo escolar en UACJ con la finalidad de organizar los temas y ponentes quienes están en preparación de las ponencias y escritos. Se anexa a este informe las ponencias completas, las cuales fueron impartidas en los diferentes cursos y reuniones en los tres municipios a lo largo del proyecto. Las listas de asistencia a los eventos se anexan al informe.

Ejemplos de avances en el material para cursos y talleres

ANTECEDENTES DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Hace más de 7000 años en Jericó ya utilizaban sistema de pozos y canales sencillos.




Los griegos, hace más de 3000 años construyeron canales de aereación. Los romanos (hace 2000 años aproximadamente) también construyeron este tipo de canales además de acueductos.

EGIPTO Y CHINA Sistema filtración utilizando grava y arena con troncos huecos a modo de tuberías.


1

ANTECEDENTES DE TRATAMIENTO DE AGUAS

La inquietud de hombre por el tratamiento de agua precedió a su desarrollo con la caída del imperio romano en el periodo comprendido entre el año 350 y 500 D.C. Esto provocó la aparición de enfermedades muy graves, muchas de las cuales convertidas en verdaderas epidemias.




Con la Revolución Industrial surgió la necesidad de tratamiento de aguas. En 1856 empieza a funcionar en París el mayor planta de tratamiento hasta ese momento. En 1877 se construye por primera vez un tipo de arena, conocido hasta hoy en día el primer sistema de tratamiento efectivo con tres de sus etapas.




2

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO

Ante el crecimiento demográfico y socio económico del país, las actividades de aumento de agua potable, alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales requieren cada día mayor inversión en la agenda municipal y estatal.




La falta de recolección y tratamiento de las aguas residuales que se desecha en los ríos, lagos y demás cuerpos receptores afectan la calidad del agua y generan su depositación equivocadamente.



3

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO

Los beneficios de contar con agua de calidad son innumerables, por esta razón, en México se ha creado un marco normativo que se encarga de regular las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores a través de las siguientes normas.




NORMAS OFICIALES MEXICANAS

6

NORMA Oficial Mexicana NOM-01-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

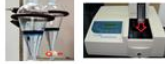
Temperatura	Demanda bioquímica de oxígeno	Cromo
pH	Nitrógeno total	Mercurio
Grasas y aceites	Fósforo total	Níquel
Metales pesados	Coliformes fecales	Plomo
Sólidos sedimentables	Huevos de helmintos	Zinc
Sólidos suspendidos totales	Cianuros	Asbénico
		Cadmio
		Cobre



7

NORMA Oficial Mexicana NOM-02-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.


Temperatura	Demanda bioquímica de oxígeno	Cromo*
pH	Nitrógeno	Mercurio
Grasas y aceites	Níquel	Níquel
Materia flotante	Condiciones particulares de descarga	Plomo
Sólidos sedimentables		Zinc
Sólidos suspendidos totales		Asbénico
		Cadmio
		Cobre



8

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO

Figura 1. Cobertura de tratamiento de aguas residuales por Estado en México a diciembre de 2013.



11

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO

Programa Nacional Integral 2014-2018. Infraestructura de tratamiento de aguas residuales en México.

Plantas de tratamiento municipales en operación: 2340

Capacidad tratada (M³): 142.7

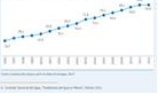
Caudal tratado (M³/s): 52.2

Cobertura de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales (%): 47.5

Plantas de tratamiento industriales en operación: 2602

Capacidad tratada (M³): 74.8

Caudal tratado (M³/s): 26.2





12

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO

La infraestructura para el tratamiento de aguas residuales no siempre es la adecuada y desprende Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Las lagunas de estabilización, seguidas por fodos activados y reactores tipo UASB representan 80 % de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales municipales.

13

Laboratorio Ambiental

M.I. Luz del Carmen Agüero Reyes

19 de abril 2016

1

Muestreo, transporte y conservación de agua residual y biosólidos, Análisis químico, Parámetros, Datos reportados y comparación con legislación, Servicios de análisis y costos, Interpretación de reportes de análisis agua potable, residual y biosólidos.

M.I. Luz del Carmen Agüero Reyes
maguero@uaq.mx

19 de abril 2016

2

Agua residual

- Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso así como la mezcla de ellas (NOM-001-SEMARNAT-1996)

3

Muestreo

- Objetivo del muestreo
- Cumplimiento con normatividad?
 - NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Lodo y biosólidos - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
 - NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes naturales
- Caracterización??

6

Muestreo

- Tipos de muestra:
 - Simple
 - Compuesta
 - Manus
 - Justeada

7

8

Recomendaciones para la Incorporación de Biosólidos en Suelos Agrícolas

P.D. Juan Pedro Flores Márquez
Docente e Investigador UAQJ

Presentado en la Reunión del Premio Agronómico de la Universidad Agronómica "Dr. Ismael García Escobedo" en Ciudad Juárez, Chihuahua, 23 de Mayo de 2016.

1

Contenido

- I. Programa Frontera 2020
- II. Agua Residual
- III. Legislación
- IV. Lodo Residual o Biosólido
- V. Avances en Investigación y Divulgación
- VI. Programa de Incorporación de Biosólidos
- VII. Comisión de Utilización de Biosólidos
- VIII. Conclusiones

Flores Márquez, J.P.M.

2

I. Programa Frontera 2020

U.S. Mexico Border 2020 Program

EPA

Region 9 Children's Environmental Health Symposium in San Diego, CA

Where to Watch 2020

Region 9

Region 9

Where to Attend?

3

II. Agua Residual

Número de msa por región administrativa

región hidrográfica administrativa	plantas en operación	capacidad instalada (mln m ³ / día)	caudal tratado (mln m ³ / día)
1) Península de Baja California	41	7.71	5.77
2) Sonora	48	4.36	3.50
3) Chihuahua	239	6.36	5.14
4) Coahuila	116	1.24	1.13
5) Durango	78	0.70	0.66
6) Zacatecas	111	25.51	21.78
7) Cuernavaca del Sur	350	5.30	4.62
8) Toluca	423	20.39	17.23
9) Querétaro	84	2.26	1.96
10) Jalisco Central	132	4.37	3.24
11) Jalisco Sur	36	1.81	1.30
12) Península de Yucatán	52	2.24	1.72
13) Agua del Valle de México	83	16.91	13.70
Total	1721	106.28	79.31

5 PTAR en Juarez
Total: 3 m³/s
Fuente: UAGJ, 2014

7

Estimación de Biosólidos Generados por Año en las PTAR a Nivel Nacional

24.4 m³ agua / año
191,296 t / año lodos activados
Fuentes, et al., 2009

79.3 m³ agua / año
500,223 t sólidos / año

Dosis = 30 t / ha → 16,674 ha / año (cap. instalada)

0.2 g Sólido / L Agua Negra

Flores Márquez, J.P.M.

8

III. Legislación Mexicana

BIOSOLIDOS

NOM-052-S-1993 (Caract. Residuo Peligroso Toxicidad)
Clasif. de no peligros: CR118

NOM-055-S-1993 (Requisitos Sitios Confinamiento)
Clasif. de peligros

NOM-004-S-2002 (BIOSOLIDOS)
Establece Niveles de Contaminación para su Aprovechamiento y Disposición Final

Flores Márquez, J.P.M.

9

Producción y disposición de biosólidos en la Comunidad Económica Europea

país	cantidad	agricultura	huleño sanitario	incineración	oceanos	otro
Francia	805	502,708	238,027	330,751		
Alemania	2,683	724,727	1,448,754	175,714		154,75
Italia	48	48,750	48,750			83,70
Holanda	135	87,726	175,751	39,73		67,700
Portugal	75	7,733	7,733		0,72	14,7,758
España	350	175,75	175,751	175,75		35,730
Suecia	300	80,740	120,760			

EPA Biosolids Generation, Use, and Disposal in The United States

13

EPA

A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule

The Federal biosolids rule for the use or disposal of sewage sludge is contained in 40 CFR Part 503.

• Biosolids Laws and Regulations

The EPA publication entitled A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule summarizes the comprehensive rule and was written to help make the Part 503 rule more understandable. While the guide is not a substitute for the actual rule, it is consistent with the content of the Part 503 rule and can be a helpful tool for the rule's interpretation and implementation.

<https://www.epa.gov/biosolids/plain-english-guide-epa-part-503-biosolids-rule>

Flores Márquez, J.P.M.

14

Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en biosólidos

clase	Coliformes fecales ¹ NMP g ⁻¹ (base seca) ²	Patógenos: Salmonella spp. NMP g ⁻¹ (base seca)	Parásitos: huevos de helmintos ³ N/g ⁻¹ (base seca)
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Indicador bacteriológico de contaminación. NMP: número más probable.
Número de helminthos viables. Fuente: SEMARNAT, 2002.

15

Cuadro 66. Actividades de difusión y capacitación realizadas en el proyecto durante el periodo Septiembre a Noviembre de 2016.

Fecha	Actividad	Comentarios
21 septiembre 2016	Reunión extraordinaria del consejo de desarrollo rural sustentable Valle de Juarez	<ul style="list-style-type: none"> a) Se entregó a los asistentes la publicación tipo desplegable informativa No. 4: estrategia para activar la comisión de vigilancia para uso de biosólidos en Ciudad Juárez, Chihuahua. b) Se comentó la información de costos de esparcidora de biosólidos. c) El agricultor Benito Correa Martínez del ejido San Agustín solicitó aplicar biosólidos en 2 hectáreas, pero la esparcidora está en mantenimiento e inventario por cambio de gobierno estatal por la JMAS.
28 septiembre 2016	Reunión ordinaria del consejo de desarrollo rural sustentable Valle de Juarez	<ul style="list-style-type: none"> a) Se entregó a los asistentes la Propuesta para la formación de la comisión de uso de biosólidos. b) Se acordó que en la próxima reunión darán 20 minutos para presentación de avances del proyecto de biosólidos.
1 octubre 2016	Reunión de agrónomos de la Escuela Superior de Agricultura Hermanos Escobar.	<ul style="list-style-type: none"> a) En la conferencia sobre el cultivo de Nopal por el Dr. Esteban Herrera, se entregó a 26 asistentes la publicación tipo desplegable informativa No. 4: estrategia para activar la comisión de vigilancia para uso de biosólidos en Ciudad Juárez, Chihuahua.
21 octubre 2016	UACJ 2016 Jornadas de Investigación	<ul style="list-style-type: none"> a) Difusión del proyecto ante la Comunidad universitaria con la ponencia: Respuesta agronómica y edáfica a la aplicación de biosólidos en el cultivo de algodón en el Valle de Juárez, Chihuahua.
27 octubre 2016	Reunión ordinaria del consejo de desarrollo sustentable Valle de Juarez	<ul style="list-style-type: none"> a) En la presentación de los nuevos funcionarios municipales y estatales, se entregó a los asistentes la publicación tipo desplegable informativa No. 4: estrategia para activar la comisión de vigilancia para uso de biosólidos en Ciudad Juárez, Chihuahua. b) Se informó e invitó al curso de biosólidos para funcionarios gubernamentales e institucionales a realizar el 15 de noviembre en la UACJ, ICB.

		<ul style="list-style-type: none"> c) Se obtuvo información de contacto telefónico y electrónico de nuevos funcionarios para formar una base de datos tipo directorio.
15 de noviembre 2016	Curso de biosólidos funcionarios gubernamentales e institucionales	<ul style="list-style-type: none"> a) Se tuvo la asistencia de 29 representantes institucionales en este curso. b) Se entregaron carpetas con la información impresa y digital de los cinco módulos o temas impartidos. c) Al termino de las presentaciones, se realizó una sesión tipo mesa redonda de la que se generaron conclusiones y recomendaciones.

Reunión extraordinaria del consejo de desarrollo rural sustentable Valle de Juarez, San Agustín.



Desplegable informativa que se ha entregado en las reuniones.



*Juan Pedro Flores Margez, Baltazar Corral Diaz,
Pedro Osuna Ávila, Luz del Carmen Agüero Reyes,
Laura Elena Santana Contreras y
Ana Irene Flores Arras*

Desplegable Informativa UACJ-CA-60 No. 4
Cuerpo Académico: Sistemas de Producción Agrícola
Ciudad Juárez, Chih., Septiembre de 2016

Curso de biosólidos para funcionarios y representantes institucionales.



Cuadro 68. Actividades de difusión y capacitación realizadas en el proyecto durante el periodo Diciembre 2016 a Febrero 2017.

Fecha	Actividad	Comentarios
19 Enero 2017	Reunión del Consejo Consultivo para Mejorar la Calidad del Aire en la Región Paso del Norte	<ul style="list-style-type: none"> d) Se entregó a los asistentes la publicación desplegable informativa No. 6: La calidad del aire y comisión de vigilancia de lodo residual y biosólidos en Ciudad Juárez, Chihuahua. e) La audiencia fue de 21 personas que recibieron la información enfocada a la necesidad de formar la comisión de vigilancia para el uso apropiado de los biosólidos. f) El alumno de doctorado en ciencias químico biológicas Joel A. Hernández Escamilla es asesorado por el Dr. Juan P. Flores M. y está en proceso de evaluar la presencia de hongos en material particulado dispersado al aire en áreas del suroeste de la ciudad donde los biosólidos del relleno sanitario pueden tener efectos en la calidad del aire.
8 Febrero 2017	Reunión ordinaria del Consejo de desarrollo rural sustentable Valle de Juárez, SAGARPA.	<ul style="list-style-type: none"> c) Se entregó a los asistentes la publicación desplegable informativa No. 7: Nuevas variedades de trigo Harinero y uso de biosólidos en Ciudad Juárez, Chihuahua. d) La audiencia fue de 27 personas, técnicos agrícolas, representantes de instituciones, entre otros, quienes recibieron la información y se acordó realizar un recorrido por la planta de tratamiento de agua residual norte. e) Se informó a la audiencia sobre el análisis de metales pesados en grano de trigo cosechado en suelos tratados con biosólidos (tesis de maestría en proceso), así como de los experimentos de mineralización de biosólidos concluidos en fase de análisis estadístico, además del premio estatal de ciencia otorgado a Juan P. Flores M. por los estudios y publicaciones del proyecto de biosólidos en el periodo 2013 a 2016.

25 Febrero 2017	Curso para productores y Técnicos agrícolas y ganaderos Del Valle de Juarez.	<p>a) Se entregó a los asistentes la publicación desplegable informativa No. 8: Recomendaciones para utilizar biosólidos en la producción agropecuaria.</p> <p>b) La audiencia fue de 31 personas en su mayoría agricultores y ganaderos, De los municipios de Guadalupe y Praxedis G. Gro., Chihuahua, quienes recibieron la información de como aplicar biosolidos en campo, ya sea para forrajes o cultivos de granos.</p> <p>c) La demanda específica fue la necesidad disponer de más maquinas esparcidoras de biosólidos y varios agricultores solicitaron aplicar biosolidos.</p>

Desplegable informativa núm. 6 distribuida en reunión del grupo de trabajo de calidad del aire.

ESTUDIOS DE MATERIAL PARTICULADO DISPERSADO AL AIRE

La UACJ también tiene un proyecto en colaboración con *New Mexico State University* (Dr. Manoj K. Shukla y Dr. Dave DuBois), el cual incluye un estudiante de doctorado en Ciencias Químico Biológicas (Joel A. Hernández E.) con la finalidad de desarrollar instrumentos de medición de material particulado de manera práctica, económica y versátil (Figura 1).



Figura 1. Instrumentos para medición de material particulado dispersado al aire.

Este proyecto tiene como objetivos:

Generar información de material particulado mineral (metales) y orgánico (hongos) dispersado al aire para establecer modelos de predicción a diferentes niveles de humedad del suelo, tamaño de partícula, velocidades de viento y altura en base a evaluaciones

de tolvaneras causadas por factores naturales y antropogénicos en condiciones edafoclimáticas representativas del desierto Chihuahuense.

El material dispersado al aire por actividades rurales, urbanas, y fuentes naturales debe ser estudiado por su efecto potencial en la salud humana y ambiental.



Agradecimientos:

A la COCEF y US-EPA por el apoyo del proyecto de biosólidos en suelos agrícolas del Valle de Juárez.

Literatura Citada:

JMAS-CAR-Degremont. 2016.
 NOM-004-SEMARNAT-2002. Lodos y Biosólidos.
 EPA, 2002, EPA 503, Biosolids Rule.

Contacto para mayor información:

Dr. Juan Pedro Flores Margez
Juflores@uacj.mx / floresmargez@hotmail.com
 Tel. 656-688-1861 y 688-1800 ext. 1861
www.facebook.com/biosolidosjuarez



La Calidad del Aire y Comisión de Vigilancia de Lodos Residuales o Biosólidos en Ciudad Juárez, Chihuahua



Juan P. Flores Margez, Baltazar Corral Diaz, Pedro Osuna Ávila, L. Carmen Agüero Reyes, Laura E. Santana Contreras, Ana I. Flores Arras y Joel A. Hernandez Escamilla

Desplegable Informativa UACJ-CA-60 No. 5
 Cuerpo Académico: Sistemas de Producción Agrícola
 Ciudad Juárez, Chihuahua, Enero de 2017

Desplegable informativa y reunión ordinaria del consejo de desarrollo rural sustentable Valle de Juárez. 8 Feb, 2017.

Problemática y Avances de Investigación

Se siguen sembrando variedades muy viejas como Rayón F-89 y Delicias F-81, que aunque con respuesta aceptable en buenas condiciones de manejo y buena recepción por la industria harinera, es imperante la necesidad de apoyar a los productores con nuevas variedades y mejor calidad de semillas para las condiciones edafoclimáticas prevalecientes en el Noroeste del Estado.

Experiencias con uso de biosólidos

La dosis de biosólidos aplicada en suelos con trigo han sido: 6 a 11 t / ha con base en peso seco y 30 a 53 t / ha con base húmedo (70% agua). El cálculo depende del tipo de suelo y potencial productivo.



Figura 2. Uso de trascabo y esparcidora para la aplicación de biosólidos (sup.) y cosecha de trigo en parcela con biosólidos en San Isidro, Mpo. Juárez (inf).



Figura 3. Distribución de la producción de trigo en México (FIRA, 2015).

Agradecimientos:

A los agricultores Sr. Osvaldo Beanes (Mpo. Guadalupe) y Sr. Hipólito Estrada (Mpo. Juárez) por su apoyo. Gracias a la U.S.EPA-COCEF Programa Frontera 2020, a la empresa Degremont-CAR y JMAS en Cd. Juárez por el transporte de biosólidos y apoyo de la esparcidora. Gracias al Gobierno del Estado de Chihuahua través del Instituto de Innovación y Competitividad por financiar el proyecto de validación de nuevas variedades de trigo 2017.

Literatura Citada:

De Anda, 2017. Mejoramiento genético de trigos harineros y cristalinos para zonas amidas y semáridas de niego. Revista ESAHE "Tecnología Agropecuaria" Febrero 2017.
 FIRA, 2015. Panorama agroalimentario trigo. http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/61954/Panorama_Agroalimentario_Trgo_2015.pdf
 SAGARPA, 2015. Estadísticas de trigo en México.

Contacto para mayor información:

Dr. Juan Pedro Flores Margez
jpflores@uacj.mx / floresmargez@hotmail.com
 Tel. 656-688-1861 y 688-1900 ext. 1861
www.facebook.com/biosolidosjuarez



Nuevas Variedades de Trigo Harinero y Uso de Biosólidos



Dr. Juan Pedro Flores Margez
 M.C. Baltazar Corral Diaz
 Dr. Pedro Osuna Ávila
 Lic. Ana Irene Flores Arras

Desplegable Informativa UACJ-CA-60 No. 7
 Cuerpo Académico: Sistemas de Producción Agrícola
 Cd. Juárez, Chihuahua, Febrero de 2017

Imágenes de las reuniones del consejo de desarrollo rural sustentable Valle de Juárez, 2017.



Desplegable informativa que se entregó en curso para agricultores y ganaderos. 27 Feb. 2017.

4. Calcular la dosis agronómica de biosólidos.
5. Solicitar a la Planta de tratamiento de aguas residuales el transporte del volumen calculado
6. Colocar los biosólidos en una esquina del terreno para cargar la esparcidora.
7. Esparcir de manera uniforme la dosis calculada por hectárea.
8. Realizar un rastreo para incorporar los biosólidos en el suelo de manera inmediata para reducir la atracción de vectores como roedores, perros, etc.
9. Vigilar cuidados e higiene de los operadores y la maquinaria.
10. Informar a las autoridades de la Comisión de Uso de Biosólidos (CUB), UACJ, SAGARPA y Dirección de Desarrollo Rural de los Municipios del área de influencia, sobre cualquier incidente en el proceso de transporte, descarga, aplicación, limpieza de maquinaria o cualquier otro de importancia.

RESULTADOS (2013 a 2015)

Los resultados en parcelas de agricultores cooperantes han sido como se muestra en el Cuadro 1. Por ejemplo, la dosis de biosólidos aplicada en suelos con trigo han sido: 6 a 11 t / ha con base en peso seco y 30 a 53 t / ha con base húmedo (70% agua). Las dosis agronómicas calculadas con base en el tipo de suelo, manejo previo de la parcela, tipo de cultivo, rendimiento esperado y tipo de agua de riego, entre otros.

Cuadro 1. Resultados de las parcelas de evaluación de biosólidos para el periodo 2013 a 2015.

Sitio	Suelo	Cultivo	Rend. (t/ha)	Dosis de biosólidos (t/ha)
San Isidro	Franco	Trigo	7.01	29.6
San Agustín	Franco-arenoso	Trigo	4.97	21.3
Praxedis, Gpe.	Franco arcilloso	Trigo	7.78	53.5
San Isidro	Franco arenoso	Algodón	no registro	30.2
Praxedis	Arcilloso	Algodón	6.07	26.8

Agradecimientos:

A la COCEF y US-EPA por el apoyo del proyecto de biosólidos en suelos agrícolas del Valle de Juárez.
A los agricultores cooperantes en las aplicaciones.

Literatura Citada:

JMAS-CAR-Degremont, 2016. Producción de biosólidos.
NOM-004-SEMARNAT-2002. Lodos y Biosólidos.
EPA, 2002; EPA 503, Biosolids Rule.
SAGARPA, 2016. Costos de producción de cultivos en el Valle de Juárez, Chihuahua.

Contacto para mayor información:

Dr. Juan Pedro Flores Margez
Juflores@uacj.mx / floresmargez@hotmail.com
Tel. 656-688-1861 y 688-1800 ext. 1861
www.facebook.com/biosolidosjuarez



Recomendaciones para Utilizar Biosólidos en la Producción Agropecuaria



Juan Pedro Flores Margez, Baltazar Corral Diaz,
Pedro Osuna Avila y Ana Irene Flores Arras

Desplegable Informativa UACJ-CA-60 No. 8
Cuerpo Académico: Sistemas de Producción Agrícola
Cd. Juárez, Chihuahua, Marzo de 2017

Cuadro 69. Actividades de difusión y capacitación realizadas en el proyecto durante el trimestre Marzo a Mayo de 2017.

Fecha	Actividad	Comentarios
8 Marzo 2017	Curso de biosólidos Mpo. Juarez Recomendaciones para utilizar biosolidos en la producción agropecuaria, en Reunión del Consejo de Desarrollo Rural Sustentable Municipio de Juarez, SAGARPA.	<ul style="list-style-type: none"> g) Se entregó una propuesta de acta constitutiva al Director de Desarrollo Rural del Municipio de Juarez para formar la Comisión de Utilización de biosólidos. h) La publicación desplegable informativa No. 8: Recomendaciones para Utilizar biosólidos en la producción agropecuaria fue entregada a los asistentes. i) La audiencia fue de 31 agricultores que recibieron la información enfocada a la necesidad de formar la comisión de vigilancia para el uso apropiado de los biosolidos.
9 Marzo 2017	Gestión de la maquina esparcidora de biosolidos ante la JMAS: reunión con el Presidente de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS) de Ciudad Juarez, Chihuahua. C.P. Jorge Dominguez Cortes	Al Presidente de la JMAS se le explico ampliamente el proyecto de biosolidos y la necesidad de que continúe la disposición de estos materiales en los suelos agrícolas. Se le entrego el informe del proyecto de biosolidos anterior (2014-2015) financiado por La EPA y COCEF, además la 8 desplegab informativas generadas en el proyecto actual. Por escrito se le solicito la maquina esparcidora de biosolidos en préstamo para la UACJ, así como el apoyo de autorizar el transporte para que las Plantas de Tratamiento de aguas residuales puedan seguir enviando biosolidos a los campos agrícolas del Valle de Juarez.
15 Marzo 2017	Curso de biosolidos para productores y Técnicos agrícolas del Valle de Juarez. Municipio Praxedis G. gro., Chihuahua, en reunión de la Junta Local de Sanidad Vegetal.	<ul style="list-style-type: none"> a) Se entregó una propuesta de acta constitutiva al Director de Desarrollo Rural del Municipio de Praxedis para formar la Comisión de Utilización de Biosolidos. b) La audiencia fue de 16 agricultores y ganaderos, quienes recibieron la información de cómo aplicar biosolidos campo, ya sea para forrajes o cultivos de granos. c) La demanda especifica fue la necesidad

		disponer de más maquinas esparcidoras de biosólidos y varios agricultores solicitaron aplicar biosolidos.
22 Marzo 2017	Curso de biosolidos para funcionarios, productores y técnicos agrícolas del Municipio de Guadalupe, D.B. Chihuahua,	<ul style="list-style-type: none"> a) Se entregó una propuesta de acta constitutiva al Presidente Municipal y al Director de Desarrollo Rural del Municipio de Guadalupe D.B., para formar la Comisión de Utilización de Biosolidos. b) La audiencia fue de 14 asistentes, quienes recibieron la información de cómo aplicar biosolidos en campo.
29 Marzo 2017	Apoyo en gestión al Presidente Municipal de Guadalupe D.B., Ing. Jaime Guerrero Guadian, para solicitar la máquina de Biosólidos a la JMAS.	El municipio de Guadalupe muestra por escrito su apoyo al proyecto de biosolidos y solicita la maquina esparcidora que está siendo requerida por los agricultores.
4 Abril 2017	Curso de biosolidos para funcionarios, productores y técnicos agrícolas del Municipio de Praxedis, G. Chihuahua,	<ul style="list-style-type: none"> a) Se entregó una carpeta con la Información del curso y folletos, Las ponencias fueron sobre Legislación ambiental, suelos, Dosis de biosolidos, cultivos agrícolas, Aguas residuales y se realizó una sesión De análisis mesa redonda de la que Se generaron siete propuestas. b) La audiencia fue de 17 asistentes, Incluida la C. Presidenta Municipal y la Directora de Desarrollo Rural del Municipio de Praxedis.
3 Mayo 2017	Curso de biosolidos para estudiantes de bachilleres profesores y público general, Municipio de Guadalupe, D.B., Chihuahua, En coordinación con la Asociación Nacional de Egresados de la ESAHE.	<ul style="list-style-type: none"> a) Se entregó una carpeta con la Información del curso y folletos, La ponencia fue sobre suelos y el Manejo de biosolidos, incluidos temas de Legislación ambiental, aguas residuales b) La audiencia fue de 62 asistentes, Incluido el Presidente Municipal y el Director de Desarrollo Rural del Municipio de Guadalupe.
17 Mayo 2017	Curso de biosolidos Para productores y técnicos agrícolas del Municipio de Praxedis, G. Chihuahua,	<ul style="list-style-type: none"> a) La publicación desplegable informativa No. 9: <i>Muestreo de suelos, base para La aplicación de biosolidos y fertilizante en agricultura</i> fue entregada a los 22 asistentes. Además se les entregó información para el análisis de suelos que realiza la UACJ.

		b) La audiencia fue de 22 productores y técnicos agrícolas.
18 Mayo 2017	Gestión para la firma de un Contrato de comodato entre La JMAS y la UACJ para el Prestamos de la maquina Esparcidora de biosolidos.	Este contrato se consideró necesario, pues la JMAS no puede prestar la maquina directamente a los agricultores.

Curso de biosolidos en el municipio de Praxedis G. Gro., Chihuahua. 2017.



Curso de biosolidos para funcionarios y representantes de productores agrícolas del municipio de Guadalupe D.B., Chihuahua.



Curso de biosolidos para funcionarios, productores y técnicos agrícolas del Municipio de Praxedis, G. Gro., Chihuahua, 4 Abril 2017.



Curso de biosolidos para estudiantes de bachilleres profesores y público general, Municipio de Guadalupe, D.B., Chihuahua.

COMENTARIO SOBRE CONFERENCIAS ANEESAHE 2017

Después de la Conferencia sobre "Agricultura Urbana" en La Casa del Agrónomo Cebollero. Se han dictado dos conferencias; Una impartida por el Ing. Miguel Ángel Viveros sobre "Propagación de Plantas" y un mes después el Ing. Valentín De Anda Rubio ofreció una plática sobre "Variedades de Trigo"

Además, este año Las conferencias en la Casa del Agrónomo Cebollero también se han llevado a cabo en áreas fuera de la ciudad. El Ing. Rubén Legarda impartió talleres sobre "hongos seta" en un ejido cercano a Casas Grandes. El Dr. Pedro Flores Margez dicto una conferencia sobre "Manejo de Suelos" en Guadalupe D.B. donde también el Dr. Carlos Rincón ofreció una plática sobre "Medio Ambiente" y el Ing. Valentín de Anda Rubio dio una plática sobre "Remolacha Forrajera"



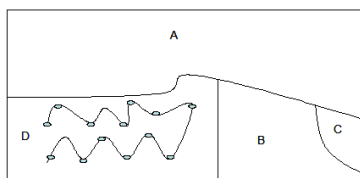
Conferencia "Manejo de Suelos" Dr. Juan Pedro Flores M



Curso de biosolidos Para productores y técnicos agrícolas del Municipio de Praxedis, G. Gro., Chihuahua, 17 Mayo 2017.

La época de muestreo es antes de iniciar el cultivo o durante el desarrollo del cultivo para diagnosticar deficiencias de algún elemento.

La separación de áreas homogéneas se puede realizar como se muestra en la figura 3, al observar en campo color del suelo, textura, áreas salitrosas, manejo previo, pendiente, etc.:



- A: declive suave de 4 ha con pendiente de 1 a 3%
- B: área plana con alfalfa de 2 ha
- C: área plana sin cultivo de 0.2 ha
- D: área con pendiente suave de 3 ha barbechada

Figura. 3. Ejemplo para separar áreas homogéneas en un muestreo de suelos (Castellanos, 2000).

La profundidad de muestreo para cultivos como algodón, trigo, sorgo, entre otros es la capa arable de 0 a 30 cm, así como de 30 a 60 cm.

El número de sub-muestras de suelo a coleccionar pueden ser de 8 a 10 en un previo homogéneo de 5 ha.

El muestreo se puede realizar con pala o barrena, siempre cuidando que el material este limpio, así como la ropa y calzado del encargado del muestreo,

evitar fumar y no coleccionar muestras de suelo en sitios de concentración de animales o tiraderos.

Una vez coleccionada la muestra se deposita en bolsa de plástico o papel (doble) dentro de la cual se coloca una etiqueta con el número de muestra, lugar de muestreo, profundidad de suelo, fecha, cultivo anterior y siguiente, nombre del productor.

En caso de no enviar la muestra al laboratorio inmediatamente, esta se debe secar a la sombra en lugar limpio y evitar contaminación, se vuelve a embolsar y estará listo para su envío al laboratorio.

Análisis de Suelos: el laboratorio ambiental de la UACJ (Tel. 656-688-4800 extensiones 4348 y 4242), maquero@uacj.mx; ofrece el análisis de suelo para los parámetros: alcalinidad, salinidad, fósforo, nitrógeno, bicarbonatos, carbonatos, cloruros, sulfatos, cobre, hierro, manganeso, sodio, zinc, potasio, calcio y magnesio.

Agradecimientos:

A la COCEF y US-EPA Programa Frontera 2020 por el apoyo del proyecto: Programa Sustentable de Disposición de Lodos Residuales o biosólidos en suelos agrícolas.

Literatura Citada:

Castellanos, J. Z. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2da Edición. Itagiti, Calaya, Gto. México.
 CIEPS. 1970. Estudio edáfico, hidrologico y socioeconómico del Valle de Juárez, Chih. Secretaría de Recursos Hidráulicos.
 NOM-004-SEMARNAT-2002. Lodos y Biosólidos.
 EPA, 2002; EPA 503, Biosólidos Rule.

Contacto para mayor información:

Dr. Juan Pedro Flores Margez
juflores@uacj.mx / floresmargez@hotmail.com
 Tel. 656-688-1861 y 688-1800 ext. 1861
www.facebook.com/biosolidosjuarez



Muestreo de Suelos, Base para la Aplicación de Biosolidos y Fertilizantes en Agricultura



Juan Pedro Flores Margez, Baltazar Corral Díaz, Pedro Osuna Ávila, Luz del Carmen Agüero Reyes y Ana Irene Flores Arras

Desplegable Informativa UACJ-CA-60 No. 9
 Cuerpo Académico: Sistemas de Producción Agrícola
 Cd. Juárez, Chihuahua, Mayo de 2017

Muestreo de Suelos, Base para la Aplicación de Biosólidos y Fertilizantes en Agricultura

INTRODUCCIÓN

El conocimiento del suelo es la clave para el manejo óptimo de los insumos como el agua, fertilizantes, abonos orgánicos, actividades de labranza, entre otras, de las cuales depende el rendimiento del cultivo y su rentabilidad.

Los suelos del Valle de Juárez, Chihuahua, se caracterizan por su origen aluvial-eólico formados por el arrastre y acumulación de partículas minerales del Río Bravo a través de miles de años. Son suelos profundos originados de rocas ígneas, calizas y areniscas. Presentan una topografía sensiblemente plana y ligeramente ondulada, su desagüe superficial y su drenaje interno son eficientes, excepto algunas Series de suelo con problemas de drenaje.

Debido a su naturaleza de formación aluvial, los suelos del Valle muestran una *variación considerable* de texturas, perfiles, profundidad, niveles de salinidad y sodicidad, entre otros.

Desde 1970 se establecieron las Series de Suelo para el Valle de Juárez (CIEPS, 1970). Estas fueron: Serie Cedillo que cubre el 14.8% de la superficie del Valle; Serie Juárez, 41.3%; Serie Caseta, 18%; Serie Porvenir, 20.9%; Serie Guadalupe, 4.4%; Serie Presidio, 0.1%.

Estas Series de suelo son pobres en nitrógeno y materia orgánica; medios a ricos en fósforo, ricos en potasio, calcio y magnesio; el pH varía de 7.3 a 9.0, clasificados como ligeramente a muy alcalinos en los horizontes superiores y variables en su contenido de sales (Figuras 1 y 2).

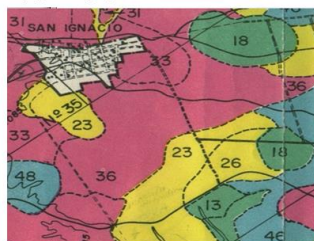


Figura 1. Series de suelo en el municipio de Praxedis, G. Gro., Chih.: 13-18 (Serie Cedillos) 23-26 (Serie Juárez), 31-36 (Serie Caseta), 46-48 (Serie Porvenir).



Figura 2. Series de suelo en el municipio de Guadalupe, D.B., Chihuahua.: 18-19 (Serie Cedillos), 21-26 (Serie Juárez), 31-36 (Serie Caseta), 45-48 (Serie Porvenir).

El análisis químico y físico del suelo es necesario para eficientar la productividad agrícola mediante la aplicación de fertilizantes y abonos orgánicos como los biosólidos (norma: NOM-004-SEMARNAT; EPA, 2002) para aumentar el contenido de materia orgánica y nutrimentos principales del suelo.

Pasos a seguir en un muestreo de suelos:

- Definición de la época de muestreo
- Separación de áreas homogéneas
- Profundidad de muestreo
- Número de sub-muestras por área homogénea
- Manejo y preparación de la muestra
- Identificación de la muestra para el envío al laboratorio.

Resumen de los resultados en la sección de cursos de capacitación:

En total se impartieron 18 cursos de capacitación con una asistencia de 410 personas, en los que la audiencia incluyó a los agricultores, técnicos, funcionarios, estudiantes y público en general. Estos cursos fueron apoyados con siete ponencias de los temas: a) Importancia y el programa Sustentable de biosólidos, b) Tratamiento de aguas residuales y legislación, c) Muestreo y análisis físico química y microbiológica de agua potable y residual, d) microorganismos patógenos en agua residual y biosólidos, e) Uso de biosólidos en cultivos del Valle de Juárez Chihuahua, f) Antecedentes de la investigación en biosólidos y la Comisión de uso de Biosólidos, y g) Uso de biosólidos en otros países. Así también, los cursos fueron apoyados con 12 publicaciones tipo despleables informativas con resultados del proyecto y temas de apoyo como la formación de la Comisión de Uso de Biosólidos.

X.3. Estrategias de difusión del programa de biosolidos.

La difusión del programa de biosolidos se realizó mediante diferentes acciones y participando en foros, reuniones, entrevistas de medios de comunicación, entre otros. Así por ejemplo, los resultados incluyen la asistencia a la reunión del grupo de trabajo del agua en El Paso Texas, la cual fue organizada por la U.S. EPA Región 6. En esta reunión se tuvo la oportunidad de exponer el proyecto de biosolidos e intercambiar ideas sobre el tema de lodos residuales y las gestiones de la esparcidora de biosolidos que fue un tema permanente con las autoridades de la JMAS desde el inicio del proyecto hasta su culminación. El Ing. Manuel Herrera, director Técnico de la JMAS en ponencia del grupo de trabajo de agua Paso del Norte. El Dr Juan P Flores y el Ing. Herrera dialogaron sobre el tema de biosolidos en esta sesión. UTEP, 20 de Mayo de 2016 (imagen siguiente).



Dr. Carlos Rincon, Director de la US-EPA Región 6, en la organización del plan de trabajo.



Un resultado importante del proyecto fueron las reuniones de trabajo en los Consejos Distritales de Desarrollo Rural SAGARPA de los tres municipios (Juarez, Guadalupe y Praxedis). Los investigadores del proyecto asistieron a las reuniones. Así por ejemplo, el 15 de Junio, el MC Baltazar Corral Díaz, investigador del proyecto de biosólidos por la UACJ, informo al Consejo sobre el avance del proyecto "Programa sustentable de disposición de lodos residuales o biosólidos en suelos agrícolas" que desarrolla la UACJ financiado por la EPA en coordinación con la COCEF, se tienen consideradas varias actividades como seminarios y cursos para la comunidad del Valle de Juárez, tales como: 1) Sistemas de tratamiento de aguas residuales, características físicas, química y biológicas del agua y los biosólidos, 2) Legislación ambiental con énfasis en aguas y biosólidos, 3) Microorganismos patógenos en agua residual y biosólidos y sus efectos en la salud, 4) Cultivos con aguas residuales y biosólidos, entre otros.

Reunión del Consejo Distrital en Ciudad Juarez, Chihuahua.



Reunión del Consejo Distrital en Praxedis G. Gro., Chih.



En la reunión del 14 de julio el Dr. Juan P. Flores Margez, Director del proyecto, informo sobre el avance del Programa de Biosolidos. Menciono sobre la conferencia impartida al sector agronómico de Ciudad Juarez, EX'ESAHE, las cuales se pueden observar en internet en estas direcciones;

https://www.youtube.com/watch?v=HImuBmlwoKM&feature=em-share_video_user

https://www.youtube.com/watch?v=eBMowlVqcv8&feature=em-share_video_user

https://www.youtube.com/watch?v=JGq-rmHpuYw&feature=em-share_video_user

https://www.youtube.com/watch?v=XeaVcXj1Uvo&feature=em-share_video_user

Así como la preparación de cursos y talleres a impartir en Agosto y Septiembre. Con respecto a la Comisión de Uso de Biosolidos (CUB), también en esta sesión los asistentes mostraron mucho interés por capacitarse en este proyecto por docentes de la UACJ. Se informó sobre los experimentos de mineralización que se tiene en dos parcelas del valle, en las cuales se evalúa la descomposición de los biosolidos en dos tipos de suelo, lo cual ayudara en el cálculo de dosis de aplicación a nivel comercial. Además, se comentó la urgencia de establecer la Comisión de Vigilancia para el buen uso de los biosolidos, ya que en el ejido Jesus Carranza se han dispuesto cerca de 4,000 metros cúbicos de biosolidos en suelos agrícolas con fines de recuperación, pero los lodos no son incorporados inmediatamente lo que puede representar un riesgo, sin embargo se tiene buena comunicación con los agricultores y se les conmina a atender las recomendaciones de buen uso de estos materiales. También se informó que la JMAS y las PTAR están solicitando la esparcidora de biosólidos que se ha tenido en el rancho universitario UACJ para inventario y mantenimiento (Ing. Jose Manuel Hernandez, gerente de la empresa Degremont, tratamiento de aguas residuales).

Reunión de agricultores, técnicos y funcionarios del sector agropecuario celebrada el 21 de Julio: las preocupaciones externadas fueron: quien debe supervisar el transporte y aplicaciones de biosolidos?, ya que algunos agricultores solo los apilan pero no los incorporan mediante rastreo al suelo. Cuáles son los resultados CRETIB de los biosolidos? para comprobar que están conforme la Norma 04 y pueden ser utilizados como abonos orgánicos o mejoradores de suelos. Se planteó sobre la necesidad de solicitarlos a las Plantas de Tratamiento y a la JMAS. Como adquirir más esparcidoras y cuál es el costo de estas?, situación del combustible al darse en especie a los choferes de las PTAR cuando las distancias a los terrenos de cultivo son mayores a 40 km de las PTAR?. Existe necesidad de más parcelas demostrativas, por lo que se recomendó que se establezcan y de seguimiento a lotes demostrativos en el Valle de Juarez. Aclarar porque los lodos representan un riesgo al depositarse en el relleno sanitario y cuáles son las desventajas o ventajas?. La Dra. Xochitl Figueroa Lopez, COESPRIS, mostró su interés en participar en los cursos y talleres del programa de Biosólidos. Figuroax1@hotmail.com.

Gestiones para difundir notas periodísticas en medios de comunicación

El 7 de agosto se publicó una nota en el periódico Diario de Juárez. También por parte del canal 26 UNIVISION se entrevistó al Dr. Juan Pedro Flores Margez el 31 de Agosto en una parcela cultivada con sorgo de la localidad ‘Loma Blanca’, en el Valle de Juárez, sin embargo debido a las lluvias no fue posible visitar las parcelas con biosólidos en el ejido ‘Jesus Carranza’ y ‘San Agustín’. El reportero Sr. Luis Escalera acordó que durante septiembre y octubre otra entrevista en sitios de aplicación de biosólidos y luego transmitirse en segmentos, ya que la oficina en El Paso, Texas solo les dan poco tiempo a reportajes de Ciudad Juárez del canal 26. Otra actividad importante de difusión, aunque no local, fue en ambiente académico y científico al participar con tres ponencias sobre biosólidos y aguas residuales en el XXI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales del 15 al 17 de Junio en Oaxaca, Oax.

Nota periodística de la entrevista al Director del proyecto

The screenshot shows a web browser displaying an article from 'El Diario de Juárez'. The article title is 'Apuestan por lodos residuales en el Valle'. The author is Abraham Rubio. The article discusses the use of biosolids (lodos residuales) as a sustainable alternative for agricultural fields in the Valle de Juárez. It mentions that the use of biosolids is being promoted by the Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) and the Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS). The article also notes that the use of biosolids can reduce the cost of production by 20% and that it is necessary to capacitate farmers and authorities on the proper use of biosolids.

Artículo anterior | Artículo siguiente

Rango del artículo: 7 ago. 2016 | El Diario de Juárez | Abraham Rubio | El Diario

Apuestan por lodos residuales en el Valle

Zoom | Marcador | Compartir | Imprimir | Escuchar | Traducir

Los biosólidos o **lodos residuales** se están convirtiendo en una alternativa sustentable y económica para mantener los campos agrícolas del Valle de Juárez, sin embargo, la desinformación y el mal manejo son factores que se tienen que atender para un mejor aprovechamiento, aseguró un académico de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ).

Juan Pedro Flores Margez, docente e investigador del Departamento de Ciencias Químico-biológicas, quien trabajó con 20 agricultores de la zona, aseguró que la utilización del fertilizante puede generar un ahorro del 20 por ciento en el costo de producción.

Indicó que para ello es necesario capacitar a los campesinos y las autoridades para que no violen lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

Artículo anterior | Artículo siguiente

Agregue sus comentarios...

Por favor [Regístrate](#) para publicar su comentario.

También recomendado

- CÉSAR ROMERO
El Diario de Juárez - dom, 07 ago. 2016
- El desastre que dejó una lección... a medias
El Diario de Juárez - dom, 07 ago. 2016
- Acota plan municipal construcción de casas
El Diario de Juárez - dom, 07 ago. 2016

© NewspaperDirect Inc. - iBa PressReader

Publicaciones en congreso científico ANCA OAXACA 2016



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA



XV CONGRESO INTERNACIONAL y
XXI CONGRESO NACIONAL DE CIENCIAS AMBIENTALES
"La cultura de los pueblos, base para la conservación del ambiente"

Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca a 27 de abril del 2016.

Estimados:

Baltazar Corral Diaz, Juan Pedro Flores Margez, Pedro Osuna Avila1 y Ana Irene Flores Arras.

Por este medio nos es muy grato comunicarle que su trabajo:

MINERALIZACIÓN DE FÓSFORO EN SUELOS AGRÍCOLAS TRATADOS CON BIOSÓLIDOS

Ha sido aceptado para ser presentado en modalidad CARTEL, en el XV CONGRESO INTERNACIONAL y XXI CONGRESO NACIONAL DE CIENCIAS AMBIENTALES, que se realizará del 15 al 17 de junio del presente año, en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.

Si desea, puede enviar su escrito en extenso utilizando la clave de registro del trabajo CA-222 Corral como nombre del archivo. Las especificaciones para los escritos en extenso corresponden a las normas de la Revista Mexicana de Agroecosistemas, las cuales se encuentran disponibles en el segundo comunicado del congreso. Cabe aclarar que todos los trabajos en extenso serán sometidos al proceso de arbitraje de la revista mencionada.

Por otra parte le comunicamos que, debido a que el trabajo fue recibido fuera de la fecha límite para el envío de resúmenes, es indispensable que el autor principal realice el pago de su inscripción a la brevedad para tener derecho a que su trabajo aparezca en la memoria del evento, ya que la edición de la misma se cerrará en los próximos días.

Sin más por el momento, le felicitamos por ser parte de este congreso y le esperamos para disfrutar con la hospitalidad de la tierra Oaxaqueña.

ATTE.
DRA. GISELA VIRGINIA CAMPOS ANCELLOS
PRESIDENTE DEL COMITÉ CIENTÍFICO
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA
CALLE PUEBLO NUEVO, NAZARENO XOXOCOTLÁN, OAXACA

C.p. archivo



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA



XV CONGRESO INTERNACIONAL y
XXI CONGRESO NACIONAL DE CIENCIAS AMBIENTALES
"La cultura de los pueblos, base para la conservación del ambiente"

Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca a 05 de abril de 2016.

Estimados:

Juan Pedro Flores Margez1, Baltazar Corral Diaz1, Pedro Osuna Avila1, Luz del Carmen Agüero Reyes1, Ana Irene Flores Arras

Por este medio nos es muy grato comunicarle que su trabajo:

RECICLAJE DE BIOSÓLIDOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL VALLE DE JUÁREZ, CHIHUAHUANICO

Con clave de registro: RN-002 Flores1]

Ha sido aceptado para ser presentado en modalidad ORAL, en el XV CONGRESO INTERNACIONAL y XXI CONGRESO NACIONAL DE CIENCIAS AMBIENTALES, que se realizará del 15 al 17 de junio del presente año, en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.

Si desea, puede enviar su escrito en extenso utilizando la clave de registro del trabajo como nombre del archivo. Las especificaciones para los escritos en extenso corresponden a las normas de la Revista Mexicana de Agroecosistemas, las cuales se encuentran disponibles en el segundo comunicado del congreso. Cabe aclarar que todos los trabajos en extenso serán sometidos al proceso de arbitraje de la revista mencionada.

Por otra parte le comunicamos que para tener derecho a que su escrito aparezca en la memoria deberá realizar el pago correspondiente antes del 8 de abril del presente.

Sin más por el momento, le felicitamos por ser parte de este congreso y le esperamos para disfrutar con la hospitalidad de la tierra Oaxaqueña.

ATTE.
DRA. GISELA VIRGINIA CAMPOS ANCELLOS
PRESIDENTE DEL COMITÉ CIENTÍFICO
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA
CALLE PUEBLO NUEVO, NAZARENO XOXOCOTLÁN, OAXACA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA



XV CONGRESO INTERNACIONAL y
XXI CONGRESO NACIONAL DE CIENCIAS AMBIENTALES
"La cultura de los pueblos, base para la conservación del ambiente"

Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca a 14 de abril de 2016.

Estimados

Evangelina Olivas Enriquez, Juan Pedro Flores Margez, Luz del Carmen Agüero Reyes y Gilberto M. Lizárraga Bustamante:

Por este medio nos es muy grato comunicarle que su trabajo:

RIESGOS MICROBIOLÓGICOS Y QUÍMICOS EN AGUA POTABLE QUE IMPACTAN LA SALUD AMBIENTAL Y HUMANA

Ha sido aceptado para ser presentado en modalidad CARTEL, en el XV CONGRESO INTERNACIONAL y XXI CONGRESO NACIONAL DE CIENCIAS AMBIENTALES, que se realizará del 15 al 17 de junio del presente año, en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.

Si desea, puede enviar su escrito en extenso utilizando la clave de registro del trabajo como nombre del archivo. Las especificaciones para los escritos en extenso corresponden a las normas de la Revista Mexicana de Agroecosistemas, las cuales se encuentran disponibles en el segundo comunicado del congreso. Cabe aclarar que todos los trabajos en extenso serán sometidos al proceso de arbitraje de la revista mencionada.

Por otra parte le comunicamos que para tener derecho a que su escrito aparezca en la memoria deberá realizar el pago correspondiente a más tardar el 15 de abril.

Sin más por el momento, le felicitamos por ser parte de este congreso y le esperamos para recibirle con la hospitalidad de la tierra Oaxaqueña.

ATTE.
DRA. GISELA VIRGINIA CAMPOS ANCELLOS
PRESIDENTE DEL COMITÉ CIENTÍFICO
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA
CALLE PUEBLO NUEVO, NAZARENO XOXOCOTLÁN, OAXACA

C.p. archivo

La difusión del Programa de Biosólidos también fue apoyada con el fomento y vigilancia de aplicaciones en campo. Para ello se realizaron recorridos para supervisar agricultores y parcelas donde se habían aplicado biosólidos. De momento, se redujeron las aplicaciones de biosólidos en campo debido a que la JMAS retiró la esparcidora por motivos de inventario por el cambio de autoridades del Gobierno Estatal en Chihuahua. Un agricultor del ejido Villa Luz en Samalayuca solicitó biosólidos para 4 hectáreas y se colectaron muestras de suelo, además se trabajó en la gestión por la limitante de permisos de transporte en carretera federal. Las descargas en el ejido “Jesus Carranza” del valle de Juárez todavía no se incorporan al suelo, lo cual es un problema que debe solucionarse al activarse la Comisión de Uso de Biosólidos, así que en esta parte del proyecto por parte de la PTAR se continúa el envío de biosólidos al relleno sanitario municipal, tal como se puede apreciar en la imagen siguiente.

Biosólidos en el relleno sanitario municipal de Ciudad Juárez, Chihuahua.

La difusión del programa estuvo apoyada por transmisiones en televisión por la UACJ en el canal 44.3 que tiene la institución de manera permanente y tiene un alcance importante en la comunidad fronteriza. Además, el canal 26 de UNIVISION difundió notas importantes de campo sobre el tema de biosólidos en el Valle de Juárez, Chihuahua (Cuadro 69).

Cuadro 70. Actividades de difusión del Programa de Biosólidos en Televisión y revistas técnicas.

4 octubre 2016	Transmisión en televisión UACJ Canal 44.3 de la Entrevista al Dr Juan P. Flores Margez, director del proyecto de Biosólidos.	a) La entrevista fue realizada por el Mtro. Abraham Flores en las instalaciones de la antigua rectoría de La UACJ. Se dividió en cuatro secciones.
Noviembre de 2016	Transmisión en televisión Canal 26 UNIVISION la entrevista en campo realizada al Dr Juan P. Flores Margez y MC Baltazar Corral Diaz, investigadores del proyecto de Biosólidos.	a) La entrevista fue realizada por el Sr. Luis Escalera de Canal 26 en una Parcela agrícola de Loma Blanca y en el ejido San isidro.
Noviembre de 2016	Artículo publicado en revista: Tecnología Agropecuaria De la Escuela Superior de Agricultura Hermanos Escobar	a) Se publicó la información de la desplegable informativa No. 4: estrategia para activar la comisión de vigilancia para uso de biosólidos en Ciudad Juárez, Chihuahua.

Difusión del Programa de Biosólidos en reunión del Consejo De Desarrollo Rural, municipio de Juarez.

Con respecto a continuar los recorridos para supervisar agricultores y parcelas, se realizó una aplicación de biosólidos en dos hectáreas de un rancho cercano a Samalayuca del Sr. Enrique Fernandez, a quien lo apoyamos en muestreo de suelos y en la gestión ante las plantas de tratamiento de agua para el transporte de biosólidos, sin embargo no se pudo facilitar la esparcidora por estar en inventario por la JMAS. De hecho esta ha sido la limitante para que prosperen las aplicaciones de biosólidos. La actividad referente a promover la aplicación de biosólidos, a petición del agricultor Sr. Apolonio Avila del municipio de Praxedis, a fines del mes de Enero se aplicaron 12 toneladas de biosólidos, de las cuales se estableció un lote experimental con trigo para comparar con fertilizante químico, te de lombricomposta y estiércol de borrego. Este lote de una hectárea se considera importante porque también es una tesis de licenciatura en química UACJ de la hija del agricultor, a quien se le ha apoyado en muestreo y análisis de suelos, así como la gestión ante las plantas de tratamiento de agua para el transporte de biosólidos, sin embargo no se pudo facilitar la esparcidora por estar en inventario por la JMAS. De hecho esta ha sido la limitante para que prosperen las aplicaciones de biosólidos.

27 Febrero de 2017	Entrevista y publicación periódico NORTE de Ciudad Juarez al Dr Juan P. Flores Margez, director del proyecto De Biosólidos.	a) Aunque la entrevista inicio con la trayectoria del Dr Flores Margez, en esta ocasión se abordó el tema de los biosólidos y la información de proyecto para su difusión masiva.
--------------------	---	---

Entrevista periódico NORTE de Ciudad Juarez al Dr Juan P. Flores M, director del Proyecto. 27 Feb.

Publicaciones del proyecto en revistas científicas arbitradas: se publicó el artículo “Respuesta agronómica y edáfica a la aplicación de biosólidos en el cultivo de algodón en el Valle de Juarez, Chihuahua”, páginas 75 a 88, en Ciencia en la Frontera, revista de ciencia y tecnología de la UACJ,

volumen especial, 2016, ISSN: 2007-042x. En la página 87 se indica un **reconocimiento a la COCEF y US-EPA, Programa Frontera 2020** por los apoyos recibidos en este proyecto.
<http://www.uacj.mx/DGDCDC/SP/Documents/Documents/ciencias%20de%20la%20frontera/Ciencia%20Especial.pdf>

Artículo científico publicado: biosolidos 2016.

<http://www.uacj.mx/DGDCDC/SP/Documents/Documents/ciencias%20de%20la%20frontera/Ciencia%20Especial.pdf>

10 Mayo 2017	Publicación en el Diario de Juarez: <i>Promueven uso de Lodos residuales como abono.</i>	Publicación siguiente
--------------	--	-----------------------

Publicación en el Diario de Juarez: *Promueven uso de Lodos residuales como abono.*

Tesis de maestría y licenciatura generadas con los estudios de mineralización nitrógeno de biosolidos y metales pesados en suelos agrícolas del Valle de Juarez.

Difusión del Programa de Biosólidos en eventos científicos locales y nacionales:

El 26 de Septiembre participamos en la Reunión del Consejo Ciudadano de Cultura del Agua en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Chihuahua. En este evento se distribuyeron las publicaciones No. 3 y 12 sobre la Comisión de biosolidos.

- a) Evento: XXII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, 7 al 9 de Junio 2017. Chetumal Q. Roo. Ponencia 1: Efecto de biosolidos (lodos residuales) en el contenido de materia orgánica y nitrógeno total de suelos agrícolas. Ponencia 2: Metales pesados en suelos agrícolas tratados con biosolidos (lodos residuales) en dosis agronómicas.
- b) Evento: 5to. Encuentro de jóvenes investigadores del 6 al 8 de septiembre en ICB, UACJ Presentaciones de los resultados del proyecto, dos ponencias fueron presentadas por alumnas tesistas de licenciatura. Ponencia 1: Efecto de fertilizantes orgánicos en las propiedades químicas del suelo y la respuesta agronómica del trigo. Ponencia 2: Determinación de materia orgánica y nitrógeno total en suelos tratados con biosolidos en el Valle de Juarez.
- c) Evento: Jornadas de Investigación de la UACJ, el 17 de Octubre en el evento se presentaron los avances del proyecto de biosólidos. Ponencia: Proyectos sobre suelos y lodos residuales.
- d) Evento: Resultados de Cuerpos Académicos en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, el 13 de Septiembre se presentó la conferencia magistral: Mineralización de abonos orgánicos en suelos agrícolas.
- e) Evento: XLII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo: a celebrarse del 6 al 9 de Noviembre en Texcoco, Estado de México. Se suspendió el evento por los sismos del 19 de Septiembre de

2017 y se realizara este Congreso Científico del 5 al 9 de Marzo de 2018. A partir de los resultados y avances del proyecto se logró enviar cuatro escritos que fueron aceptados para participación en ponencias. Ponencia 1: Dos décadas de investigación en biosolidos y su uso en suelos agrícolas del Norte de México. Ponencia 2: Metales pesados en grano de trigo cultivado en suelos con biosolidos y aguas residuales. Ponencia 3: Textura de suelo y dosis de biosólido como factores decisivos en la mineralización de nitrógeno. Ponencia 4: Fertilizantes orgánicos en las propiedades químicas del suelo y agronómicas del trigo.

- f) Evento: XXIII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, 12 al 15 de Junio 2018. Zacatecas, Zac. Ponencia 1: Mineralización de nitrógeno orgánico de lodos residuales en campo e invernadero. Ponencia 2: Calidad del agua potable en el Valle de Juarez, Chihuahua.

Se agradece en estas tesis el apoyo del Programa Frontera 2020, U.S.EPA y COCEF.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada que hizo posible la realización de la Maestría en Ciencias Químico Biológicas. **A la COCEF y US-EPA Programa Frontera 2020 por el apoyo el proyecto Programa Sustentable de Disposición de Lodos Residuales o Biosólidos en suelos Agrícolas.**

Publicaciones entregadas a SAGARPA para los Consejos de Desarrollo Rural

Evidencias de gestión para los recorridos en Planta de tratamiento de agua residual, uso de la esparcidora para aplicación de biosolidos, impulso de la Comisión de uso de biosolidos a través de Desarrollo Rural municipal.

Resumen de los resultados en la sección de Difusión del Programa de Biosólidos:

En total el grupo de trabajo del proyecto participo en 28 sesiones de eventos de difusión entre los que fueron: a) 9 asistencias con 14 presentaciones en eventos académicos y congresos científicos nacionales, b) 7 reuniones de grupos institucionales y promoción para formar la Comisión de Uso de Biosolidos en Ciudad Juarez, Chihuahua, c) 3 notas en los principales periódicos locales, d) 2 entrevistas de televisión, e) 2 publicaciones en revistas técnicas, f) 7 tesis generadas en el proyecto, de las cuales 4 fueron de maestría en ciencias y 3 de licenciatura en química, y g) 4 agricultores participantes en aplicaciones de biosolidos y apoyo en la promoción del programa en los tres municipios del Valle de Juarez. También en estas acciones de difusión se distribuyeron las 12 publicaciones tipo despletables informativas que fueron generadas a lo largo del proyecto y las cuales fueron una excelente estrategia de divulgación para concientizar a la población de la importancia de un programa sustentable de biosolidos.

X.4. Comisión de Utilización de Biosólidos (CUB).

Desde el inicio del proyecto se realizaron actividades de promoción para la formación del CUB. Por ejemplo, durante los cursos de biosólidos en las etapas de difusión y capacitación. Las recomendaciones para utilizar biosólidos en la producción agropecuaria fueron ampliamente explicadas en cada sesión, además se entregó una propuesta de acta constitutiva a cada Director de Desarrollo Rural Municipal. Por ejemplo, enseguida se muestra la evidencia para el Municipio de Juárez.

Representantes del CUB: (Izq. a der.): Representante del Gobierno Estado Chihuahua, Jefe sanidad Vegetal, Jefe Distrito SAGARPA, Director Desarrollo rural municipio Juárez y encargado de CADER Juárez.

Propuesta de acta constitutiva entregada al Presidente Municipal y al Director de Desarrollo Rural del Municipio de Guadalupe D.B. 29 Marzo 2017.

Recorrido del CUB a las plantas de tratamiento de agua residual sur en Ciudad Juárez, Chih. (6 Dic. 2016).

Reporte de la Visita a la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) sur de Ciudad Juárez y activación del CUB. (6-dic-2017)

El recorrido a la planta de tratamiento de aguas residuales sur inicio a las 10 am. El personal de la PTAR nos recibió a un grupo de 12 asistentes (lista y fotos anexas). El recorrido inicio en una sala audiovisual de la PTAR. El Dr. Juan Pedro Flores Margez director del proyecto de biosólidos por parte de la UACJ, dio la bienvenida y explico sobre el proyecto de lodos residuales, destaco la importancia de seguir monitoreando el agua residual tratada y la necesidad de formalizar la comisión de uso de biosólidos (CUB). El Dr. Flores Margez entrego el acta constitutiva para formar la Comisión de uso de biosólidos al Director de Desarrollo Rural del Municipio de Juárez y al Jefe de la SAGARPA. El personal de la PTAR empezó con una plática de requisitos y reglas de seguridad para entrar a la planta y hacer el recorrido. Menciono que la planta fue ampliada y remodelada en 2010, pero continúa el proceso.

El recorrido inicio al proporcionar cascos de seguridad a todos los visitantes. Luego se condujo al personal al área donde se recibe el agua negra de la Ciudad. El primer paso del tratamiento o Etapa 1, es un desbaste grueso de material, separación de grasa, desarenadores, tornillos de Arquímedes que sube el agua y luego por gravedad es el resto del proceso de quitar la arena y grasa por medio de rastras. Estos deshechos se alojan en contenedores y luego otras empresas se encargan del manejo y disposición de arena y grasas removidas del agua. El sistema de tratamiento del agua residual es nivel secundario en la planta sur y el agua se envía al riego agrícola del Valle de Juárez, mientras que en la planta Norte el tratamiento es nivel terciario, donde el agua tratada después de la cloración del agua, lleva otra filtración y se envía por línea

morada para riego de parques y jardines, así como para construcción y a los lavaderos de autos de la Ciudad. Para el uso de esta agua se deben cumplir las normas. En la etapa 2, se tienen sopladores y centrifugas para lodos, un reactor biológico basado en microorganismos-bacterias donde se inyecta aire y por gravedad al subterráneo mediante tubos se envía los lodos a un sistema motriz o puente y se transportan los lodos a un reactor biológico o llamados lodos biológicos donde se resume su volumen.

Los asistentes preguntaron sobre el problema que se tuvo en la planta norte que fue de olores con la gente del lado americano (El paso TX). El problema lo solucionaron al recubrir el sistema de despedimiento, ya que antes dejaban los lodos en un área de secado tipo tratamiento secundario. Con relación a la producción de lodos o biosólidos se comentó que se tienen 30 a 55 toneladas por día con 22 a 24% de sequedad, es decir aprox. 20,075 toneladas anuales, y tienen dos centrifugas de secadores, y se envían para su disposición al relleno sanitario. Además, tienen digestores anaerobios para la producción de gas o biogás el cual se usa en la misma planta como fuente de energía y dos motogeneradores para producir electricidad, y una antorcha donde se quema el excedente de gas. Se tiene una torre biológica para biogás y un sistema de refrigeración. Al final el lodo producido es analizado en laboratorio externo con resultados para apoyar su disposición y uso. Al finalizar el recorrido, el Dr Juan Pedro Flores Margez agradeció al encargado del recorrido por la PTAR y a los asistentes por su presencia y apoyo al proyecto de biosólidos.

Elaboro: Lic. Ana Irene Flores Arras (SAPN).

Resumen de los resultados en la sección de la Comisión de Uso de Biosólidos (CUB):

Los resultados de esta sección se pueden resumir en cuatro acciones principales: a) Elaboración de un acta constitutiva para la Comisión de Uso de Biosólidos, b) Reuniones de trabajo y entrega del acta a cada uno de los tres Directores de Desarrollo Rural Municipal, c) Recorridos por las plantas de tratamiento de agua residual de Ciudad Juárez, en las que integrantes del CUB fueron informados del proceso de digestión de lodos activados, transporte y almacenamiento, y d) Elaboración de un contrato-comodato entre la UACJ y la JMAS para el préstamo de la máquina esparcidora de la JMAS, lo cual permite fomentar la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas. En apoyo a la formación del CUB se entregó el material de capacitación y difusión (presentaciones y publicaciones) a las autoridades de la JMAS y demás representantes de gobiernos e instituciones involucradas en el tema de lodos residuales o biosólidos.

XI. Discusión:

Conforme a los cuatro objetivos del proyecto, de manera global se puede confirmar que se cumplieron los objetivos de manera satisfactoria tal como se explican enseguida.

Objetivo 1: Determinar la tasa de mineralización o descomposición de biosólidos en diferentes tipos de suelo, se puede mencionar que la información generada es muy valiosa porque es la base para mejorar los cálculos de dosis de aplicación de biosólidos en campo y conocer los efectos residuales de incorporación de materia orgánica, nutrientes y metales, entre otros factores. Se realizaron dos experimentos de campo, dos de invernadero y un muestreo de parcelas agrícolas donde se habían aplicado biosólidos para evaluar el efecto de metales en suelo y en grano de trigo. Los experimentos de mineralización permitieron la obtención de datos para estimar el porcentaje de descomposición del biosólido en el suelo. Además, en formación de recursos humanos, con estudios se formaron cuatro alumnas a nivel de maestría ciencias y tres alumnos de licenciatura en química. Los resultados fueron publicados en congresos científicos nacionales, pero también serán publicados en revistas científicas indexadas.

Objetivo 2: Dar capacitación a los agricultores y técnicos sobre la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas. Este objetivo fue logrado de manera satisfactoria al impartirse 18 cursos de capacitación con una asistencia de 410 personas, en los que la audiencia incluyó a los agricultores, técnicos, funcionarios, estudiantes y público en general. Estos cursos fueron apoyados con siete ponencias de los temas: Importancia y el programa Sustentable de biosólidos, Tratamiento de aguas residuales y legislación, Muestreo y análisis físico química y microbiológica de agua potable y residual, microorganismos patógenos en agua residual y biosólidos, Uso de biosólidos en cultivos del Valle de Juárez Chihuahua, Antecedentes de la investigación en biosólidos y la Comisión de uso de Biosólidos, Uso de biosólidos en otros países. Así también, los cursos fueron apoyados con 12 publicaciones tipo desplegadas informativas con resultados del proyecto y temas de apoyo como la formación de la Comisión de Uso de Biosólidos.

Objetivo 3: Utilizar estrategias de difusión del programa como notas periodísticas, televisión, documentales, trípticos, publicaciones técnicas y para el público en general, lo cual apoyara la educación a diferentes sectores de la sociedad, gobiernos y empresas en los cuidados y uso apropiado de biosólidos en los sistemas de producción agrícola regional. Este objetivo fue logrado al tener resultados de 28 sesiones en eventos de difusión entre los que fueron asistencias y presentaciones en eventos académicos y congresos científicos nacionales, reuniones de grupos institucionales y promoción para formar la Comisión de Uso de Biosólidos en Ciudad Juárez, Chihuahua, notas en los principales periódicos locales, entrevistas de televisión, publicaciones en revistas técnicas, tesis generadas en el proyecto, de las cuales 4 fueron de maestría en ciencias y 3 de licenciatura en química, y agricultores participantes en aplicaciones de biosólidos y apoyo en la promoción del programa en los tres municipios del Valle de Juárez. Estas acciones de difusión se apoyaron con la distribución de las 12 publicaciones tipo desplegadas informativas

que fueron generadas en el proyecto, las cuales fueron una apropiada estrategia de divulgación para concientizar a la población de la importancia de un programa sustentable de biosólidos.

Objetivo 4: Estructurar y activar las funciones de los integrantes del Comité de Utilización de Biosólidos para esta región, lo cual apoya la vigilancia del uso apropiado de estos materiales, permite gestionar la adquisición de máquinas esparcidoras de biosólidos, entre otros apoyos para fomentar un programa eficiente y sustentable. De acuerdo a los resultados de se cumplió satisfactoriamente con la elaboración de un acta constitutiva para la Comisión de Uso de Biosólidos. Además se realizaron varias reuniones donde se explicó a las autoridades y se entregó un acta a cada Director de Desarrollo Rural Municipal. Este objetivo fue apoyado por los recorridos por las plantas de tratamiento de agua residual de Ciudad Juárez, en las que integrantes del CUB participaron mediante análisis y discusiones del proceso de generación de lodos activados, transporte, almacenamiento en el relleno sanitario municipal y las sugerencias para las aplicaciones en campos agrícolas. Después de varias reuniones y gestión por el director del proyecto, con autoridades de la JMAS fue posible la elaboración de un contrato-comodato entre la UACJ y la JMAS para el préstamo de la maquina esparcidora de la JMAS, lo cual permite fomentar la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas.

XII. Recomendaciones

- a) Continuar las gestiones ante las autoridades gubernamentales y representantes de productores agropecuarios para contar con una permanente Comisión de Uso de Biosólidos en esta región.
- b) Promover la adquisición de máquinas esparcidoras de biosólidos, esto mediante gestión a través del gobierno del estado de Chihuahua.
- c) Continuar la investigación sobre el efecto residual de los biosólidos en diferentes tipos de suelo, esto para dar más confianza y facilitar la adopción por los agricultores.
- d) Fortalecer las acciones de difusión del programa a través de redes sociales, notas periodísticas, trípticos, publicaciones técnicas, entre otros.
- e) Mantener un programa permanente de capacitación a los agricultores y técnicos sobre la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas, que incluya aspectos sobre legislación en materia de lodos residuales o biosólidos, entre otros.

Conclusiones

Determinación de la tasa de mineralización o descomposición de biosólidos.

La conclusión de esta parte del proyecto es más amplia por las investigaciones en campo e invernadero realizadas para lograr el objetivo. Se concluye que el nitrógeno (N) captado por las resinas aumentó conforme la dosis de biosólido aplicado en ambos sitios, lo que confirma la hipótesis de este estudio, en que el N acumulado después de 148 días es proporcional al aumento de la dosis de biosólido. Por ejemplo, en el sitio de San Agustín aumentó de 8.3 mg/L a 11.2 mg/L entre el control y la dosis de 60 t/ha, mientras que para el sitio Praxedis este aumento fue de 4.9 mg/L a 7.03 mg/L entre el control y la dosis de 60 t/ha. De forma que similar el N inorgánico que quedó en el suelo al final del experimento fue proporcional al incremento de las dosis de biosólido. El N potencialmente mineralizable (N_0) fue ajustado por el modelo exponencial con coeficientes de correlación entre 0.76 y 0.99. También el N_0 aumentó de manera proporcional a la dosis de biosólido, mientras que la tasa constante de mineralización (k) fue de 0.016 hasta 0.00017 mg/kg por día. Estos valores pueden utilizarse para futuras predicciones del N mineralizado en diferentes condiciones y mejorar el cálculo de las dosis de biosólidos que aplican los agricultores en el Valle de Juárez. El NTK del suelo determinado al final del experimento fue proporcional al aumento de la dosis de biosólido en ambos sitios, sin embargo en el suelo de San Agustín (Franco arenoso) con mayor contenido de arena (58%) fue menor que en el sitio Praxedis (Franco limosa) que tuvo menor contenido de arena (26%), pero los aumentos entre dosis fueron similares entre ambos sitios. Para el sitio San Agustín la diferencia entre el control y los tratamientos de 20, 40 y 60 t/ha fue de 101.454 mg/kg, 192.444 mg/kg y 300.354 mg/kg respectivamente. Para el sitio de Praxedis la diferencia entre el control y los tratamientos de 20, 40 y 60 t/ha fue de 161.05 mg/kg, 113.834 mg/kg y 261.064 mg/kg respectivamente. La proteína en el grano de trigo fue igual estadísticamente para las parcelas con y sin tratamiento de biosólidos, sin embargo se observó un aumento de 1.6% en la proteína en el grano de las parcelas con tratamiento de biosólido.

El pasto Bermudo (*C. dactylon*) respondió favorablemente a las dosis de biosólido obteniendo que los tratamientos de 40 y 60 t/ha obtuvieron los resultados significativamente mayores para los parámetros de peso fresco y peso seco de cosecha, porcentaje de proteína cruda (aumento 5% entre el control y la dosis de 60 t/ha) e índice de clorofila, lo cual indica que las plantas de estos tratamientos fueron las más saludables y obtuvieron la mayor producción. También se observó que en estos dos tratamientos el porcentaje de N mineralizado fue de entre 47 y 50 %. La técnica propuesta de embudo (15 x 15 cm) no funcionó para este experimento, ya que en esta se obtuvieron las cantidades de N inorgánico más bajas a comparación de los cilindros, esto pudo deberse al microambiente generado en el embudo que pudo provocar que la capacidad de adsorción de las resinas disminuyera. Se recomienda realizar este estudio en campo para disminuir el sesgo de microambiente. En el caso de los cilindros, los promedios de mineralización acumulada al final del estudio fueron 136 y 256 mg/kg con porcentajes de N

mineralizado de 15.5 y 21% para el control y la dosis evaluada de 40 t/ha, mientras que en los embudos fueron 36 y 76 mg/kg y porcentajes de N mineralizado de 4 y 6%. El periodo más corto de incubación (13 días) fue el que mayor captación de N inorgánico tuvo mientras que el periodo más largo (36 días) fue el de menor captación, se recomienda utilizar periodos de incubación de 15 a 20 días para obtener datos más precisos para describir el proceso de mineralización en el suelo y calcular dosis de aplicación de biosólidos eficientes. El método de la diferencia de NTK del suelo permitió estimar los mejores porcentajes de mineralización: 7, 36, 50 y 48% (dosis: 0, 20, 40 y 60 t/ha) en el experimento de dosis con *C. dactylon*, mientras que fueron 12, 26, 8.5 y 21% en las técnicas con cilindros y embudos. Características físico-químicas del suelo. Se observó que las características físico-químicas del suelo fueron afectadas por la aplicación de biosólidos para los parámetros de C.E y porcentaje de humedad. La C.E aumento conforme a la dosis de biosólidos con valores de 5.85 dS/m lo cual clasifica este suelo como salino pero al observar los parámetros fenológicos se infiere que la salinidad no afecto el desarrollo de cultivo. En promedio la C.E. aumento 0.04 dS/m por tonelada aplicada de biosólidos. En cuanto al porcentaje de humedad, el biosólido confiere al suelo la capacidad de retener mayor cantidad de agua presentándose el mayor porcentaje en el tratamiento de 40 t/ha con 41% de humedad para las macetas y 31% para los embudos y 20% para los cilindros, los aumentos en promedio fueron 4% más humedad al agregar biosólidos.El que el mayor porcentaje de humedad para la misma dosis de aplicación de biosólidos se halla presentado en las macetas, puede deberse a la presencia de las raíces del pasto bermuda y el porcentaje más bajo en los cilindros puede deberse a la cantidad de suelo contenida en el cilindro.

El estudio realizado en el grano de trigo cultivado en el Valle de Juárez utilizando biosólidos y agua residual, demostró que la utilización de estos genero beneficios en diversos aspectos morfológicos de interés de la planta, ya que resultan ser una buena fuente de nutrientes. En cuanto a los metales la investigación mostro que la concentración de metales pesados en el grano de trigo estuvo en el siguiente orden: Zn>Cu>Pb>Ni>Cr>Cd, aunque la mayoría de las concentraciones encontradas en el grano muestreado estuvieron por debajo del límite máximo permitido en alimentos, algunas muestras presentaron altas concentraciones de Pb bajo ambos tratamientos con biosólidos y agua residual, al igual que con agua residual y sin biosólidos. La tendencia de aumento de metales como Cr, Ni, Pb y Zn fue en las parcelas 2 y 4 (Prieto pacas y canal) debido a mayor dosis de biosólido aplicado, ya que supero la tasa agronómica recomendada. Debido a esto se sugiere realizar más estudios relacionados con metales pesados, dándole prioridad al Pb, ya que es un metal que puede llegar a producir efectos nocivos para la salud de entrar a la cadena alimenticia.

Capacitación sobre aplicación de biosolidos en suelos agrícolas.

La conclusión de esta parte del proyecto es que se lograron realizar 18 cursos-talleres de capacitación con una asistencia total de 410 personas, lo cual incluyó agricultores, técnicos, funcionarios, estudiantes y público en general. Estos cursos fueron realizados con 12 publicaciones tipo desplegables informativas y siete ponencias de los temas: a) Importancia y el programa Sustentable de biosolidos, b) Tratamiento de aguas residuales y legislación, c) Muestreo y análisis físico química y microbiológica de agua potable y residual, d) microorganismos patógenos en agua residual y

biosólidos, e) Uso de biosólidos en cultivos del Valle de Juárez Chihuahua, f) Antecedentes de la investigación en biosólidos y la Comisión de uso de Biosólidos, y g) Uso de biosólidos en otros países.

Estrategias de difusión del programa de biosólidos.

En conclusión, las actividades de difusión se resumen en 28 sesiones de eventos donde participaron los investigadores del proyecto y los estudiantes que realizaron tesis. Las sesiones se clasificaron en asistencias con 14 presentaciones en eventos académicos y congresos científicos nacionales, siete reuniones de grupos institucionales y promoción para formar la Comisión de Uso de Biosólidos en Ciudad Juárez, Chihuahua, tres notas en los principales periódicos locales, dos entrevistas de televisión, dos publicaciones en revistas técnicas, siete tesis generadas en el proyecto, de las cuales cuatro fueron de maestría en ciencias y tres de licenciatura en química, y cuatro agricultores participantes directamente en aplicaciones de biosólidos y apoyo en la promoción del programa en los tres municipios del Valle de Juárez.

Comisión de Utilización de Biosólidos.

Se concluye que la activación de la Comisión de Uso de Biosólidos en cada municipio fue satisfactoria al darse el acta constitutiva y haber tenido reuniones de análisis para su puesta en marcha y permanencia. Aunque los integrantes del CUB cuentan con la información necesaria sobre legislación de biosólidos en México y aspectos técnicos de su transporte y aplicación en suelos agrícolas, se requieren más esfuerzos de gestión ante los integrantes de la Comisión para que puedan adquirir un ritmo de trabajo dentro de los Consejos de Desarrollo Rural Sustentable por municipio. Continuar aclarando las funciones específicas de cada integrante del CUB será una tarea a realizar para garantizar sus funciones. Una limitante adicional fue que los agricultores no disponen de suficientes esparcadoras de biosólidos, ya que solo se cuenta con una en la región y esta es propiedad de la JMAS, pero gracias al contrato-comodato que firmaron la UACJ y la JMAS para el préstamo de la máquina esparcadora permitirá seguir dando impulso al Programa de Biosólidos.

Referencias

- Abril, A., Caucas, V., Bucher, E. H. 2001. Reliability of in situ incubation methods used to assess nitrogen mineralization: a microbiological perspective. *Applied Soil Ecology*. 125-130.
- Aguilar, A., Etchevers, J.D., y Castellanos, J.Z. (1987). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. 1 era edición. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo. México, D.F. 215 p.
- Akpoborie, I., Uriri, I. y Efobo, O. 2014. Ground water conditions and spatial distribution of lead and cadmium in the shallow aquifer at Effurun- Warri metropolis, Nigeria. *Environment and Pollution*; Vol. 3, No. 3.
- Atafa, Z., Mesdaghinia, A., Nouri, J., Homae, M., Yunesian, M., Ahmadimoghaddam, M. y Hossein, A. 2010. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environ Monit Assess* 160: 83-89.
- Balkhair, K., Ismail, S., El-Nakhlawi, F. y Al-Solimani, S. 2014. Impact of wastewater irrigation on the yield and quality of White radish under arid environment. *American European Journal of Agricultural Sciences, Plant and Environmental*. 1 (1): 10-18.
- Baloch, U. K. 1999. WHEAT: Post-harvest Operations. Pakistan Agricultural Research Council (PARC). <http://www.fao.org/3/a-ax448e.pdf>
- Baize, D., L. Bellanger, and R. Tomassone. 2009. Relationships between concentrations of trace metals in wheat grains and soil. *Agron. Sustain. Dev.* 29 (2009) 297–312.
- Bigdeli, M., y Seilsepour, M. 2008. Investigation of metals accumulation in some vegetables irrigated with waste water in Shahre Rey-Iran and toxicological Implications. *American Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 4 (1): 86-92.
- Bose S. y Bhattacharyya, A. 2008. Heavy metal accumulation in wheat plant grown in soil amended with industrial sludge. *Chemosphere* 70: 1264-1272.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle y A. Aguilar S. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Instituto de capacitación para la productividad agrícola. México, D. F.
- Celaya-Michel, H., Castellano-Villegas, E. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *TERRA Latinoamericana*. 343-356.
- Cerrato, R. F., & Alarcón, A. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *CIENCIA ergo-sum*, 8(2), 175-183.
- Cogger, C., G. A.I. Baray, S.C. Fransen, and D.M. Sullivan. 2001. Seven years of biosolids versus inorganic nitrogen applications to tall fescue. *J. Environ. Qual.* 30:2188-2194.

- Cortijo Herrera, D. 2013. Desalcalinización del agua mediante intercambio iónico. *Ingeniería Industrial*, (31).
- Chaudri, A., Allain, C., Badawy, A., Adams, M., McGrath, S. y Chambers, B. 2001. Cadmium content of wheat grain from a long-term field experiment with sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 30: 1575-1580
- Chen, G., Zhu, H., Zhang, Y. 2003. Soil microbial activities and carbón and nitrogen fixation. *Reserch in Microbiology.* 154. 393-398.
- De Imperial, R. M., Beltrán, E. M., Porcel, M. A., Beringola, M. L., Martín, J. V., Calvo, R., & Del Mar Delgado, M. 2003. Disponibilidad de nutrientes por el aporte de tres tipos de lodo de estaciones depuradoras. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 19(3), 127-136.
- Del Pino, A., Casanova, O., Barbazán, M., Mancassola, V., Rodríguez, J., Arló, L., Borzacconi, L., Passeggi, M. 2012. Caracterización y evaluación de biosólidos producidos por digestión anaerobia de residuos agroindustriales. *Ci. Suelo.* 30 (2). 129-136.
- Del Pozo, P. P., Herrera, R. S., & García, M. 2002. Dinámica de los contenidos de carbohidratos y proteína bruta en el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) con aplicación de nitrógeno y sin ella. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 36(3).
- Echeverría, H. E., San Martin, N., Bergonzi, R. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Ciencia del Suelo*, 18(1), 9-16.
- FAO. 1985. Water quality for agriculture. <http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E01.htm#ch1.2.1>
- Figueroa, V.U., M.A. Flores O., M. Palomo R., B. Corral D. y J.P. Flores M. 2008. Uso de biosólidos estabilizados con cal como fertilizante orgánico en algodónero para el Valle de Juárez, Chihuahua. *Ciencia en la Frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ.* VIII(2):35-43.
- Flores-Félix. E., Moreno-Casillas, H., Figueroa-Miramontes, U., Potisek-Talavera, M. 2014. Disponibilidad de Nitrógeno y desarrollo de avena forrajera (*Avena sativa* L.) con aplicación de Biosólidos. *Terra Latinoamericana* 32 (2). 99-105.
- Flores-Márgez, J. P., Poncio-Acosta, M. Z., Salas-Galván, E., Pérez-Casio, F., Corral Avitia. A. Y., Salazar-Sosa, E., Trejo-Escareño, H. I. 2010. Mineralización de nitrógeno en biosólidos estabilizados con cal. *Terra Latinoamericana.* 28. 307-317.
- Flores-Margez, J.P., B. Corral D., P. Osuna A., E. Olivas E., L.C. Agüero R., L.E. Santana C. y A. I. Flores A. 2015. Reciclaje de biosolidos en suelos agrícolas del Valle de Juarez, Chihuahua. Informe final de proyecto de investigación, UACJ, COCEF, US-EPA, Programa Frontera 2020. 134 p.

- Flores, M.J.P. 2008. Riesgos a la salud humana por la bio-disponibilidad de metales pesados en agua y suelo de la región Paso del Norte. Revista *Avances*, 188:38. Editado por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
(<http://www2.uacj.mx/Publicaciones/Avances/default.htm>).
- Flores, M.J.P. y H. Méndez O. 2013. Evaluación de Biosólidos en una Predio Agrícola del Valle de Juárez, Chihuahua. Informe final de proyecto. Servicios Agropecuarios Paso del Norte S.C. Concesionaria de Aguas Residuales de Ciudad Juárez – Degremont, Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez, 38 p.
- Flores, M.J.P., B. Corral D. y G.S. Mediano. 2007. Mineralización de nitrógeno de biosólidos estabilizados con cal en suelos agrícolas. *Terra Latinoamericana*. 25:409-417.
- Flores, M.J.P., M.Z. Poncio A., E. Salas G., F. Pérez C., A.Y. Corral A. y H.I. Trejo E. 2010. Mineralización de nitrógeno de biosólidos estabilizados con cal. *Terra Latinoamericana*. 28:307-317.
- Flores, M.J.P., E. Jaramillo L., N.W. Assadian, G. Di Giovanni, F. Perez C. and M. K. Shukla. 2013. Heavy metals in oat and soil treated with lime-stabilized biosolids and reclaimed wastewater. *Journal of Environmental&Analytical Toxicology*. Flores-Márgez et al., *J Environ Anal Toxicol* 2013, S6 <http://dx.doi.org/10.4172/2161-0525.S6-001>.
- Flores Márgez, J. P., Valero Córdoba, C., Osuna Ávila, P., Corral Díaz, B., y Shukla, M. 2013. Textura del suelo y tipo de agua de riego en la disponibilidad de fósforo. *Terra Latinoamericana*, 11:220.
- Guerra, P. J., Luna, M. L., Hernández, R. B. 2012. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 42(3), 379-395.
- Hernández-Herrera, J., Olivares-Sáenz, E., Villanueva-Fierro, I., Rodríguez-Fuentes, H., Vázquez-Alvarado, R. y Pissani- Zúñiga, J. 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.
- Hafidi, M., Amir, S., Meddich, A., Jouraiphy, A., Winterton, P., El Gharous, M., & Duponnois, R. 2012. Impact of applying composted biosolids on wheat growth and yield parameters on a calcimagnesian soil in a semi-arid region. *African Journal of Biotechnology*, 11(41), 9805-9815.
- Huang, M., Zhou, S., Sun, B. y Zhao, Q. 2008. Heavy metals in wheat grain: Assessment of potential health risk for inhabitants in Kunshan, China. *Science of the total environment*. 405: 54-61.

- IRENAT, Colegio de postgraduados. 2000. Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelo y plantas del laboratorio de fertilidad de suelos. Programa de intercalibración de análisis de suelos y plantas. Montecillos, Edo. de México. 38 p.
- Jamil, M., Qasim, M., Umar, M. y Rehman, K. 2004. Impact of organic wastes (sewage sludge) on the yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a calcareous soil. *International Journal of Agriculture & Biology*. 6 (3): 465-467.
- Jamil, M., Qasim, M. y Umar, M. 2006. Utilization of sewage sludge as organic fertiliser in sustainable agriculture. *Journal of applied sciences*. 6 (3): 351-535.
- Kumar, A., Oun, A., Harrigan, T., Angelakis, A., & Xagorarakis, I. **2014**. Effects of biosolids and manure application on microbial water quality in rural areas in the US. *Water*, 6(12), 3701-3723.
- Lapeña, M. R., & Rigola, M. 1989. Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales (Vol. 27). Marcombo.
- Liu, W., Shen, L., Liu, J., Wang, Y. y Li, S. 2007. Uptake of toxic heavy metals by rice (*Oryza sativa* L.) cultivated in the agricultural soil near Zhengzhou, people's Republic of China. *Bull Environ Contam Toxicol* 79: 209-213.
- Kabata-Pendias, A. y Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. Tercera edición. CRC Press. 170.
- Mantovi, P., Baldoni, G. y Toderi, G. 2005. Reuse of liquid, dewatered and composted sewage sludge on agricultural land: Effects of long-term application on soil and crop. *Water Research* 39 (2-3): 289-296.
- Metcalf, E. 1995. Vertidos y reutilización. Ingeniería de aguas residuales. 3ª Edición. Editorial Labor S.A. Barcelona, España. 893-1022.
- Pacheco-Avila, J., Pat-Canul, R., Cabrera-Sansores, A. 2002. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería* 6-3. 73-81.
- Rigby, H., Clarke, B. O., Pitchard, D. L., Meehan, B., Beshah, F., Smith, S. R., Porter, N. A. 2016. A critical review of nitrogen mineralization in biosolids-amended soil, the associated fertilizer value for crop production and protein for emissions to the environment. *Science of the Total Environment*. 1310-1338.
- Robledo-Santoyo, Espinosa Hernández, V., Maldonado Torres, R., Rubiños Panta, J. E., Hernández Acosta, E., Ojeda Trejo, E., & Corlay Chee, L. 2010. Sales solubles y metales pesados en suelos tratados con biosólidos. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 16(2), 241-251

- Rodríguez-Petit, A., Clavero, T., Razz, R. y Cárdenas, C. 2005. Crecimiento de *Racosperma mangium* Willd en fase de vivero irrigada con aguas residuales. Rev. Fac. Agron. 22(2).
- Rodríguez, H. M., Talavera, C. P., Cervantes, G. G., Valle, M. Á. V., & Barrios, J. L. G. 2012. Aplicación de biosólidos sobre el desarrollo de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*). Agrofaz: publicación semestral de investigación científica, 12(3), 1-7. Rojas Remis, R., & Mendoza Espinosa, L. G. 2012. Use of biosolids for energetic recovery in México. Producción+ Limpia, 7(2), 74-94.
- SEMARNAT, NOM-004-ECOL-2002. Norma oficial mexicana, protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Secretaria de medio Ambiente y Recursos Naturales-SEMARNAT. 18 p.
- SEMARNAT, NOM-021-RECNAT-2000. Norma oficial mexicana, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis protección ambiental. 75 p.
- SEMARNAT 1997. NOM-001-SEMARNAT-1997. Norma oficial mexicana nom-001-semarnat-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Silva, J. A., Torres, P., Mosquera, J. 2013. Evaluación de la mineralización de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 434-442.
- Singh, R. y Agrawal, M. 2010. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. Ecotoxicology and Environmental Safety 73. 632–641.
- Sullivan, D.M. 1999. Toward quality biosolids management: a trainer's manual. Version 1.0, Oregon State University. 128 p.
- Trevizo, B. 2016. Mineralización de nitrógeno en suelos y proteína del trigo en sistemas agrícolas con biosólidos y aguas residuales. Depto. Ciencias Químico-Biológicas. ICB. UACJ. 104 p.
- Tunc, T., Sahin, U. 2015. The changes in the physical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-reclaimed wastewaters. Agricultural Water Management. 158. 213-224.
- U.S.EPA, 1994. Land application of sewage sludge. Guide Part 503 biosolids rule. EPA/831-B-93-002b. 105 p.
<https://www.epa.gov/biosolids/plain-english-guide-epa-part-503-biosolids-rule>
Consultado Junio de 2018.

Zhao Ye, Zhi-fan Chen, and Jing Liu. 2014. Comparative study of heavy metals in soil-wheat systems between sewage-irrigated areas and clean-water irrigated areas in suburban Beijing. *Journal of Environmental Health*. 77(6): 28-34.

Zhang, Y., Xu, W., Duan, P., Cong, Y., An, T., Yu, N., Zou, H., An, J., Fan, Q., Zhang Y. 2017. Evaluation and simulation of nitrogen mineralization of paddy soils in Mollisols area of Northeast China under waterlogged incubation. *PLOS ONE*. 1-19.

Zornoza, A., Avedaño, L., Alonso J. L., Serrano, S., Amorós, I., Bernacer, I., Martínez, J. L. 2011. Análisis de las correlaciones entre diversos parámetros operacionales y físico-químicos relacionados con el proceso biológico de nitrificación en fangos activos. *Networking sobre problemática biológica en sistemas de eliminación de nitrógeno*. 1-21.

ANEXOS

Informe final de consultor:

Servicios Agropecuarios Paso del Norte S.C.
(SAPN)

Programa Frontera 2020

INFORME FINAL

I. TITULO DEL PROYECTO:

Programa Sustentable de Disposición de Lodos Residuales o Biosólidos en Suelos Agrícolas

CONVENIO DE ASITENCIA TECNICA: CONTA 16-006, PID:20298, B2020 R6.335

II. Responsable, Consultor: Lic. Ana Irene Flores Arras

(Mercadotecnia y Administración)

(anafloarras@hotmail.com)

- III. Fecha de inicio: 1 de Marzo de 2016.
- IV. Duración total del proyecto: 28 meses
- V. Fecha del informe: 30 de Junio de 2018.

Ciudad Juárez, Chihuahua a 30 de Junio de 2018.

ÍNDICE

	Página
Resumen.....	3
VI. Introducción /Antecedentes/Problema identificado.....	4
VII. Objetivos.....	9
VIII. Estrategia del Proyecto	10
IX. Metodología o descripción de las tareas realizadas	12
X. Resultados	37
XI. Discusión	37
XII. Recomendaciones.....	67
Conclusiones	68
Referencias	71
Anexos	77

Resumen

La disposición apropiada de biosólidos en suelos agrícolas requiere de acciones efectivas mediante cursos de capacitación y estrategias de difusión del programa de biosólidos. Además, la formación de una Comisión de Utilización de Biosólidos se consideró clave en el proyecto, lo cual fue impulsado mediante acciones de coordinación institucional y comunicación intensiva entre todos los participantes del proyecto e institucionales y sector productivo. Una lista de contactos fue inicialmente registrada para promover el programa con agricultores, técnicos, representantes institucionales y promotores sociales de público en general, lo cual fue importante para la organización de cursos y talleres de capacitación sobre el programa de biosólidos.

Referente a cursos de capacitación, en total se llevaron a cabo 18 cursos-talleres de capacitación donde se tuvieron 410 asistentes incluyendo agricultores, técnicos, funcionarios, estudiantes y público en general. Además, la impartición de los cursos fueron apoyadas con el uso de 12 publicaciones que fueron en la modalidad tipo desplegadas informativas y siete ponencias de los temas: 1) importancia y el programa Sustentable de biosólidos, 2) Tratamiento de aguas residuales y legislación, 3) Muestreo y análisis físico química y microbiológica de agua potable y residual, 4) microorganismos patógenos en agua residual y biosólidos, 5) Uso de biosólidos en cultivos del Valle de Juárez Chihuahua, 6) Antecedentes de la investigación en biosólidos y la Comisión de uso de Biosólidos, y 7) Uso de biosólidos en otros países.

En relación a las actividades de difusión se efectuaron 28 acciones diversas con la participación de los investigadores del proyecto y los estudiantes de la UACJ. Estas actividades de difusión se clasificaron en asistencias con 14 presentaciones en eventos académicos y congresos científicos nacionales, siete reuniones de grupos institucionales y promoción para formar la Comisión de Uso de Biosólidos en Ciudad Juárez, Chihuahua, tres notas en los principales periódicos locales, dos entrevistas de televisión, dos publicaciones en revistas técnicas, siete tesis producidas en el proyecto y cuatro agricultores participantes directamente en aplicaciones de biosólidos. La Comisión de Uso de Biosólidos para cada gobierno municipal se trabajó mediante gestión permanente y se entregó una iniciativa de acta constitutiva, además se llevaron a cabo reuniones donde se revisó y análisis en detalle la activación de la citada Comisión. De acuerdo a los resultados del proyecto se recomienda continuar las gestiones ante las autoridades gubernamentales y representantes de productores para continuar la Comisión de Uso de Biosólidos, fomentar la adquisición de máquinas esparcidoras de biosólidos, continuar la investigación sobre el efecto de los biosólidos en diferentes tierras, seguir con las acciones de difusión del programa y mantener un programa permanente de capacitación a los agricultores sobre el uso apropiado de biosólidos en suelos agrícolas.