

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**



**“ANÁLISIS DE CRECIMIENTO EN PLÁNTULAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) APLICANDO BIOSÓLIDOS”**

**POR:**

**RAFAEL BAUTISTA CRISTÓBAL**

**TESIS**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

**BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.  
OCTUBRE DE 2005**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**“ANÁLISIS DE CRECIMIENTO EN PLÁNTULAS DE MAÍZ (*Zea mays L.*) APLICANDO BIOSÓLIDOS”**

**TESIS  
Presentado por:**

**RAFAEL BAUTISTA CRISTÓBAL**

**Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador  
Como Requisito Parcial para obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

**Aprobada**

**Presidente del jurado**

**Asesor**

**Dr. José Hernández Dávila**

**MC. Jesús Joaquín Morales López**

**Asesor**

**Asesor**

**Ing. Elyn Bacópulos Téllez**

**Biol. Sonia Acosta Vega**

**Coordinador de la División de Agronomía**

**MC. Arnoldo Oyervides García**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, Octubre de 2006.**

## **DEDICATORIA**

Con mucho cariño, respeto y amor.

### **A mis padres:**

Sr. Carlos Bautista Hernández

Sra. Maria Cristóbal San Juan

Quienes además de darme la vida, me dieron la confianza y apoyo para cursar una carrera profesional, por sus valiosos consejos y amor que siempre me han brindado.

### **A mis hermanos:**

Francisco, Aurelio, Marcelo, Carlos y Leticia.

Por brindarme su apoyo en todo momento, ya que con ellos he pasado y compartido alegrías y tristezas y siempre he contado con ellos y que además de ser hermanos somos grandes amigos.

**A mis abuelos paternos y maternos:**

Sr. Francisco Bautista Maria

Sra. Magdalena Pérez

Y

Sr. Aurelio Cristóbal

Sra. Julia San Juan

Por sus valiosos consejos y por su apoyo que desde los primeros días de mi vida he contado con ello.

**A mis Compañeros y amigos:**

Pablo, Jorge, Pascual, Ubaldo, Zague, a los chilangos del palomar 2, Gonzalo, Néstor, Isaías, Sergio, Chepetla, Ernesto, José Miguel, Carlos.

En especial a mis compañeros de cuarto Francisco, Sergio, Aurelio, Marcelo, Oscar y Donaldo.

A todos ellos por brindarme su amistad y compañerismo en esta etapa de mi vida.

**A MI ALMA TERRA MATER**

Con mucho cariño y respeto por haberme abierto las puertas y darme la oportunidad de formarme en sus aulas como persona y como profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. José Hernández Dávila, con mucho respeto y admiración por su valiosa aportación de conocimientos y asesoría durante el desarrollo del presente trabajo.

Al MC. Jesús Joaquín Morales López, por su apoyo y asesoría y darme la oportunidad de participar en el presente trabajo.

Al Biol. Sonia Acosta por su apoyo y colaboración brindada durante la realización del presente trabajo.

Al Ing. Elyn Bacopulos Téllez por su valiosa colaboración y apoyo durante el desarrollo del presente trabajo.

## ÍNDICE

	PÁG. VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	
1. Introducción	1
2. Objetivos	2
3. Revisión de literatura	3
3.1. Generalidades de los biosólidos	3
3.2. Aplicación de biosólidos en la agricultura	5
3.3. Biosólidos y la legislación	7
3.4. Uso de biosólidos como sustrato	8
3.5. Uso de biosólido en el cultivo de maíz	9
3.6. Problemática actual de los biosólidos en México	10
3.7. Análisis de crecimiento	11
3.8. Materia seca	11
3.9. Área Foliar	12
4. Materiales y Métodos	14
4.1. Ubicación del experimento	14
4.2. Establecimiento del ensayo en campo	14
4.2.1. Instalación del macrotunel	14
4.2.2. Secado del biosólido	15
4.2.3. Preparación de tratamientos y siembra	15
4.2.4. Variables evaluadas	16
4.2.5. Emergencia	16
4.2.6. Análisis de crecimiento	17
4.2.7. Área foliar	17
4.2.8. Materia seca	17
4.2.9. Índices fisiotécnicos	17

5. Resultados	18
5.1. Emergencia	18
5.2. Análisis de crecimiento	19
5.2.1. Área foliar y materia seca	19
5.2.2. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)	20
5.2.3. Tasa relativa de crecimiento (TRC)	21
5.2.4. Tasa de asimilación neta (TAN)	22
5.2.5. Tasa relativa de crecimiento foliar (TRCF)	23
6. Discusión	24
6.1. Emergencia	24
6.2. Análisis de crecimiento	24
6.2.1. Área foliar y materia seca	24
6.2.2. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)	25
6.2.3. Tasa relativa de crecimiento (TRC)	25
6.2.4. Tasa de asimilación neta (TAN)	26
6.2.5. Tasa relativa de crecimiento foliar (TRCF)	26
7. Conclusiones	27
8. Literatura citada	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efectos en la emergencia de maíz del biosólido(B) y peat moss( PM) en diferentes mezclas.....	18
Figura 2. Acumulación de materia seca(a) y producción de área foliar(b) en maíz por efecto de diferentes mezclas de sustrato. 1 = 0+100, 2 = 25+75, 3 = 50+50, 4 =75+25 y 5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente.....	19
Figura 3. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido más peat moss en seis fechas de evaluación. (TRAT = tratamiento, T1 = 0+100, T2 = 25+75, T3 = 50+50, T4 =75+25 y T5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente).....	20
Figura 4. Tasa relativa de crecimiento (TRC) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido más peat moss en seis fechas de evaluación. (TRAT = tratamiento, T1 = 0+100, T2 = 25+75, T3 = 50+50, T4 =75+25 y T5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido respectivamente).....	21
Figura 5. Tasa de asimilación neta (TAN) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido más peat moss en seis fechas de evaluación. (TRAT = tratamiento, T1 = 0+100, T2 = 25+75, T3 = 50+50, T4 =75+25 y T5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente).....	22
Figura 6. Tasa relativa de crecimiento foliar (TRCF) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido más peat moss en seis fechas de evaluación. (TRAT = tratamiento, T1 = 0+100, T2 = 25+75, T3 = 50+50, T4 =75+25 y T5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente).....	23



## INTRODUCCIÓN

Los biosólidos son lodos que se generan en las plantas de tratamiento de aguas residuales y que contienen gran cantidad de materia orgánica, son altamente biodegradables y con características físicas y químicas susceptibles de ser utilizados en la agricultura.

La tendencia de su uso en la agricultura va en aumento, debido a los volúmenes de agua que se están tratando en el país. Por lo que es importante generar información científica que nos permita conocer el comportamiento de los cultivos cuando son cultivados aplicando biosólidos.

Por otra parte, el comportamiento matemático del crecimiento de una planta ha sido descrito por su análisis de crecimiento (Woo *et al.*, 2004). El análisis de crecimiento de una planta se define como un proceso cuantitativo relacionado a un incremento irreversible de tamaño y que está generalmente unido, aunque no de una manera necesaria a un incremento de peso seco y de protoplasma, susceptible de medirse, expresándolo como aumento de longitud o diámetro del cuerpo vegetal (Rojas, 1972).

Los indicadores fisiotécnicos del análisis de crecimiento nos permiten determinar el comportamiento de los cultivos, por lo que este proyecto evaluará estos indicadores y observará el comportamiento del cultivo de maíz, al aplicar biosólidos.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

Realizar un análisis de crecimiento con base en los índices fisiotécnicos para evaluar el efecto de la aplicación de biosólidos, en el cultivo de maíz.

### **ESPECÍFICOS:**

1.- Determinar el comportamiento del cultivo de maíz aplicando cinco tratamientos de mezclas de biosólidos y peat moss.

3- Determinar los índices fisiotécnicos y evaluar el efecto que tuvieron los biosólidos en ellos.

## **HIPÓTESIS**

El comportamiento del crecimiento de las plántulas de maíz varía al aplicar diferentes concentraciones de biosólido mezclados con peat moss.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Generalidades de los biosólidos

La cantidad de lodos generados por un sistema de tratamiento es variable, dependiendo de diversos parámetros, entre ellos si el sistema de tratamiento biológico involucra procesos aeróbicos o anaeróbicos. La generación de sólidos finales en un proceso aeróbico puede llegar a ser el doble que en un proceso anaeróbico (Cortés, 2003).

Santiago (2000), menciona que la calidad del lodo depende, fundamentalmente, de cuatro grupos de contaminantes principales:

#### Metales

Principalmente zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr). Su potencial de acumulación en los tejidos humanos y su bio-magnificación en la cadena alimentaria suscitan preocupaciones, tanto medioambientales como sanitarias.

#### Nutrientes importantes en las plantas

Nitrógeno y fósforo. Su peligrosidad radica en su potencial de eutrofización para las aguas subterráneas y superficiales. Sin embargo, se pueden considerar como fertilizantes valiosos y el principal valor para la agricultura, de los lodos industriales, reside en su alto contenido en materia orgánica y por lo tanto de elementos esenciales para las plantas.

## Contaminantes orgánicos

Plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, agentes tenso activos y muchas otras moléculas orgánicas complejas, generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de absorción, tienden a acumularse en los lodos. Todos ellos son motivo de preocupación por sus efectos potenciales sobre el medio ambiente y, en particular, sobre la salud humana. Una característica específica de éstos, es su potencial de biodegradación que puede ocurrir después de esparcir los lodos en la tierra o durante el composteo.

## Agentes patógenos

Los agentes patógenos que se han encontrado en los lodos son las bacterias como la salmonella, los virus, sobre todo enterovirus, los protozoos, los tremátodos, los céstodos y los nemátodos. Como resultado, para que cualquier vertido de los lodos sea seguro se precisa la eliminación, o al menos una inactivación suficiente, de estos agentes patógenos.

Los biosólidos provenientes de aguas residuales domésticas contienen tres nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas: nitrógeno, fósforo y potasio (NPK). Los nutrientes contenidos en los biosólidos pueden estar en diversas formas químicas. Por ejemplo, el nitrógeno contenido en los biosólidos pueden estar como nitratos, amonio o nitrógeno orgánico y el fósforo, por su parte, puede estar presente como ion fosfato y orto fosfato (Cortés, 2003).

## Aplicación de Biosólidos en la Agricultura

El uso de residuos en la agricultura data desde la antigüedad, el Imperio romano, utilizaba desechos humanos en la agricultura, los antiguos chinos, usaban *night soil* en la agricultura, en los EUA en 1880 existían reportes de 103 de 222 ciudades, los cuales usaban los desechos humanos en la agricultura (Barrios, 2004)

Fondahl (1999) menciona que California, un Estado con 31 millones de habitantes utiliza en tierras agrícolas, el 52% de los biosólidos producidos (390,000 toneladas por año en base seca), mientras que Arizona utiliza el 86% de lo que produce, lo cual corresponde a 56,000 ton año<sup>-1</sup>.

El destino generalizado actual de estos residuos es el confinamiento en rellenos sanitarios, sin embargo en otros países es común su aplicación en suelos agrícolas, pastizales, bosques o elaboración de composta (USEPA, 1999).

Smith (1996) menciona que con frecuencia, la aplicación de biosólidos a tierras de cultivo es, posiblemente, el método de eliminación más barato. Se puede comparar con lo que se hace tradicionalmente con el estiércol o los residuos de ganadería. Ofrece una oportunidad para reciclar nutrientes de las plantas y materia orgánica beneficiosos para las cosechas. Además, parece que, en muchos casos, la aplicación de los lodos al suelo puede mejorar las propiedades físicas de éste, aumentando la productividad de las cosechas.

Sin embargo, Bontoux *et al.*, (1999) mencionan cuidar los contaminantes químicos o patógenos presentes en los lodos, para que no produzcan efectos adversos. Por ejemplo, las concentraciones de metales pesados en los lodos suelen ser mayores que las que existen en el suelo y estos elementos pueden quedar retenidos indefinidamente en las capas de suelo. Por tanto, las aplicaciones repetidas de lodos aumentarán gradualmente el contenido en

elementos traza del suelo. Según la aplicación de los lodos y las concentraciones de los metales, se puede calcular el tiempo (generalmente de 70 a 80 años) en que se alcanzarán las concentraciones máximas permisibles de cada elemento en el suelo. Pasado este período los lodos no se pueden aplicar más, de forma segura. Zn, Cu y Hg son los principales elementos que limitan el resultado de lodos en las tierras de cultivo, mientras que el Cd suscita problemas específicos debidos a su toxicidad y a su movilidad variable.

El uso de lodos digeridos, procedentes de la depuración de aguas residuales urbanas y de residuos sólidos urbanos, como fertilizantes orgánicos es uno de los principales medios de reutilización de estos residuos sólidos, si bien tiende a disminuir debido a la contaminación por cationes pesados a que da lugar (López *et al.*, 2000).

Sin embargo, la necesidad evidente de incrementar los volúmenes de agua tratada en el País, traerán como resultado un aumento considerable de sólidos residuales que deberán ser utilizados racionalmente para evitar impactos ambientales negativos. La aplicación correcta de la legislación en este tema, permitirá un aumento en los métodos de manejo y utilización benéfica de biosólidos tales como en suelos agrícolas, bosques y composta, entre otros, que en corto plazo el potencial de beneficio puede alcanzar 52,000 ha por año a nivel nacional, con el consecuente ahorro de fertilizantes químicos (Flores, 2003)

Los resultados de investigación y validación de biosólidos realizados desde 1999 en el Valle de Juárez, Chih., confirman la factibilidad de su utilización en suelos agrícolas, pero estudios a mediano plazo se consideran necesarios para conocer el impacto en la productividad de los suelos y calidad de los productos (Flores y Figueroa, 2004).

## **Biosólidos y la Legislación**

En lo referente a la legislación, en el país actualmente se cuenta con la NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- Lodos y biosólidos, la cual establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos o biosólidos, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

La norma en mención es la única que existe y es de observancia obligatoria para todas aquellas personas físicas y morales que generen lodos y biosólidos, generados como se expresó anteriormente.

Los biosólidos son definidos por la NOM-004-SEMARNAT-2002 en su apartado 3.7 como: los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que por su contenido de nutrientes y por sus propias características o por las adquiridas después de un proceso de estabilización, pueden ser susceptibles de aprovecharse.

Dicho de otra forma, los biosólidos son lodos que se generan en las plantas de tratamiento y que contienen gran cantidad de materia orgánica, con características físicas y químicas susceptibles de ser utilizados en la agricultura y altamente biodegradables.

## **Uso de biosólidos como sustrato**

Domínguez (2005) menciona que para el 2002 se tienen registradas 1205 ha de invernadero, teniéndose 365 ha en construcción, para el 2005 se estiman habrá en el país 3000 ha. en producción, todas ellas utilizando plántulas de calidad y por ende requiriendo grandes volúmenes de sustrato para su producción.

Montes (2005) menciona que el uso de grandes volúmenes de sustrato para producción de plantas, eleva los costos, proponiendo que el biosólido, sea una alternativa de sustrato, para disminuir los costos de producción, en el caso de la planta de agave.

Hernández (2005) por su parte, encontró que plantas ornamentales, cultivadas en fibra de coco mezcladas con biosólidos, mostraron resultados similares que los crecidos en sustratos comerciales, la mezcla al 30% de lodo residual composteado + fibra de coco, resultó ser el más conveniente sustrato a utilizarse, desde un punto de vista económico y ambiental.



## **Uso de biosólidos en el cultivo del maíz.**

En experimentos de campo realizados estimando la disponibilidad de los elementos potencialmente tóxicos, se determinaron los niveles de Cd, Zn, Cr, Cu, Ni, Pd, a través de la acumulación de los mismos en los tejidos del cultivo de maíz, en base a resultados obtenidos se observó que ningún elemento potencialmente tóxico, presentó concentraciones indicadas como riesgosas para la salud o el medio ambiente (Rodríguez, 2004)

Zamora *et al.* (1999), en trabajo realizado adicionando lodos residuales de una planta de tratamiento urbano, en el cultivo de maíz, menciona incrementos de un 35 por ciento en rendimiento con respecto a la fertilización química convencional. Atribuyendo dichos resultados a los nutrimentos básicos de N, P, y K que contenían los lodos.

Uribe *et al.* (2002) reportaron que en la región agrícola de Delicias, Chih., se observaron incrementos en rendimiento de forraje verde con la aplicación de biosólidos que fluctuaron entre 11 y 18% en comparación al testigo fertilizado y 27 a 35% en comparación al testigo absoluto. Se concluyó, que en maíz forrajero la dosis más adecuada de biosólidos digeridos anaeróbicamente, desde el punto de vista agronómico y económico resultó ser 10 t·ha<sup>-1</sup> de biosólidos en base seca.

Un grupo de docentes y alumnos del Departamento de Investigaciones en Ciencias Agrícolas, del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, estudia la utilización de biosólidos en la agricultura, cuyos primeros resultados han permitido incrementar hasta en un 40 por ciento la producción de maíz y algunas hortalizas (Rodríguez, 2004).

## **Problemática actual de los biosólidos en México**

No existen reportes de volúmenes de lodos generados en el país, en el año 1992 se inició el monitoreo de 546 plantas de tratamiento, las cuales no se tenían bien documentados los tipos de plantas de tratamiento que operaban en el país, solamente se conocían las formas de manejo y eliminación, centrado en el transporte a rellenos sanitarios, confinamientos, esparcidos al suelo, vertidos al mar e incinerados (CNA, 2003).

Jurado (2004) en base a estimaciones realizadas en el 1996, reporta que la generación de biosólidos en México alcanzará aproximadamente 650, 000 t en materia seca (MS) por año, en un futuro próximo, para Estados Unidos se estiman 12 millones y para la Comunidad Europea con 15 miembros 7.5 millones.

Por su parte, Flores (2003) estimó que el volumen los sólidos residuales es de 480,363 toneladas por año, ó bien en base húmedo (70%) es de 1.6 millones de toneladas. Una dosis promedio de 50 t/ha alcanzaría para aplicarse en 32,280 ha, ó bien para 51,981 ha si se considera la capacidad instalada de tratamiento de agua nacional que generaría 2.6 millones de toneladas de sólidos en base húmedo.

En la actualidad tenemos en el país alrededor de 1360 plantas de tratamiento urbanas (CNA, 2003), sin considerar las Industriales, esto aunado a la normatividad vigente, que promueve la creación de más plantas de tratamiento, que serán en un futuro fabricas de lodos si no se les plantean alternativas, por lo que es importante encontrar propuestas de solución que nos permitan vivir en un entorno ecológico más estable.

## **Análisis de crecimiento**

Para la construcción de un análisis de crecimiento se requiere de evaluaciones permanentes de la biomasa total a través del peso seco de las diferentes etapas de la planta y de las dimensiones de la superficie asimilatoria a través del índice de área foliar (IAF).

El crecimiento se caracteriza por un incremento en el peso seco o fresco, que existe la duplicación del protoplasma, multiplicación celular, un aumento permanente en el volumen y un incremento de tamaño de diversos órganos de la planta. El crecimiento puede estudiarse de varias maneras, la más usual es medir alguna parte de la planta o plantas completas a diversos intervalos de tiempo ( Hunt , 1989).

Sin embargo Villalobos *et al* (2002), indica que el crecimiento es un proceso por el cual aumenta el peso, volumen y el área o longitud de uno o varios órganos de la planta.

## **Materia seca**

La materia seca es la resultante final del proceso fotosintético y la respiración en el cual, parte de los carbonatos hidratados producidos en este proceso, son utilizados como material de construcción para la estructura de la planta (Tanaka y Yamagichi, 1984).

La tasa de acumulación de materia seca en algunas especies es limitada por la disponibilidad de carbono, agua, nitrógeno, etc.

Las diferencias en los valores de materia seca podrían ser influenciadas por el manejo agronómico o la variabilidad genética. Autores coinciden en afirmar que la productividad de una planta depende del genotipo y del crecimiento vegetativo y reproductivo, estando éste último ligado a la acumulación de materia seca (Moreno *et al.*, 1999).

### **Área foliar**

El área foliar ha sido objeto de interés en los estudios de fisiología vegetal y genética, ya que se encuentra muy relacionada con la eficiencia fotosintética de los cultivos y es por esto que se requieren procedimientos sencillos y rápidos para realizar la evaluación. El área foliar se considera como el tamaño del sistema asimilatorio de las plantas.

El área foliar es uno de los parámetros más importantes en la evaluación del crecimiento de las plantas. Existen diferentes métodos para la determinación del área foliar. El tamaño de la muestra, la morfología de la hoja y las disponibilidades de tiempo y equipo, por parte del investigador, son aspectos de importancia relevante en la escogencia del método a emplear (Méndez, 1993).

Por su parte Russell *et al.* (1984), determinaron que las funciones de TCC, TRC y TAN se incrementan con la temperatura dentro de un rango específico para un cultivo dado, también citaron que el objetivo del cálculo de las funciones de crecimiento, es explicar la respuesta de un cultivo al medio ambiente.

Woo *et al.* (2004) realizaron un análisis de crecimiento en maíz aplicando todos los activados y urea observando que la tasa de asimilación neta máxima fue de  $0.22 \text{ g dm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  y disminuye en antesis y aumenta al final del llenado del grano. Con respecto a la TRC la tasa más alta se obtuvo a los 20 días después de la siembra ( $0.15 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) descendiendo más allá de  $0.05 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$  a los 80 días, además menciona que la TCC indica la velocidad de crecimiento en el cultivo.

Figuroa et al. (2004) al realizar un análisis de crecimiento en alfalfa con diferentes laminas de riego determinaron que la acumulación de materia seca, la tasa de asimilación neta (TAN) y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), incrementan su valor a medida que la cantidad de agua aumenta.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Ubicación del experimento**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los terrenos y el laboratorio de fisiología del departamento de Horticultura, de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, ubicada en la exhacienda de Buenavista, a 7 Km. al Sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila. Se localiza en las coordenadas geográficas entre 25° 21´ y 25°21´ latitud Norte y 101° 01´ y 101° 03´ longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, con una altitud de 1743 msnm.

### **Establecimiento de ensayo en campo**

#### **1. Instalación del macrorunel**

Para la realización del ensayo en campo, por la naturaleza de los mismos y evitar la contaminación de proyectos de Investigación, a la vez del mejor monitoreo del experimento, se requirió de la construcción de un macrotúnel con dimensiones de 4 x 15 mts . Mismo que fue colocado en los terrenos del Bajío asignados al Departamento de Horticultura a un costado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UAAAN.

Se construyó con tubos galvanizados de ½” de diámetro para arcos y cubierto con plástico TUFLIVE IV, con una ventila lateral manual, cubierta con tela antiáfidos.

Se requirió además de charolas de poliestireno de 60 cavidades, para la siembra de semillas. Para el sustrato se utilizó peat moss de la marca sushine.

Se requirió de un termómetro de máximas y mínimas manual, para el monitoreo de la temperatura en el interior del macrotúnel.

## **2.- Secado del biosólido**

- a) Se obtuvieron biosólidos de la planta de tratamiento de la Embotelladora El Carmen, y se procedió a secarlos dentro del macrotúnel, en el cual se extendieron los biosólidos para su deshidratación, el objetivo de esta práctica fue para realizar las mezclas en peso seco. Fecha: 1 al 15 de julio
- b) Se molieron los biosólidos secos obtenidos, utilizando un pizon (Compactador de suelos en albañilería) y se pasó por un tamiz (malla de albañil), para de esta manera tener más uniformemente los gránulos del biosólido y facilitar la mezcla. Fecha: 15 Julio al 30 de Julio.

## **3.- Preparación de tratamientos y siembra**

- a) Se procedió a realizar las mezclas correspondientes con peat moss y biosólido en las concentraciones planteadas.
  - 1.- 0 % peat moss 100 % lodos,
  - 2.- 25 % peat moss 75 % lodos,
  - 3.- 50 % peat moss 50 % lodos,
  - 4.- 75 % peat moss 25 % lodos,
  - 5.- 100% peat moss 0 % lodos. (Testigo)
- b) Cada mezcla se colocó en charolas de 60 cavidades (Charola por tratamiento y 4 repeticiones c/u), en un arreglo completamente al azar.

- Se realizó la preparación de las mezclas en volumen, tomando como medida una cubeta de 20 litros.
- Se colocaron sobre una estructura metálica, que evitó su contacto con el suelo y se le aplicaron 10 botes de 20 litros de agua mediante una regadera. Este riego pesado tuvo como objetivo reducir la salinidad que presentaban los biosólidos. Se le aplicaron 4 riegos en un intervalo de 2 hr entre cada riego.
  
- Se comenzó la siembra, previamente fueron humedecidas las charolas con la aplicación de 2 regaderas de agua de 5 litros, se comenzó a sembrar la semilla del Maíz AN 447 y se utilizaron charolas de poliestireno de 60 cavidades de 6 cm de diámetro x 12 cm de profundidad colocando una semilla por cavidad. Las charolas fueron previamente desinfectadas con Cloro a razón de 2 galones de cloro/200 litros de agua, por ser charolas de reuso.
  
- Se colocaron las charolas dentro del invernadero, en el cual se les dio el cuidado y manejo respectivo para los cultivos de hortalizas.
- Se colocó un termómetro de máximas y mínimas, dentro del invernadero.

#### **4.- Variables evaluadas**

##### **a. Emergencia**

Para obtener los datos de este parámetro se contó a los siete días después de la siembra, el número de plántulas con una altura de 1 centímetro de cada tratamiento, dichos conteos se realizaron diariamente hasta los veinte días después de la siembra.



## b. Análisis de crecimiento

**Área foliar:** estos valores se obtuvieron cosechando por separado la parte aérea de las plántulas y las hojas, bien extendidas, se evaluaron en un analizador de área foliar (equipo portátil LI – 3000).

**Materia seca:** estos parámetros se obtuvieron pesando la parte aérea y la parte de la raíz por separado, determinándose su peso fresco y posteriormente se secó a temperaturas de 60 –70 °C durante 72 hrs, después se pesaron en la balanza analítica, para determinar su peso seco. Se realizaron seis muestreos con intervalos de cinco días a partir de los 15 días después de la siembra.

**Índices fisiotécnicos:** Una vez obtenidos los valores de área foliar y peso seco, en gabinete fueron sometidos a un análisis de regresión lineal para determinar su relación, para construir 4 índices fisiotécnicos. Las formulas utilizadas para estimar los índices tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa relativa de crecimiento foliar (TRCF) y la tasa de asimilación neta (TAN) fueron las siguientes:

$$TCC = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1): \text{mg.día}^{-1}$$

$$TRC = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1): \text{mg. mg}^{-1}. \text{día}^{-1}.$$

$$TRCF = (\ln A_2 - \ln A_1) / (t_2 - t_1): \text{cm}^2. \text{cm}^{-2}. \text{día}^{-1}.$$

$$TAN = (W_2 - W_1) / (\ln A_2 - \ln A_1) (t_2 - t_1): \text{mg.cm}^{-2}. \text{día}^{-1}.$$

Donde :

$W_1$  y  $W_2$  = Peso seco al tiempo 1 y 2 respectivamente

$A_1$  y  $A_2$  = Área foliar al tiempo 1 y 2 respectivamente.

$t_1$  y  $t_2$  = tiempo 1 y 2, respectivamente.

$\ln$  = logaritmo natural.

Con los valores obtenidos se construyeron graficas utilizando los promedios de cada índice fisiotécnico.

## RESULTADOS

### Emergencia

Al inicio de la emergencia, siete días después de siembra, se observó 25.4 % más de semillas de maíz que emergieron en el tratamiento con 100 % de peat moss en comparación con el tratamiento con 75 % de peat moss + 25 % de biosólido donde aun no había emergencia aunque, a los 12 días ambos tratamientos alcanzaron el 100 % de emergencia. Al incrementar la cantidad del biosólido por arriba del 50 % la emergencia de las semillas de maíz fue más lenta pero no influyó en el porcentaje de emergencia ya que, todos los tratamientos alcanzaron el 100 % (Figura 1). Es decir que con el uso del biosólido como sustrato en combinación con peat moss, la fase de emergencia en el cultivo de maíz, ocurre más lentamente aunque el porcentaje de emergencia no se ve afectado.

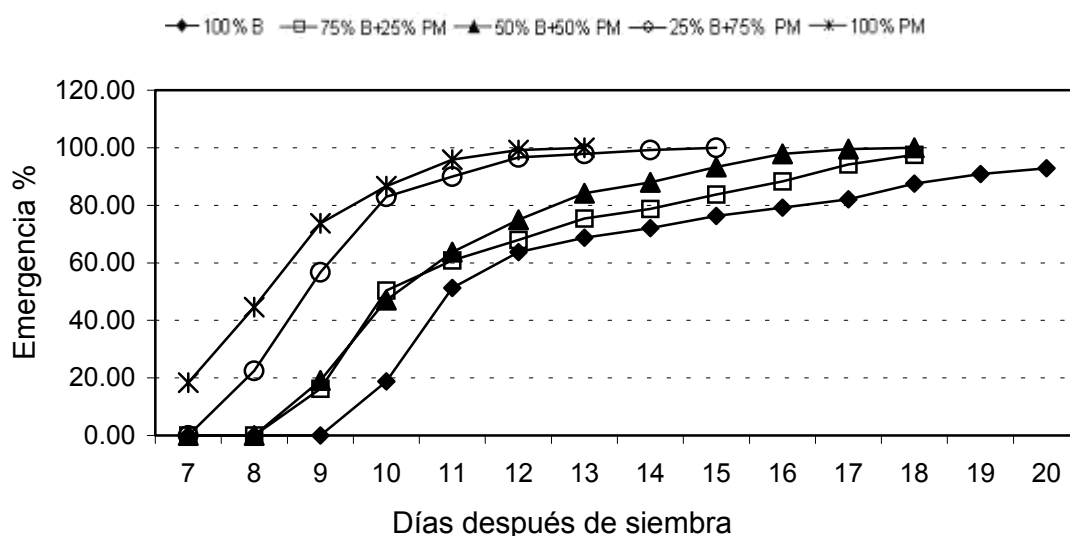


Figura 1. Efectos en la emergencia de maíz por la aplicación del biosólido (B) y peat moss (PM) en diferentes mezclas.

## Análisis de crecimiento.

**Área foliar y materia seca.** Los resultados en cada fecha de muestreo, mostraron diferencias significativas entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ); En la Figura 2a se puede observar que la acumulación de materia seca se comporta de manera similar hasta los 30 dds en los tratamientos donde se aplicó biosólido con valores de  $0.2 \text{ g.planta}^{-1}$  hacia abajo y, a partir de esta fecha, el tratamiento 4 mostró superioridad hasta que a los 40 y 45 dds tuvo los valores más altos con  $1.0 \text{ g.planta}^{-1}$ . Sin embargo, el tratamiento 5 fue superior y mostró diferencias estadísticas con respecto a los otros tratamientos, ya que pasó de  $0.1$  a  $0.9 \text{ g.planta}^{-1}$  en 15 días. Por otra parte, el tiempo en que la planta estuvo lista para el trasplante varió entre tratamientos; así, en el tratamiento 5 estuvieron listas a los 30 dds y en el tratamiento 4 a los 45 dds. En los tratamientos 1, 2 y 3 las plantas murieron entre los 30 y 35 dds. En la Figura 2b se observa la acumulación de área foliar, que tiene un comportamiento similar al de la materia seca. Aquí se destaca el hecho de que el tratamiento 5 superó al tratamiento 4 en la producción de área foliar aún y cuando éste último, acumuló mayor cantidad de materia seca.

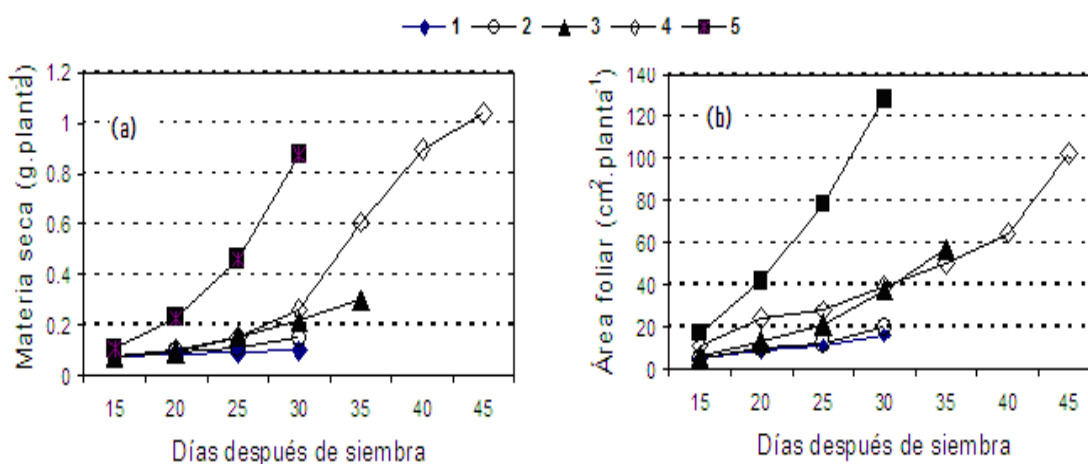


Figura 2. Acumulación de materia seca (a) y producción de área foliar (b) en maíz por efecto de diferentes mezclas de sustrato. 1 = 0+100, 2 = 25+75, 3 = 50+50, 4 = 75+25 y 5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente

### Tasa de crecimiento del cultivo (TCC).

Los resultados de los análisis para cada una de las fechas de muestreo detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre tratamientos y los resultados de las comparaciones de medias con Tukey ( $P \leq 0.01$ ) se muestran en el Figura 3. La tendencia de este índice fue iniciar con valores promedio bajos ( $0.0013 \text{ g.planta}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ), hasta llegar a un valor máximo a los 38 dds con  $0.0973 \text{ g.planta}^{-1}.\text{d}^{-1}$  (valor variable para cada tratamiento) por tanto, la tendencia es ascendente y sigue el comportamiento típico del crecimiento de un vegetal. A los 38 dds el tratamiento 4 fue superior al resto de los tratamientos.

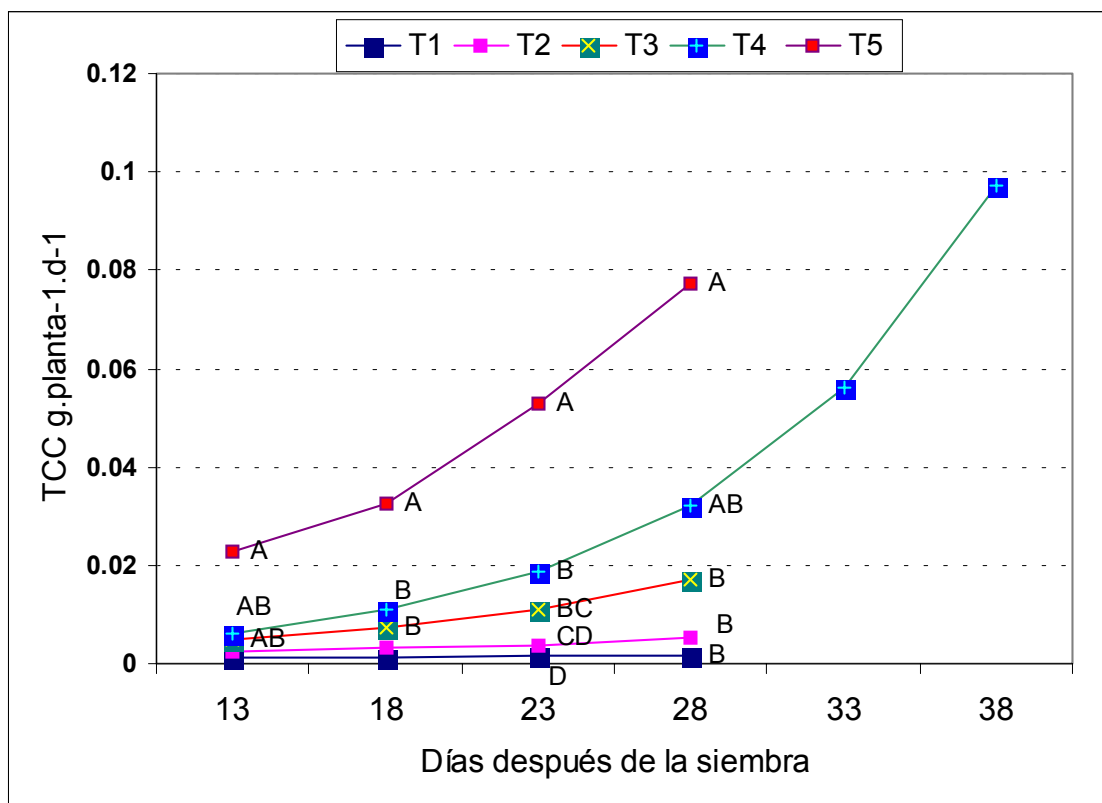


Figura 3. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido más peat moss en seis fechas de evaluación. (T1 = 0+100, T2 = 25+75, T3 = 50+50, T4 = 75+25 y T5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente).

**Tasa relativa de crecimiento (TRC)** Los análisis de varianza para cada una de las fechas de muestreo detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre tratamientos. En el Figura 4 se muestran las comparaciones de medias con Tukey ( $P \leq 0.01$ ) y se pudo observar, que al inicio la TRC fue alta pero, esta eficiencia disminuyó a través del tiempo. Así, valores de  $0.1916 \text{ g.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$  se alcanzan al inicio de las evaluaciones hasta caer, a los 28 dds, a un valor de  $0.096 \text{ g.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$ . En cambio el tratamiento 4 mantiene su valor de TRC casi constante hasta los 38 dds.

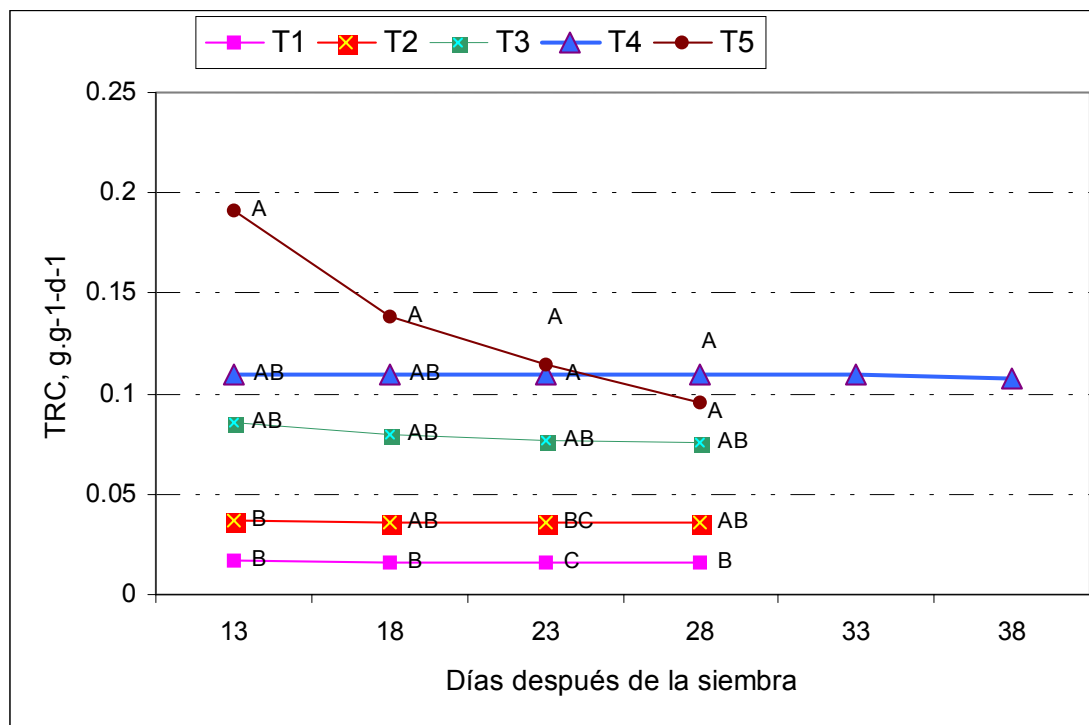


Figura 4. Tasa relativa de crecimiento (TRC) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido más peat moss en seis fechas de evaluación. ( T1 = 0+100, T2 = 25+75, T3 = 50+50, T4 =75+25 y T5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente).

**Tasa de asimilación neta (TAN).** Los resultados de los análisis para cada una de las fechas de muestreo detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre tratamientos, la comparación de medias se muestra en el Figura 5. Este es uno de los índices que más fueron afectados por la aplicación de biosólidos. Así se observan dos tendencias, una decreciente de los tratamientos 1, 2, 3 y 5 y otra ascendente del tratamiento 4. El tratamiento 5 inicia con valor de TAN relativamente alto ( $0.0015 \text{ g.cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ) y, al momento que la planta esta lista para el trasplante, termina con valor tan bajo como  $0.0007 \text{ g.cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$ . En cambio, el tratamiento 4 inicia con valor de  $0.0006$  y termina con valor de  $0.0016 \text{ g.cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$ .

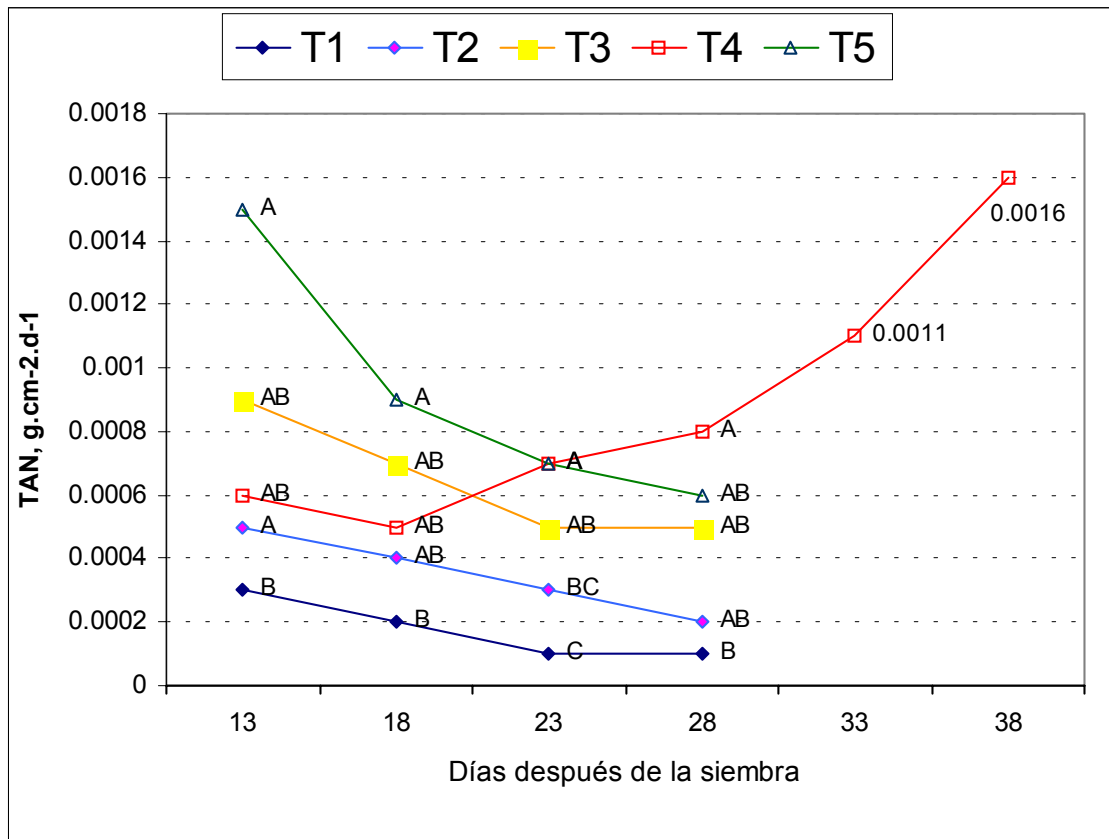


Figura 5. Tasa de asimilación neta (TAN) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido más peat moss en seis fechas de evaluación. ( T1 = 0+100, T2 = 25+75, T3 = 50+50, T4 = 75+25 y T5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido, respectivamente).

**Tasa relativa de crecimiento foliar (TRCF).** Los resultados del análisis para cada una de las fechas de muestreo indican diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre tratamientos y las comparaciones de medias se muestran en la Figura 6. Al considerar que la planta primero tiene que construir “la fábrica” de fotoasimilados, el índice de TRCF es uno de los más importantes e interesan valores altos y sostenidos. El tratamiento cinco es el que logra esto, y por tanto el uso de biosólido como sustrato retrasa la formación de follaje. El tratamiento 5 con solo peat moss como sustrato inició con valores altos de TRCF ( $0.1815 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) hasta disminuir a valores de  $0.078 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ .

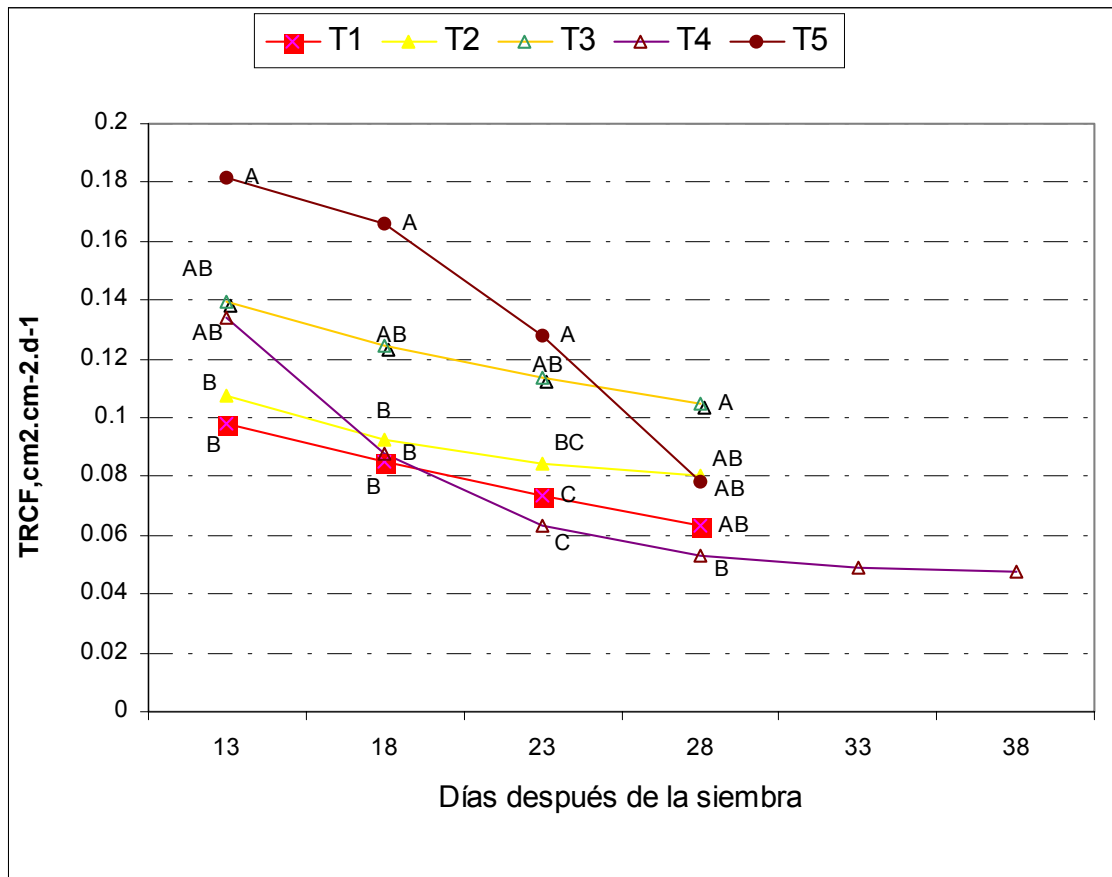


Figura 6. Tasa relativa de crecimiento foliar (TRCF) en plántulas de maíz por efecto de cinco mezclas de biosólido más peat moss en seis fechas de evaluación. ( T1 = 0+100, T2 = 25+75, T3 = 50+50, T4 = 75+25 y T5 = 100+0 porcentaje de peat moss y biosólido )

## DISCUSIÓN

### **Emergencia.**

El retraso de la emergencia en los tratamientos donde se aplicó biosólido es probable se deba a problemas de estrés hídrico causado por la alta porosidad que posee este tipo de sustrato. Esto, en concordancia con Ansorena (1994) al citar que aún y cuando las causas de la reducción del crecimiento radicular no están claras, es evidente que la porosidad expresada por la densidad aparente es un factor importante en el crecimiento de la raíz. También, el retraso de la germinación y la reducción del crecimiento radicular con el uso del biosólido se puede deber a la acumulación de CO<sub>2</sub> por las condiciones de mala aireación ya que a profundidades escasas el incremento de CO<sub>2</sub> puede inhibir la germinación en cierto grado y disminuir la tasa de crecimiento radicular (Hartmann *et al.*, 1990).

### **Análisis de crecimiento**

**Materia seca y Área foliar.** Los valores de materia seca reportados en este trabajo, están en concordancia con los reportados por Polanco y Ramírez (1993) y con los de Loecke *et al.* (2004) quienes, al trabajar con maíz, entre los 14 y 30 dds citaron 0.5 y 0.014 g.planta<sup>-1</sup> de materia seca y difieren con los de Weidong *et al.* (2004) al citar valores de 4.7 g.planta<sup>-1</sup>. Por otra parte, el tiempo en que la planta estuvo lista para el trasplante varió entre tratamientos; así, en el tratamiento 5 estuvieron listas a los 30 dds y, en el tratamiento 4 a los 45 dds. En los tratamientos 1, 2 y 3 las plantas murieron entre los 30 y 35 dds, a causa de la nula formación de raíces posiblemente, por la alta porosidad del sustrato



impartida por la cantidad usada del biosólido en estos tratamientos. En relación con la acumulación de área foliar, es de destacar el hecho de que el tratamiento 5 superó al tratamiento 4 en la producción de superficie fotosintética aún y cuando éste último, acumuló mayor cantidad de materia seca. Por tanto, se deduce que el tratamiento 4 produce mayor cantidad de raíces; lo cual, le puede dar ventaja a estas plantas al momento del trasplante. En este trabajo se reportan valores máximos de área foliar de  $130 \text{ cm}^2.\text{planta}^{-1}$  y difieren considerablemente de los reportados por Weidong con  $605 \text{ cm}^2.\text{planta}^{-1}$ . Estas diferencias es posible se deban a las características propias de las variedades usadas en cada ensayo.

**Tasa de crecimiento del cultivo (TCC).** La tendencia de este índice es ascendente y sigue el comportamiento típico del crecimiento de un vegetal y a los 38 dds el tratamiento 4 fue superior al resto de los tratamientos. Los valores aquí reportados coinciden con el valor de  $0.038 \text{ g.planta}^{-1}.\text{d}^{-1}$  citado por Loecke *et al.* (2004) y difieren con el valor de  $3.7 \text{ g.planta}^{-1}.\text{d}^{-1}$  citado por Smith y San José (1980).

**Tasa relativa de crecimiento (TRC).** En la Figura 4 se pueden observar dos tendencias del índice TRC, una a disminuir a través del tiempo y otra a mantenerse constante durante el período evaluado. Así, los tratamientos 1, 2, 3 y 5 alcanzan valores de  $0.1916 \text{ g.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$  al inicio de las evaluaciones hasta caer, a los 28 dds, a un valor de  $0.096 \text{ g.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$ . En cambio el tratamiento 4 mantiene su valor de TRC casi constante hasta los 38 dds. Por tanto este último tratamiento es más eficiente para producir materia seca a partir de la ya existente, aunque, sus plantas tardan más tiempo en estar listas para el trasplante.

**Tasa de asimilación neta (TAN).** Este es uno de los índices que más fueron afectados por la aplicación de biosólidos. Así se observan dos tendencias, una decreciente de los tratamientos 1, 2, 3 y 5 y otra ascendente del tratamiento 4. Si se considera que la TAN indica la tasa de acumulación de materia seca por unidad de área foliar (Brown, 1984) entonces, el tratamiento 5 es más eficiente al inicio de las evaluaciones y al final de las mismas lo es el tratamiento 4. Los valores de TAN reportados en este trabajo, son similares a los citados por Weidong *et al.* (2004) y son muy bajos comparados con los valores reportados por Smith y San José (1980) y por Polanco y Ramírez (1993). Quizá las diferencias se deben a que estos autores sembraron directamente en campo y nosotros lo hicimos en charolas germinadoras. También, difieren de los valores reportados por Loecke *et al.* (2004) pero estos son mucho más bajos ( $0.00006 \text{ g.cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ).

**Tasa relativa de crecimiento foliar (TRCF).** Al considerar que la planta primero tiene que construir “la fábrica” de fotoasimilados, el índice de TRCF es uno de los mas importantes e interesantes valores altos y sostenidos. El tratamiento cinco es el que logra esto. El tratamiento citado con solo peat moss como sustrato inició con valores altos de TRCF ( $0.1815 \text{ cm}^2.\text{cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ) hasta disminuir a valores de 0.078 y por tanto los demás tratamientos fueron menos eficientes para producir área foliar nueva a partir de área foliar ya existente y por tanto al usar biosólido como sustrato retrasa y disminuye la formación de follaje.

## **CONCLUSIONES**

De acuerdo a los resultados obtenidos una vez realizado los ensayos en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) con respecto a las diferentes tratamientos de biosólidos más peat moss , al considerar la materia seca, el área foliar, la TCC, la TAN y la TRCF se concluye que es posible producir transplantes de maíz al utilizar el biosólido en cantidades menores al 25 %.

Se recomienda seguir realizando ensayos con otras especies, puesto que es posible que su comportamiento sea diferente en otros cultivos.

Es también importante llevar al cultivo al ciclo siguiente y realizar las evaluaciones pertinentes.

## LITERATURA CITADA

- Ansorena, D. 1994. Propiedades y Caracterización de los Sustratos. Mundi-Prensa. Madrid. 172 p.
- Barrios P., J. A. 2004. Tratamiento y aplicación de lodos residuales en México. Grupo Tratamiento y Reuso del Instituto de Ingeniería UNAM. Memorias del Sexto Congreso de Químicos Farmacéuticos Biólogos. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Bontoux, L.; M. Vega; D. Papameletiou. 1999. Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: el problema de los lodos. [www.jrc.es/iptsreport/vol23/spanish/ENV2S236.htm](http://www.jrc.es/iptsreport/vol23/spanish/ENV2S236.htm) Consultado el 17/02/2004.
- Brown, R. H. 1984. Growth of the green plant. P. 153 – 174. *In*: M. B. Tesar (ed). Physiological basis of crop growth and development. ASA and CSSA, Madison, WI.
- Comisión Nacional del Agua. 2003. Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales. México.
- Cortés C., E. 2003. “Fundamentos de Ingeniería para el Tratamiento de los Biosólidos Generados por la Depuración de Aguas Servidas de la Región Metropolitana” Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil Químico. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Química. Santiago de Chile.

- Domínguez, A. 2005. Uso de túneles con cubiertas fotoselectivas para la producción de plántulas de hortalizas. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Figuroa V.,R. Vazquez V., C. Gallegos P.,A. 2004. Acumulación de materia seca en alfalfa (*Medicago sativa* L.) en función de la lamina de riego con el método por goteo superficial. *Agrofaz* . 4(1) :481-485.
- Flores M., J. P. 2003. Manejo y Biodegradación de Biosólidos Aplicados a la Agricultura. Ponencia Presentada en la XV Semana Internacional de Agronomía de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Dgo.
- Flores M.,J. P. y Figuroa V.U. 2004. Biosólidos en Suelos Agrícolas: Avances en la Investigación y Validación. Memorias del XXXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. León, Gto., México.
- Fondahl, L. 1999. Biosolids management in the western region. *Biocycle* July. pp. 70-74.
- Hartmann, H., D. Kester and F. Daudes. 1990. *Plant Propagation, Principles and Practices*. Prentice Hall. New Jersey. 647 p.
- Hernández A., L.; A. M. Gascó; J. M. Gascó; F. Guerrero. 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresource Technology*. 96: 125-131.
- Jurado G., P; L. M. Luna; H. R. Barretero. 2004. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos, en pastizales áridos y semiáridos. *Revista Técnica Pecuaria Mexicana*. 42 (3): 379-395.

- López, F.; Juana I; G. M. Navarro; C. S. González. 2000. Tratamiento de Descontaminación de Materia Orgánica Residual: Límites Alcanzados en Metales Pesados. *Edafología*. 7(3): 151-757.
- Loecke, T. D.; M. Liebman; C. A. Cambardella; T. L. Richard. 2004. Corn growth responses to composted and fresh solid swine manures. *Crop Sci*. 44: 177 – 184.
- Méndez F. 1993. Determinación del área foliar en plantas de caña de azúcar variedad C 323-68. FONAIAP-CENIAP. Vol. 11 N.2
- Montes R., G.; S. Jiménez; H. Solís G. 2005. Lodos Residuales Compostados: Una Alternativa de Sustrato para la Producción de Planta de *Agave durangensis*. *Revista Agrofaz*. 5 (1): 683-688.
- Moreno L.A . , Marin M., Peña D., Toyo, E. Y Sandoval L. 1999. Contenido, materia seca y cenizas en guayabas (*Psidium guajava* L.) cosechados en granjas de municipios de Mava del estado de Zulia. *Revista de la facultad de agronomía de la universidad de Zulia*.
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección Ambiental.- Lodos y Biosólidos. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de agosto de 2003.
- Polanco L., D.; R. Ramírez. 1993. Análisis de crecimiento de dos variedades de maíz bajo la influencia de déficit de oxígeno en el suelo. *Agronomía tropical*, 43 (5-6): 253 – 266.
- Rodríguez, M., A. 2004. Efectos de los biosólidos en un agroecosistema degradado. Tesis. Escuela de Ingeniería Ambiental BUAP. México. [www.tesiteca.buap.mx](http://www.tesiteca.buap.mx) . Consultado el 11 Junio del 2005.

- Rojas G., M.1972. Fisiología vegetal aplicada. Mc Graw Hill, Mexico, 252p.
- Russell, M.P., Wilhelm W.,W. Olson A., R. and Power F., J. 1984. Growth analysis based on degree days. Crop science. 24:28-32.
- Santiago, E. 2000. Apuntes del Curso: Tratamiento de Aguas Residuales. Especialización en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Saltillo.
- Smith, A.; J. J. San José. 1980. Productividad del maíz (*Zea mays* L.) en las condiciones climáticas de los llanos Altos Centrales de Venezuela II. Crecimiento del híbrido Obregón sembrado en la temporada seca. Agronomía Tropical, 29 (5): 439 – 451.
- Smith, E. 1996. Agricultural recycling of sewage sludge and the environment, Cab. International.
- Uribe M., H. R.; H. G. Orozco; S. N. Chávez; V. M. Espino. 2002. Factibilidad Económica del Uso de Biosólidos en el Cultivo de Maíz Forrajero. Memorias del XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México.
- U.S. Environment Protection Agency (EPA). 1999. Biosolids generation, use, and disposal in the United States. EPA530-R-99-009.
- Villalobos J.F., Mateos L., Orgaz F. Y Fereres E. 2002. Fitotécnia. Grupo mundiprensa. 126-127 pag.
- Weidong, L.; M. Tollenaar; G. Stewart; W. Deen. 2004. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. Crop Sci. 44: 847 – 954.

Woo R., J.L. Vázquez A., R. Olivares S., F. 2004. Análisis de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.) aplicando lodos activados y urea. 4(1): 437-441.

Zamora, F.; E. Salcedo; A. Aguayo. 1999. Efecto de la aplicación de lodos residuales como abono orgánico en el cultivo de maíz . Memoria del VIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería y IV Congreso Latinoamericano de Biotecnología y Bioingeniería. Huatulco, Oaxaca, México. 632 pp.