

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

EFFECTO DE LODOS PROVENIENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO SOBRE MAÍZ DULCE(*Zea mays L. var. rugosa*).

TESIS  
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR  
ESTUARDO ARTURO VILLATORO DE LEON

En el acto de investidura como  
INGENIERO AGRÓNOMO  
EN  
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
EN EL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIADO

GUATEMALA, AGOSTO DEL 2005.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

DR. M.V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO

DR. ARIEL ABDERRAMÁN ORTÍZ LÓPEZ

VOCAL PRIMERO

ING. AGR. PEDRO PELÁEZ REYES

VOCAL SEGUNDO

ING. AGR. ALFREDO ITZEP MANUEL

VOCAL TERCERO

ING. AGR. ERBERTO RAÚL ALFARO ORTIZ

VOCAL CUARTO

M.E.P.U. ELMER ANTONIO ALVAREZ CASTILLO

VOCAL QUINTO

P.M.P MIRIAM EUGENIA ESPINOZA PADILLA

Guatemala, agosto de 2005

Honorable Junta Directiva  
Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Señores:

De conformidad con las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de Tesis, titulado:

EFFECTO DE LODOS PROVENIENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO SOBRE MAÍZ DULCE(*Zea mays L. var. rugosa*).

Como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Atentamente,

Estuardo Arturo Villatoro de León

## ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

MIS QUERIDOS PADRES

Sr. Arturo Villatoro y Sra. Celma de Villatoro.

MI AMADA FAMILIA

Mildred, Mariandre, Susanita, Aranza.

MIS HERMANOS

Mynor, Ingrid, Herson, Johan, Margarita, Erick.

MIS SOBRINITOS

Todos.

MI ABUELITA

Consuelo Herrera.

MIS TIOS

Todos.

MIS PRIMOS

Todos.

MIS BUENOS AMIGOS

ya se dan aludidos.

## AGRADECIMIENTOS

A:

DIOS

Mi esposa, Mildred Ruiz                      Por su gran apoyo en la culminación de mis estudios.

Mis padres,

Sr. Arturo Villatoro

Sra. Celma Valenzuela de Villatoro      Por estar siempre a mi lado.

Mis hijas,

Mariandrë , Susana , Aranza              Por su inspiración.

Ing. Oscar Medinilla

Por su decidida colaboración y asesoría.

Dr. Ariel Ortiz

Por su acertada asesoría.

Ing. Domingo Amador

Por su colaboración en la realización.

Dr. David Monterroso

Por su contribución profesional a la obra.

## CONTENIDO

INDICE DE CUADROS.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. MARCO CONCEPTUAL.....	4
3.1.1. LODOS RESIDUALES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS.....	4
3.1.2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	7
3.1.2.1. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	8
3.1.3. FLUJO DE LOS LODOS.....	9
3.1.4. FERTILIZANTE ORGÁNICO.....	10
3.1.5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL <i>Zea mays</i> var. <i>Rugosa</i> .....	10
3.1.5.1. ORIGEN Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL MAIZ.....	10
3.1.5.1.1. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	11
3.1.5.1.2. VARIEDADES Y USOS.....	12
3.1.5.1.3. PARÁSITOS.....	12
3.1.5.1.4. OTRAS APLICACIONES.....	13
3.1.6. NECESIDADES CLIMATICAS Y EDÁFICAS DEL CULTIVO.....	13
A) TEMPERATURA.....	13
B) ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR.....	14
C) SUELO.....	14
D) REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES.....	14
3.2. MARCO REFERENCIAL.....	15
3.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CEDA.....	15
3.2.2. EDAFOLOGÍA DEL ÁREA EN ESTUDIO.....	15
3.2.3. CLIMA.....	15
3.2.4. ZONA DE VIDA.....	15
3.2.5. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL VEGETATIVO.....	17
4. OBJETIVOS.....	18
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	18

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
5. HIPÓTESIS.....	18
6.METODOLOGÍA.....	19
6.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	19
6.1.1. ANALISIS ESTADÍSTICO.....	19
6.2. DEL SUELO.....	19
6.2.1. MATERIAL A EVALUAR.....	20
6.3. SELECCIÓN DE TRATAMIENTOS.....	21
6.4. FUENTES Y NIVELES DE NUTRIMENTO.....	21
6.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	21
6.6. UNIDAD EXPERIMENTAL.....	21
6.7. VARIABLE RESPUESTA.....	22
6.7.1. PRODUCTO TOTAL DE FRUTOS DE MAZORCA OBTENIDO EN KG/HA.....	22
6.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	23
6.8.1. PREPARACIÓN DEL TERRENO.....	23
6.8.2. SEMILLA.....	23
6.8.3. SIEMBRA.....	23
6.8.4. INCORPORACIÓN DE LOS LODOS.....	23
6.8.5. INCORPORACIÓN DEL FERTILIZANTE QUÍMICO.....	23
6.8.6. CONTROL DE PLAGAS.....	23
6.8.7. CONTROL DE ENFERMEDADES.....	24
6.8.8. CONTROL DE MALEZAS.....	24
6.8.9. COSECHA.....	24
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
7.1. RESULTADOS OBTENIDOS.....	25
7.2. ANALISIS DE VARIANZA.....	25
7.3. ANALISIS DE COSTOS.....	29
8. CONCLUSIONES.....	32
9. RECOMENDACIONES.....	33
10. BIBLIOGRAFIA.....	34
ANEXOS.....	37

## INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1</i>	Eliminación de lodos en la Unión Europea en 1992	6
<i>Cuadro 2</i>	Valores límite para elementos potencialmente tóxicos, dados por la Directiva 86/278/EEC	7
<i>Cuadro 3</i>	Valores promedio de nutrientes removidos por el maíz	13
<i>Cuadro 4</i>	Propiedades físicas, químicas y disponibilidad de nutrientes del suelo en los campos del CEDA, Guatemala	19
<i>Cuadro 5</i>	Composición del efluente	20
<i>Cuadro 6</i>	Composición del efluente analizado como material orgánico	20
<i>Cuadro 7</i>	Tratamientos a evaluar en el experimento.	21
<i>Cuadro 8</i>	Rendimiento en Kg./Ha de elote fresco de maíz dulce( <i>Zea mays</i> L. var. <i>Rugosa</i> ) en los Campos del CEDA.	25
<i>Cuadro 9</i>	Análisis de varianza para el rendimiento en Kg./Ha de elote fresco de maíz dulce en los campos del CEDA, Guatemala 2004.	28
<i>Cuadro 10</i>	Costos promedio por tratamiento en quetzales por hectárea .	29
<i>Cuadro 11</i>	Ingresos promedio por tratamiento en quetzales por hectárea.	31
<i>Cuadro 12</i>	Relación beneficio / costo promedio por tratamiento.	31
<i>Cuadro 13</i>	Resultados obtenidos de peso fresco de fruto de maíz dulce en libras por parcela neta y en Kg./Ha por tratamiento.	38



## INDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1</i>	Croquis de ubicación	16
<i>FIGURA 2</i>	Diagrama de flujo de circulación de los lodos dentro de la planta	9
<i>FIGURA 3</i>	Tamaño y forma de la unidad experimental, parcela bruta y neta.	22
<i>FIGURA 4</i>	Producción de maíz dulce en Kg./Ha	26
<i>FIGURA 5</i>	Producción media entre tratamientos en Kg./Ha de maíz dulce	27

EFFECTO DE LODOS PROVENIENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO SOBRE MAÍZ DULCE  
(*Zea mays* L. var. rugosa)

EFFECT OF TREATMENT PLANTS MUDS ON SWEET CORN (*Zea mays* L. var. rough)  
PRODUCTION

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se realizó en los campos del centro experimental docente de la Facultad de Agronomía(C.E.D.A), donde se evaluaron, los lodos efluentes, provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales(del tipo secundario), de la colonia El Mezquital zona 12 de la capital. utilizándolos como fertilizante alternativo en el cultivo de maíz dulce. Dicha planta funcionan actualmente bajo la supervisión de profesionales de La Autoridad Para el Manejo Sustentable de la Cuenca de Amatitlan(AMSA), entidad gubernamental. Estos lodos se utilizaron como alternativa orgánica al uso convencional de Urea al 46% en la fertilización de maíz dulce. Utilizando como diseño experimental el de bloques al azar, en tres dosis,(T1=23.4 ,T2=31.25,T3=39 Ton/Ha) y urea como testigo(T4). Comparando los rendimientos en Kg/Ha de producción de maíz dulce(elote), entre tratamientos y el T4(testigo).

Concluyendo que estadísticamente no existe diferencia significativa entre los tratamientos y el testigo del experimento, recomendando el tratamiento T1 que es el de menor costo con una rentabilidad del 26%. Que estos lodos no tienen efectos negativos y buenas propiedades como fertilizante en la producción de maíz y suponen una reconversión muy viable desde el punto del reciclaje.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca de el Lago de Amatitlán(AMSA), esta invirtiendo recursos para la recuperación de 10 plantas de tratamiento de aguas residuales ya existentes en la periferia de la ciudad capital, reactivando para el año 2003, aquellas que no estaban funcionando o lo hacían de manera deficiente, esto por el costo elevado que sugiere el mantenimiento de este tipo de plantas. La estrategia de AMSA es contratar profesionales de diversas especialidades, para lograr un manejo económico y práctico, que logre un funcionamiento adecuado a las necesidades y recursos con que cuenta, debido a que dichas plantas manejan procesos primarios y secundarios en la depuración de estos efluentes. De las plantas de tratamiento que actualmente funcionan en la cuenca de Amatitlán las de Villalobos I y la de el Mezquital realizan un tratamiento del tipo secundario, de la siguiente manera(1): a) canal de entrada(desarenador); b) sedimentador primario Inhoff; c) filtros biológicos 3 unidades; d) sedimentador secundario Inhoff –agua doméstica tratada; e) digestor de lodos(biodigestores); f) patio de secado de lodos; y g) sólidos tratados

Estos procesos de depuración producen lodos residuales que son secados y acumulados a granel, dentro y en los alrededores de las plantas, los lodos son utilizados por algunas personas que le atribuyen propiedades fertilizantes en tierras de cultivo; pero no se ha evaluado si esto es totalmente cierto, por ello, esta investigación pretende establecer el potencial de estos lodos, que cuentan con propiedades fertilizantes en el desarrollo de actividades agrícolas, comprobándose que afirmativamente poseen esta característica.

Para probar el uso potencial que se obtendrían de estos lodos residuales tomando en cuenta las normativas internacionales de saneamiento y seguridad alimentaria para establecer su uso racional, se realizaron análisis de laboratorio del suelo y de los lodos; para conocer los contenidos de nutrimentos, materia orgánica(M.O.), capacidad de intercambio catiónico(CIC). La metodología consistió en la utilización de los efluentes provenientes de plantas que realizan tratamiento del tipo secundario (biodigestores), y que son secados en patios, proceso que se realiza en la planta de Villalobos I, esto por el tipo de efluentes con que trabaja, que son de origen doméstico y para evitar que puedan sobrevivir, bacterias, virus, protozoarios(quistes), gusanos(huevos) y patógenos que puedan perjudicar a el suelo o el cultivo. Para su uso agrícola se evaluaron los lodos en el rendimiento en Kg/Ha del fruto del maíz dulce (*Zea mays var. rugosa.*), por ser un híbrido que exige altos niveles de nitrógeno, alta resistencia a enfermedades y con desarrollo fenológico relativamente corto, utilizando tres dosis de lodos ( 23.4, 31.25 y 39 Ton/ Ha) en comparación con una fertilización normal con urea al 46% , en los campos del Centro Experimental Docente de Agronomía(CEDA), de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Utilizando el diseño estadístico completamente al azar, en un área de terreno de 310 metros cuadrados,

conteniendo 1,200 plantas de maíz , dividas estas en 20 parcelas brutas, con 20 plantas por parcela neta que fueron evaluadas(400 plantas en total), contando el peso del fruto fresco expresado en Kg/Ha. A los 90 días del transplante en el campo. Realizando el experimento de Febrero a mayo del presente año.

## 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca de Amatlán (AMSA), maneja una serie de 10 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. El proceso del tratamiento de las aguas servidas conlleva la producción de lodos residuales efluentes. Estos lodos no son utilizados por AMSA, acumulándolos en los patios de secado de las plantas. Los lodos excedentes no utilizables, al acumularse pueden llegar a revertir el proceso de saneamiento ambiental al provocar el deterioro del entorno por saturación en lixiviados en las aguas subterráneas y polución del aire por partículas arrastradas por los vientos.

Varios autores coinciden en que durante el manejo de los lodos efluentes existe un común denominador que determina su disposición final: “costos del tratamiento de las aguas”(31, 13). Para bajar dichos costos, los lodos frescos son vertidos en rellenos sanitarios, utilizados para la elaboración de compost o incinerados. AMSA, opta únicamente por deshidratar los lodos en patios de secado, con lo cual reducen los costos de manejo. Concluyendo el proceso apilándolos deshidratados dentro de las instalaciones de las plantas, sin que estos se incorporen al suelo o a otros sistemas, para cerrar el círculo de reciclaje.

En varios estudios realizados en Suiza, Holanda, México y Estados Unidos, se determinó que los lodos contienen elementos fertilizantes que podrían brindar un aporte significativo de nutrientes a los cultivos agrícolas(24, 31, 10, 16, 15). Así mismo contiene materia orgánica(M.O.), no tienen problemas de malos olores y son buenos formadores de suelos.

Con la evaluación agronómica de los lodos residuales en el rendimiento en Kg./Ha del cultivo del maíz dulce, se establece su uso potencial como un fertilizante orgánico. Con ello se dará a los lodos efluentes el último paso dentro de la cadena en el reciclaje, de manera segura, reduciendo su acumulación indebida, reincorporándolos racionalmente como un nuevo elemento en la agricultura, lo que mejorará los ingresos económicos de los agricultores y AMSA, con la posibilidad de reducción en los costos del manejo dentro de las plantas tratamiento. Así como apertura de puestos de trabajo directos e indirectos para la agroindustria.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. MARCO CONCEPTUAL

##### 3.1.1. LODOS RESIDUALES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Dentro de los programas del proceso de planificación hidráulica, sobre el manejo de cuencas, explotación y deterioro, se consideran tres aspectos que son los que indican el tipo de tratamiento a que se someterán éstas aguas lavadas, a saber: a) aguas servidas de uso doméstico; b) industrial y; c) hospitalario(18).

La utilización de lodos secos no presentan problemas de malos olores, así mismo manifiestan un valor agrícola a saber:

1. C, O, H
2. N, P, K, Ca, Mg, Fe, y azufre
3. Bo, Mn, Zn, Cu

Otros elementos que pueden ser no beneficiosos, como I(yodo), F(fluor), Na(sodio). Los sólidos tienen elementos fertilizantes y buenos formadores o acondicionadores del suelo. Los compuestos de Nitrógeno, el humus y agua, determinan las propiedades, su utilidad es recomendada como fertilizante para diferentes cosechas, y se puede determinar en forma plena, solo realizando pruebas en el campo, considerándose buenos los lodos secados por calor(fermentación) en biodigestores ya que en el secado al aire pueden sobrevivir, bacterias, virus, protozoarios(quistes), gusanos(huevos) y patógenos(15). En un biodigestor no se pierde el nitrógeno volátil, tanto por lo hermético del sistema, como por tener baja temperatura, así como también por fijarse en componentes orgánicos. Así mismo no se lixivian las hormonas y los micro nutrientes, no hay combustión de las vitaminas y minerales en reacciones termófilas como la fermentación aeróbica. Lo mas recomendable es usar los efluentes en forma pura(28).

Según FAO(16) la experiencia ha demostrado que es posible lograr una utilización sostenida y ambientalmente racional de los residuos cuando:

- a) Se conocen las cantidades y características de los residuos.
- b) Las tecnologías son compatibles con la economía y la cultura local y es posible aplicarlas.
- c) La elaboración de los residuos puede llevarse a cabo en la localidad en que se generan.
- d) Existe un mercado de los residuos para el producto final resultante.
- e) No se originan residuos secundarios que causan graves problemas ambientales y sociales.
- f) Existe un programa adecuado de asistencia técnica.

g) Proporciona un beneficio económico a quienes llevan a cabo el reciclaje y consumen el producto(16).

Todos los países europeos han utilizado estas vías de eliminación en diversos grados. El cuadro 1 muestra los datos estadísticos para 1992.

La posibilidad de reintegración de los desechos naturales en forma segura, al suelo, combinándolo en compost, para reuso, para procesar fertilizantes o incinerados. Es inevitable, que los residuos industriales sean reducidos al máximo o que sean reutilizables, mediante controles municipales o cánones por el uso de los recursos(cargas económicas)(6).

**Cuadro 1. Eliminación de lodos en la Unión Europea en 1992(5).**

País	Cantidad (x1000 toneladas secas por año)	Agricultura (%)	Transporte a vertederos (%)	Incineración (%)	Vertido al mar (%)	Otros (p.ej. silvicultura) (%)
Austria	170	18	35	34	0	13
Bélgica	59	29	55	15	0	1
Dinamarca	170	54	20	24	0	2
Finlandia	150	25	75	0	0	0
Francia	865	58	27	15	0	0
Alemania	2680	27	54	14	0	5
Grecia	48	10	90	0	0	0
Irlanda	37	12	45	0	35	8
Italia	816	33	55	2	0	10
Luxemburgo	8	12	88	0	0	0
Holanda	335	26	51	3	0	20
Noruega	95	57	43	0	0	0
Portugal	25	11	29	0	2	58*
España	350	50	35	5	10	0
Suecia	200	40	60	0	0	0
Suiza	270	35	30	25	0	0
Reino Unido	1107	44	8	7	30	11

*Eliminación a aguas superficiales*

Fuente: Adaptado de P. Matthews y K.-H. Lindner, "European Union" en *A Global Atlas of Wastewater Sludge and Biosolids Use and Disposal*. P. Matthews (ed.), Scientific and Technical Report n°4, IAWQ, UK, 1996(2).

Con frecuencia, la aplicación de lodos residuales a tierras de cultivo, es, posiblemente, el método de eliminación más barato. Se puede comparar con lo que se hace tradicionalmente con una amplia gama de

residuos orgánicos que se esparcen en las tierras de cultivo, como el estiércol o los residuos de ganadería. Ofrece una oportunidad para reciclar nutrientes de las plantas y materia orgánica beneficiosos para las cosechas. Sin embargo, hay que tener cuidado de que los contaminantes químicos o patógenos presenten en los lodos 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 cultivadas. Por tanto, las aplicaciones repetidas de lodos aumentarán gradualmente el contenido en elementos traza del suelo. Según la tasa de 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(14).

**Cuadro 2: Valores límite para elementos potencialmente tóxicos, dados por la Directiva 86/278/EEC(5).**

Parámetro	Valores límite en suelos (mg/Kg. de suelo seco)	Valores límite en lodos residuales (mg/Kg. de sólidos secos)
Cadmio	<b>1 - 3</b>	<b>20 – 40</b>
Cobre	<b>50 - 140</b>	<b>1000 – 1750</b>
Níquel	<b>30 - 75</b>	<b>300 – 400</b>
Plomo	<b>50 - 300</b>	<b>750 – 1200</b>
Zinc	<b>150 - 300</b>	<b>2500 – 4000</b>

La información científica disponible apoya la conclusión de que es improbable que se produzcan efectos perjudiciales para la salud humana, derivados de la utilización de lodos en agricultura(1, 2, 4, 5, 6, 8, 14). Los principales metales pesados que pueden ser peligrosos son Cd(cadmio), Pb(plomo) y Hg(mercurio). Plomo y mercurio no se absorben en absoluto en los cultivos y, por tanto, no plantean riesgos en la ingestión de productos alimenticios cultivados en suelos a los que se han aplicado lodos(31). Por su parte, el cadmio atraviesa la barrera suelo-planta y puede acumularse en los cultivos en concentraciones que podrían ser potencialmente peligrosas(31),(14),(6). Sin embargo, la capacidad de absorción de las plantas depende de las propiedades del suelo y de las prácticas agrícolas. Los productos que presentan más riesgo de acumulación son las espinacas, los apios, las lechugas y las zanahorias(14),(6). La aplicación de lodos a las tierras de cultivo pretende obtener las máximas ventajas de la capacidad del suelo para asimilar, atenuar y destoxificar a los contaminantes. La Organización Mundial de la Salud (OMS) opina que, cuando la aplicación se realiza adecuadamente, se puede conseguir que la acumulación de contaminantes en el suelo no alcance niveles peligrosos para la salud humana. La contaminación de las aguas subterráneas por lixiviación de los nitratos de los suelos tratados con lodos, es, probablemente el efecto más importante derivado de la utilización de



lodos en agricultura, en el contexto de la actual legislación medioambiental(6). Sin embargo, admitiendo que la cantidad total de nitratos (procedentes del lodo y de otras fuentes) permanezca de acuerdo con las necesidades de nitrógeno de los cultivos, la contaminación por nitrato de las aguas subterráneas debe permanecer a un nivel mínimo. La OMS concluye que no se deben establecer límites numéricos para el contenido en nitrógeno de los lodos residuales(14).

La situación subraya la necesidad de garantizar la seguridad de la aplicación de lodos a las tierras de cultivo y tranquilizar a quienes ya la realizan o pueden realizarla en el futuro. A este fin, es importante la calidad de los lodos, comenzando en el vertido de las aguas residuales a las cloacas, y es necesario exigir un control eficaz de esa calidad. Se precisa más investigación sobre los efectos de los sistemas de aplicación en agricultura y de incineración en el medio ambiente, y también una sólida coordinación científica para dirigir las investigaciones actuales( 24, 31, 14, 30).

La importancia de los abonos orgánicos e inorgánicos, radica en que deben aplicarse a un determinado cultivo para obtener rendimientos óptimos, así como reducir costos y el uso de menos fertilizante químico(7). De los autores consultados, varios, concluyen con que el estiércol es una de las fuentes de abono orgánico para el suelo, recomendando aplicaciones desde 20 hasta 30 Ton/Ha de estos abonos(13, 16, 7).

### 3.1.2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las 10 plantas de tratamiento que actualmente funcionan en la cuenca de Amatlán, 3 realizan un tratamiento del tipo secundario de la siguiente manera(1):

- A-canal de entrada(desarenador)
- B-sedimentador primario Inhoff
- C-filtros biológicos 3 unidades
- D-sedimentador secundario Inhoff –agua doméstica tratada
- E-digestor de lodos(biodigestor de flujo continuo)
- F-patio de secado de lodos
- G-sólidos tratados

### 3.1.2.1 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

#### Guardianía:

Vigilan los alrededores e interiores de las plantas las 24 horas al día.

#### Mantenimiento:

Chapeo, limpieza de áreas verdes, revisión continua de todas las unidades de la planta para prevenir su deterioro y garantizar su perfecto funcionamiento

Pintura de unidades de acuerdo a indicadores del supervisor.

#### Operación:

Tratamiento preliminar:

Canal de rejillas.

Desarenador, cierre y apertura de compuertas, remoción de arenas, limpieza y reparaciones.

Medidor de caudales, medición mañana-tarde-noche todos los días.

#### Tratamiento primario:

Sedimentador primario, limpieza y remoción de natas y grasas, purga de lodos y toma de muestras, reparación de rejillas y estructuras.

#### Tratamiento secundario:

Filtros biológicos, limpieza, control de caudal, remoción de sedimentos, revisión, reparación en tubos, llaves, válvulas, limpieza interna de tubos de los filtros percoladores una vez al mes(1).

#### Sedimentador secundario:

remoción de natas, purga de lodos, captación de agua tratada y limpieza.

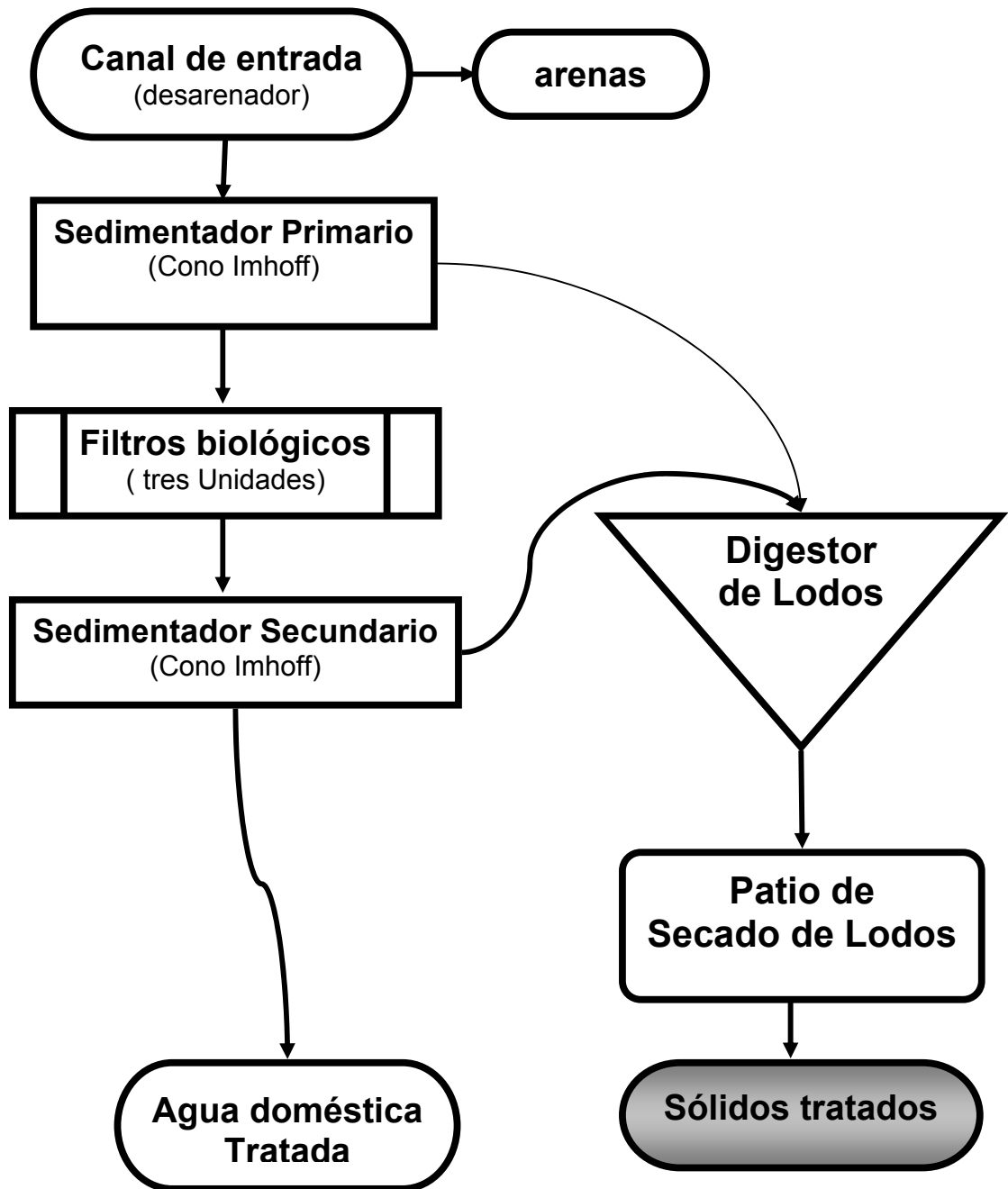
Digestor anaerobio: purga, secado y extracción de los lodos(1).

#### Secado de lodos:

Patios de secado, llenado , secado y extracción de los lodos.

### 3.1.3. FLUJO DE LOS LODOS

Lodos provienen de la planta de tratamiento ubicada en la colonia mezquital denominada como Villalobos I, donde las aguas servidas de uso domestico reciben un tratamiento del tipo secundario, el cual se describe a continuación en la figura 2.:



**Figura 2.** Diagrama de flujo de circulación de los lodos dentro de la planta.(1)

### 3.1.4. FERTILIZANTE ORGÁNICO

Se define como fertilizante orgánico, a todas las sustancias de origen vegetal, animal, o mixto, que se añaden al suelo con el fin de mejorar su fertilidad y productividad. Desde tiempos remotos se le ha dado importancia a la incorporación de materia orgánica al suelo, debido a que mejora su estructura y provee nutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos. La fertilización orgánica constituye una técnica tradicional muy eficaz, para mejorar la productividad de los cultivos, ya que mediante este sistema se añaden al suelo sustancias necesarias para las plantas, no obstante, la proporción de nutrientes no es siempre la más adecuada, por lo que se requiere el uso complementario de fertilizantes inorgánicos según el Manual de fertilizantes. ESTADOS UNIDOS NATIONAL PLANT FOOD INSTITUTE. 1982. México. Limusa

La presencia de materia orgánica(M.O.), asegura una gran cantidad de bacterias beneficiosas, lo cual es necesario y esencial, debido al papel que desempeñan los microorganismos en la descomposición de esta M.O. vegetal y animal como su conversión en humus, dicha descomposición libera también ácido carbónico y eleva el pH del suelo, lo que favorece la asimilación de ciertos nutrientes insolubles para las plantas, mejorando así la disponibilidad de nutrientes que los cultivos necesitan para un buen rendimiento. Por otra parte, el agotamiento rápido del carbono orgánico en la capa arable del suelo, a razón de 5 a 10 por ciento anual, produce efectos dañinos en los cultivos, por lo tanto los investigadores coinciden en tratar de mantener un nivel adecuado de materia orgánica en el suelo(16).

### 3.1.5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL *Zea mays* L. var rugosa

#### 3.1.5.1. ORIGEN Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL MAÍZ DULCE

En los Estados Unidos es donde posiblemente se ha hecho más trabajo genético para producir cultivares comerciales de maíz dulce. Estos cultivares aparecieron alrededor de los años 30's del siglo pasado, pero solo en los últimos 50 años han llegado a ser una hortaliza sofisticada por la creación de híbridos F1 con adaptación muy localizada. Esos cultivares norteamericanos son actualmente casi todos híbridos F1 donde la precocidad, la calidad intrínseca y la resistencia son factores incorporados genéticamente.

En América Central y el Caribe las primeras "variedades" reconocidas como tales en las décadas de los 40's y 50's del siglo pasado, fueron USDA 34. originada en Puerto Rico; Pajimaca, originada en Cuba; Chirrido dulce, originada por selección masal en el IICA, en Turrialba.

Antes que los híbridos tomaran tanta importancia en Estados Unidos la variedad Goleen Bantam de polinización abierta era el maíz dulce más popular en este país(26).

El Maíz es una planta originaria de América, habiéndose encontrado diversidad de especies nativas y silvestres así como especies domesticas. Maíz, nombre común de una gramínea muy cultivada como alimento y como forraje para el ganado. El nombre proviene de las Antillas. Con el trigo y el arroz, el maíz es uno de los cereales más cultivados del mundo.

### 3.1.5.1.1. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Ernesto Cáceres describe al maíz como *Zea mays* var *rugosa*. Por que en estado seco, o sea en grano se distingue del maíz común en que el grano es arrugado o “rugoso” y no liso como la mayoría de tipos de maíces(26). Su clasificación botánica es la siguiente:

DIVISIÓN	Magnolipyta
CLASE	Liliopsida
SUBCLASE	Commelinidae
ORDEN	Cyperales
FAMILIA	Poaceae
GENERO	<i>Zea</i>
ESPECIE	<i>Zea mays</i> L. Var. <i>rugosa</i>

*Fuente: Cronquist, A. 1981. an integrated system of clasification of flowering plants. Columbia University, herbario de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.(3)*

De acuerdo a las clasificaciones taxonómicas, el maíz es la especie *Zea mays*, perteneciente a la familia Poaceae(Gramíneas).

El maíz forma un tallo erguido y macizo, una peculiaridad que diferencia a esta planta de casi todas las demás gramíneas, que lo tienen hueco. La altura es muy variable, y oscila entre poco más de 60 cm en ciertas variedades enanas y 6 m o más; la media es de 2,4 m. Las hojas, alternas, son largas y estrechas. El tallo principal termina en una inflorescencia masculina; ésta es una panícula formada por numerosas flores pequeñas llamadas espículas, cada una con tres anteras pequeñas que producen los granos de polen o gametos masculinos. La inflorescencia femenina es una estructura única llamada mazorca, que agrupa hasta un millar de semillas dispuestas sobre un núcleo duro. La mazorca crece envuelta en unas hojas modificadas o brácteas; las fibras sedosas o pelos que brotan de la parte superior de la panocha o mazorca son los estilos prolongados, unidos cada uno de ellos a un ovario individual. El polen de la panícula masculina, arrastrado por el viento (polinización anemófila), cae sobre estos estilos, donde germina y avanza hasta llegar al ovario; cada ovario fecundado crece hasta transformarse en un grano de maíz(27).

### 3.1.5.1.2. VARIEDADES Y USOS

Las variedades o tipos genéticos de maíz dulce pueden ser :

**a.** normal “Sugary” (SU); son híbridos tradicionales de maíz dulce, con un promedio de 5-10% de azúcares, hasta un 19%. La conversión de azúcares a almidones es rápida.

**b.** Sugar Enhanced (SE); las variedades “SE” tienen niveles de azúcar entre los tipos su y sh-2. la conversión de azúcares a almidones es igual de rápida como en los tipos su.

Con un promedio de 18% a 26% de sacarosa . puede ser almacenado hasta 10 días en condiciones apropiadas de refrigeración a 38 grados Fahrenheit, el grano es cremoso, necesita 13 grados centígrados de temperatura del suelo para ser plantado.

**c.** Shrunken (SH-2); las variedades con el gen “SH-2” se llaman “súper dulces” y tienen la característica de tener 2 a 3 veces el contenido de azúcares de las variedades tradicionales “SU”, generalmente no son muy cremosos y el pericarpio del grano tiende a ser más granudo, la conversión de azúcar a almidón tiende a ser mucho más lenta que en los otros tipos de maíces. Tienen una vida poscosecha más prolongada que los tipos de maíces dulces “SU” y “SE”.

Con un promedio de 25 a 30% de sacarosa, 40 a 50% de azúcares totales, puede ser almacenado hasta 30 días en condiciones apropiadas de refrigeración(4 grados centígrados). Este tipo de maíz necesita 16 a 18 grados centígrados de temperatura en el suelo durante las primeras 24 horas después de plantado(26).

La producción mundial de maíz en el año 1998 ascendió a más de 604 millones de toneladas anuales; por volumen de producción, el maíz ocupa el primer lugar seguido del trigo y el arroz. A lo largo de la década de 1980, la producción de esta especie experimentó un crecimiento neto de casi el 11%, debido al cultivo intensivo y a la abundante aplicación de fertilizantes y herbicidas. Estados Unidos es el primer productor, y acumula más del 40% de la producción mundial. China, Brasil, Argentina y México son otros importantes países maiceros(27).

### 3.1.5.1.3. PARÁSITOS

El maíz está expuesto al ataque de numerosos parásitos e insectos. Un importante grupo de hongos ataca las raíces, los tallos y las mazorcas y provoca una podredumbre que merma el rendimiento y daña la calidad del grano. El tizón del maíz (*Helminthosporium sp.*) se debe a la acción de un hongo parásito que forma una gran masa de micelios en varios lugares de la planta (tallos e inflorescencias masculinas y femeninas); al madurar, el micelio se transforma en una masa de esporas negras. También atacan al maíz varios hongos que causan lesiones en las hojas y disminuyen el rendimiento. El mosaico y el raquitismo son

dos importantes enfermedades del maíz causadas por virus que transmite la cigarrilla; si el virus ataca a la planta en una etapa precoz, la merma del rendimiento puede ser grave. El gusano del fruto del maíz (*Heliothis zea Boddie*), se alimenta de los granos, que devora desde el interior de la mazorca. El minador europeo ataca sobre todo los tallos. En años recientes ha causado pérdidas cuantiosas el gusano de la raíz, una pequeña larva de un escarabajo crisomélido que se alimenta de las raíces de las plantas jóvenes.

#### 3.1.5.1.4. OTRAS APLICACIONES

El maíz se utiliza para consumo humano pero principalmente para alimentar el ganado (cerdos, ganado vacuno y aves de corral). Además tiene un gran número de aplicaciones industriales como la producción de glucosa, alcohol o la obtención de aceite y harina(27).

La mazorca de maíz y sus desechos, hojas, tallos, raíces y orujos contiene gran cantidad de furfural, un líquido utilizado en la fabricación de fibras de nailon y plásticos de fenol-formaldehído, el refinado de resinas de madera, la obtención de aceites lubricantes a partir del petróleo y la purificación del butadieno para producir caucho sintético. Con las mazorcas molidas se fabrica un abrasivo blando. Con las mazorcas de gran tamaño de cierta variedad se hacen pipas para tabaco. El aceite de maíz, extraído del germen del grano, se consume como grasa alimenticia, tanto para cocinar como crudo o solidificado, en forma de margarina; también se emplea en la fabricación de pinturas, jabones y linóleo. La investigación de nuevas fuentes de energía se ha fijado en el maíz; muy rico en azúcar, a partir de él se obtiene un alcohol que se mezcla con petróleo para formar el llamado gasohol; las partes vegetativas secas son importante fuente potencial de combustible de biomasa. En la medicina popular caribeña se usa un líquido obtenido de la cocción de los estigmas de las flores femeninas como un buen diurético.

#### 3.1.6. NECESIDADES CLIMATICAS Y EDAFICAS DEL CULTIVO

##### A) TEMPERATURA

Para el cultivo, requiere temperaturas que fluctúen entre 18 a 25 grados centígrados. Temperaturas por debajo y encima de este rango, provocan desórdenes fisiológicos relacionados con la maduración del polen y polinización, por debajo de los 15 grados no se recomienda la siembra por ser muy susceptible a heladas.

**B) ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR**

En relación con los requerimiento de temperatura, el ,maíz encuentra condiciones adecuadas para su cultivo en lugares comprendidos entre 0 a 3000 msnm.

**C) SUELO**

El cultivo del Maíz se adapta a diferentes tipos de suelos, pero prefiere suelos profundos, de 30 a 60 centímetros de profundidad, de ser posible que sean francos, franco arenoso, franco limosos ó franco arcillosos, con alto contenido de materia orgánica y que sean bien drenados.

El cultivo del Maíz, se adapta y desarrolla en suelos con pH desde 5.5 a 7.0, aunque hay que considerar que en suelos con pH de 5.5 hay necesidad de hacer enmiendas. Por debajo ó arriba de los valores indicados no es recomendable la siembra del cultivo del Maíz, por verse afectada la disponibilidad de nutrientes.

Los requerimientos nutricionales del cultivo de Maíz, dependerán si es variedad o híbrido. La exigencia nutricional de una variedad, es menor que la de un híbrido y para ambos el requerimiento nutricional dependerá de:

- a. Del volumen de rendimiento esperado por área (Kg/Ha.)
- b. Los Kg./Ha., de absorción de los elementos nutricionales que el cultivo obtiene o subtrae del suelo.
- c. El poder genético de producción que tiene el material y la necesidad nutricional que él mismo exige.
- d. La disponibilidad de elementos nutritivos que están en el suelo y el balance que debe de mantenerse.

**D) REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES**

Según (CATIE)(1990) los elementos nutricionales críticos para el cultivo del Maíz en el área de Centro América son: Fósforo(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), Calcio(Ca), Magnesio(Mg), Zinc(Zn), Boro(B) y Nitrógeno(N). Todos los elementos son necesarios e indispensables, pero el Fósforo y el Nitrógeno son elementos con los cuales hay mayor respuesta del cultivo(cuadro 3).

**Cuadro 3.** Valores promedio de nutrientes removidos por el maíz.

Producción	Kg./ha.											
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	Ca	Mg	C	B	Cu	Fe	Mn	Z
	181	68.1	95.3	16	8	12	8	.16	.07	1.46	.14	.18



## 3.2.MARCO REFERENCIAL

### 3.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CEDA

La experiencia de campo se llevo a cabo en los campos del Centro Experimental Docente de Facultad de Agronomía(CEDA), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, situados al sur de la capital de Guatemala de la Ciudad Universitaria en la Zona 12, a; 14°35'11" latitud Norte, 90°35'58" Longitud oeste. En uno de los campos de cultivo ubicados en el CEDA, donde se desarrolló el ensayo( **Figura 1**).

### 3.2.2. EDAFOLOGÍA DEL ÁREA EN ESTUDIO

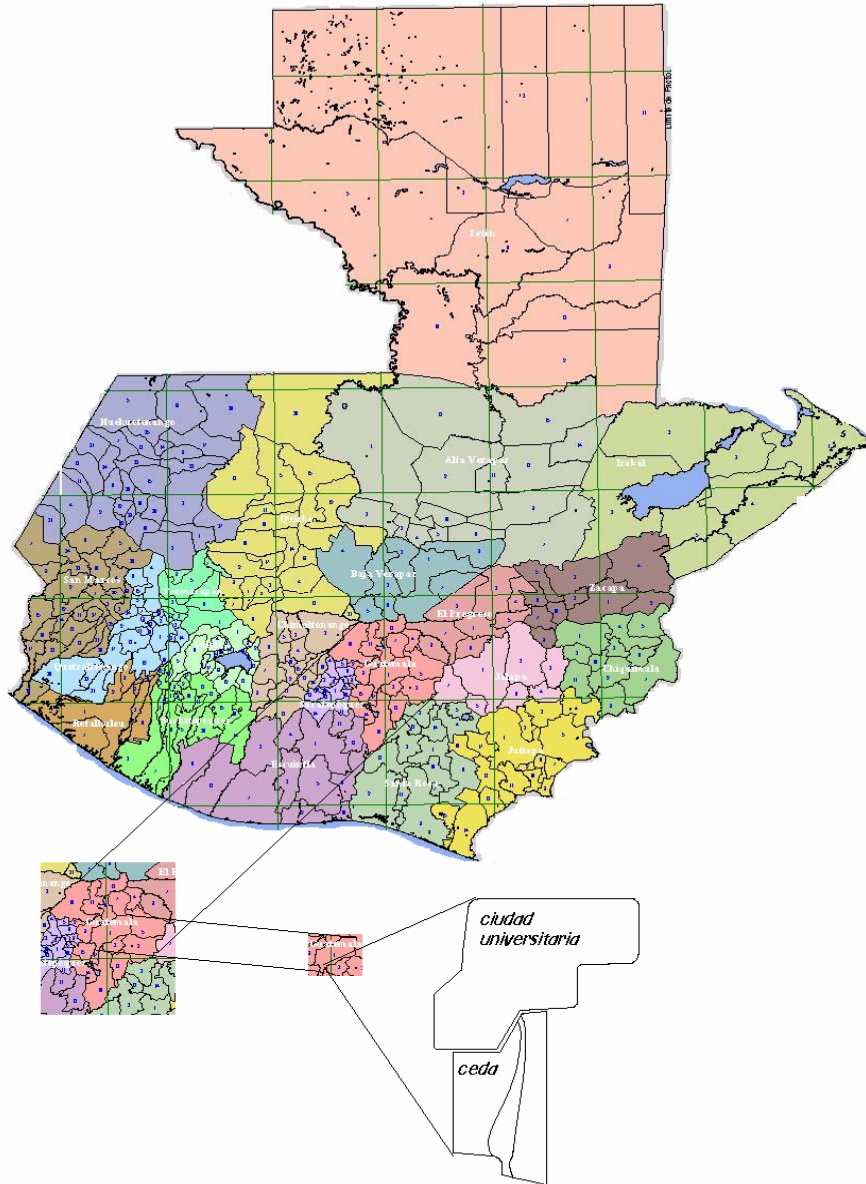
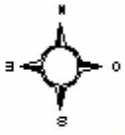
Uso para cultivo de maíz, pedregosidad; ninguna, material originario; ceniza volcánica cementada, erosión; hídrica, laminar, fuerte. Escasamente drenado, muy duro en seco, friable en húmedo, adhesivo y plástico en mojado(8).

### 3.2.3. CLIMA

Zona caracterizada por una temperatura media anual de 20.4 grados centígrados; con una máxima de 25.6 y una mínima de 17.8 grados centígrados. Esta a una altura de 1,502 m sobre el nivel del mar. La zona tiene una precipitación promedio anual de 1,216. mm. Distribuidos en el período de mayo a Octubre, registrándose una humedad relativa promedio de 79% anual, además registra una evapotranspiración potencial entre 1.00 – 0.50 y una biotemperatura media anual de 12 y 18.3 grados centígrados(8).

### 3.2.4. ZONA DE VIDA

Según De La Cruz(12), de acuerdo al sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, el área donde se realizará la investigación se incluye dentro de la zona de Bosque húmedo sub-tropical templado(bh-S(t)).



*Figura 1. Croquis de ubicación del área experimental.*

### 3.2.5. CARACTERISTICAS DEL MATERIAL VEGETATIVO.

El material vegetativo de maíz dulce que se utilizó en la evaluación, es el híbrido conocido como “GSS 4644”, el cual presenta las siguientes ventajas:

- A- Alto rendimiento de semilla.
- B- Mazorcas erguidas, con filas de granos bien alineados y refinados.
- C- Mazorcas de longitud uniforme.
- D- Plantas de crecimiento adecuado bajo condiciones favorables.
- E- Tolerancia a enfermedades.

Este híbrido es del Tipo Sh2(Gene “shrunkn” superdulce). Presenta tolerancia a la Roya Norteña de la hojas(*Helminthosporium spp.*), al Carbón o Tizón común(*Puccinia sorghi S.*) y al marchitamiento Bacteriano o enfermedad de Stewart(*Erwinia spp.*). El uso de esta clase de maíz dulce es directamente para comercializarse en fresco o para industrializarlo.

#### 4. OBJETIVOS

##### 4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de lodos residuales como un fertilizante alternativo en la agricultura.

##### 4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

4.2.1. Conocer efectos de lodos residuales, al aplicarlos como fertilizantes en la producción de maíz (*Zea mays*) en Kg./Ha, comparados con los rendimientos de la fertilización con urea.

#### 5. HIPÓTESIS

Dado que los lodos residuales del tratamiento de aguas servidas son ricos en nutrientes, el rendimiento de maíz será igual fertilizándolo con lodos residuales y con fertilizantes químicos.

6. METODOLOGÍA

6.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.1.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza(ANDEVA), correspondiente al Diseño Completo al Azar para el rendimiento del peso fresco en Kg./Ha, con un nivel de significancia del 5%, comparación de medias, prueba de TUKEY al 5% de significancia.

El modelo estadístico para la interpretación de los resultados a nivel de campo es el siguiente:

$$Y_{ij} = M + T_i + E_{ij}$$

a)  $i = 1,2,3,4$  = sistemas de fertilización

b)  $j = 1,2,3,4,5$  = repeticiones

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta de la ij-ésima unidad experimental, peso fresco

$M$  = Media general

$T_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento

$E_{ij}$  = Efecto del error experimental asociado a ij-ésimo unidad experimental

6.2. DEL SUELO

para corroborar la información existente sobre el área experimental, se elaboró un muestreo de suelos, obteniéndose una muestra compuesta del suelo del área en donde se trabajo, obteniéndose los resultados que se detallan en el *cuadro 4*.

**Cuadro 4.** propiedades físicas, químicas y disponibilidad de nutrientes del suelo en los campos del CEDA, Guatemala.

%	pH	Mg/ml		Meq/100 ml			Ca/Mg	Ca+Mg	Clase	
		P	Ca	Mg			/K			
M.O.		K	CIC	Na						
3.14	6.2	0.15	71	7.19	3.66	27.21	0.28	1.96	0.153	franco arcilloso

fuentes: Análisis efectuados en el laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, USAC.2003

### 6.2.1. MATERIAL A EVALUAR

El lodo utilizado en la investigación fue suministrado por la planta de tratamiento de aguas Villalobos I, ubicada en la colonia El Mezquital, zona 12 de la capital. Este lodo procede de un efluente inicial compuesto por desechos humanos, aguas de lavado de instalaciones junto con sosa, empleados como productos de limpieza. Dicho efluente recibe un tratamiento biológico de depuración (biodigestores) que lo convierte en un lodo semilíquido, sedimentado físicamente (la cal es un floculador natural), y secado en patios al aire libre. Se obtuvo una muestra representativa y se realizó el análisis químico como abono orgánico, para conocer su estado nutricional, cuyas principales características aparecen en los análisis de laboratorio realizados por AMSA para determinar la concentración de nutrientes para la fuente de abono a utilizar (lodos), en estado seco, como lo indican los cuadros 5 y 6:

**Cuadro 5.** Composición del efluente.

pH		5.8
Concentración de sales (C.S.)		2.2 dS/m
Materia Orgánica (M.O.)		47.7 %
		3.5 %
		3.4 %
NITROGENO (Nt)		0.1 %
FOSFORO (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		5.1 %
POTASIO (K <sub>2</sub> O)		0.5 %
CALCIO (Ca)		
MAGNESIO (MgO)		
BORO (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		122.2 ppm
COBRE (Cu)		40.1 ppm
HIERRO (Fe)		8752.5 ppm
MANGANESO (Mn)		276.6 ppm
ZINC (Zn)		1350.0 ppm

*Fuente: análisis efectuados por el laboratorio de Soluciones Analíticas, Guatemala con base en la metodología de Association of Analytical Chemist. AOAC. 1995.*

**Cuadro 6.** Composición del efluente analizado como material orgánico.

Ph	Ppm		Meq/100 gr							Meq/100gr							%	C/N
	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	MO	N		
6.	161	180	34.	1.4	1.5	48.	34.	23.	75.	29.	2.3	0.2	1.6	45.	25.	2.1	15.	7.07:
0			32	9		0	5	5	88	94	4	2	9	06	91	2	03	1

*Fuente: análisis efectuados por el laboratorio de Suelo-Planta-Agua, de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.*

### 6.3. SELECCIÓN DE TRATAMIENTOS

Para el desarrollo de la investigación se consideraron los siguientes factores, los lodos efluentes como abono y el fertilizante químico. Para definir los nutrientes y niveles evaluados se tomó como base el análisis químico de suelos. En el cuadro 7, se detallan los niveles y los factores que se evaluaron.

**CUADRO 7.** *tratamientos de evaluación en el experimento.*

	<i>Fertilización</i>	
<b>tratamiento</b>	<b>Lodos(Ton/ha)</b>	<b>Abono químico(Kg./ha)</b>
1. T1	<b>23.4 (1 lb./postura)</b>	<b>0</b>
2. T2	<b>31.25 (1.33 lb./postura)</b>	<b>0</b>
3. T3	<b>39 (1.66 lb./postura)</b>	<b>0</b>
4. T4	<b>0</b>	<b>181 (N) urea 46%</b>

### 6.4. FUENTES Y NIVELES DE NUTRIMENTO

El fertilizante químico se seleccionó con base a los datos que se calcularon para los suelos del CEDA. Los lodos se seleccionaron de la planta de tratamiento de aguas servidas de Villalobos I, ubicada al final de la colonia el mezquital.

La primera aplicación de fertilizante químico se realizó al momento del transplante 45kg/ha de urea al 46%. El resto se aplicó a los 21 días después, utilizando urea.

### 6.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó el Diseño Completamente al Azar(DCA), con 4 tratamientos y 5 repeticiones para un total de 20 unidades experimentales. Con 12 grados de libertad para el error experimental.

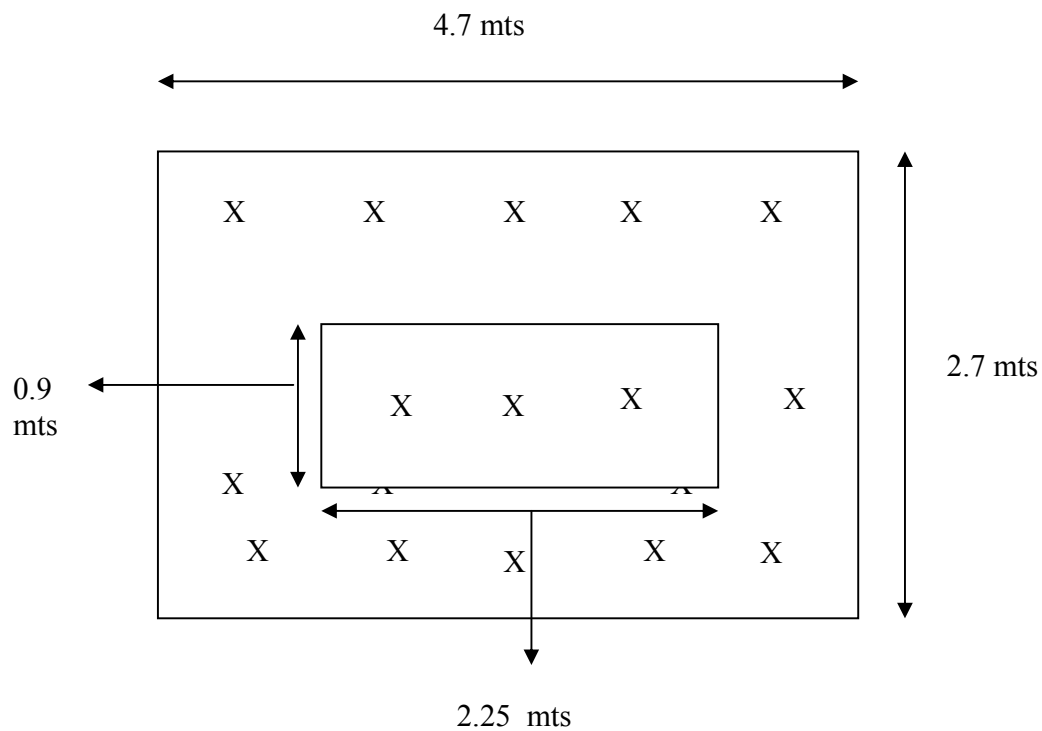
### 6.6. UNIDAD EXPERIMENTAL

la unidad experimental consistió en una Parcela bruta de 4.7 x 2.7m. = 12.7 metros cuadrados, y una parcela neta de 0.9m x 2.25 m. = 2.025 metros cuadrados(ver figura 3)

Área total = (área parcela bruta \* repeticiones) + área de calles

Área total = (12.7 \* 20) + 84.93 = 338.93 metros cuadrados

Con un promedio de 55 plantas de maíz por parcela bruta(1100 en total), y 10 planta por parcela neta(200 en total) que se tomaran de muestra para la evaluación estadística.



**Figura 3.** Tamaño y forma de la unidad experimental, parcela bruta y neta.

## 6.7. VARIABLE RESPUESTA

### 6.7.1. PRODUCTO TOTAL DE FRUTOS DE MAZORCA OBTENIDO EN KG./HA.

Pesando el total de frutos por parcela neta en cada unidad experimental y de cada repetición, a los 90 días de haber transplantedo, utilizando una balanza comercial, expresando los resultados en promedio de Kg./ha.



## 6.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO

### 6.8.1. PREPARACIÓN DEL TERRENO

Se realizó en forma mecanizada, limpieza y trazado del diseño utilizando rafia, estacas y piedras del mismo terreno.

### 6.8.2. SEMILLA

Se utilizaron 1100 pilones del híbrido GSS 4644.

### 6.8.3. SIEMBRA

Transplante de forma manual, con prácticas tradicionales, riego, abrir agujeros y depositar suavemente las plantas en cada postura.

Después de hecho el transplante se le dio riego por aspersión dos veces por semana, para garantizar un mayor porcentaje de pegue, homogéneamente a todos los tratamientos.

### 6.8.4. INCORPORACIÓN DE LOS LODOS

Esta se realizó al momento del transplante, aplicando el 100% de la dosis establecida, 1lb./postura para el tratamiento T1; 1.3 lb./postura para el T2 y 1.66 lb./postura para el T3. Para el efecto se abrieron agujeros a manera de plateo, para depositar los lodos en el fondo de cada postura, cubriéndolo con una pequeña capa de suelo, para que estos hicieran contacto directo con las raíces de las plántulas.

### 6.8.5. INCORPORACIÓN DEL FERTILIZANTE QUÍMICO

Las aplicaciones del fertilizante químico se realizó en dos fechas; la primera urea al 46% al momento del transplante, haciendo para el efecto agujeros a los lados de la planta, la segunda aplicación(urea) a los 21 días después de la primera(23). No se hicieron aplicaciones de fertilizante foliar.

### 6.8.6. CONTROL DE PLAGAS

Para el control del gusano cogollero(*Spodoptera frugiperda*), medidor y barrenador se usó Ambush, en dosis de 9 a 45 Kg./Ha. A cada 3 a 5 días de aplicación en época crítica. Hasta 15 días antes del corte.

#### 6.8.7. CONTROL DE ENFERMEDADES

Conjuntamente con las actividades de control de insectos dañinos. Se realizaron controles en forma preventiva, observando bastante resistencia del híbrido GSS 4644.

#### 6.8.8. CONTROL DE MALEZAS

Se realizaron en forma manual y cuando se considero necesario. Aproximadamente a los 20 días después de la siembra.

#### 6.8.9. COSECHA

Se realizó a los 90 días después de la siembra. Para conocer la madurez adecuada de los frutos(elotes), se observo el color de los granos no lechosos y con un color amarillo intenso, recolectando 10 frutos por unidad experimental y limpiando los elotes, realizando el pesado del fruto fresco por unidad experimental, registrando los datos para su análisis correspondiente.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 RESULTADOS OBTENIDOS

De la toma de datos durante la cosecha de frutos de maíz dulce en los campos del CEDA, efectuada de febrero a mayo del 2004, utilizando una balanza de tipo comercial, en donde se obtuvieron los siguientes pesos de fruto fresco, expresado en libras por tratamiento y por repetición en anexos cuadro 10:

### 7.2 ANÁLISIS DE VARIANZA

Teniendo como hipótesis nula( $H_0$ ), que todos los tratamientos tienen el mismo efecto; y como hipótesis alternativa( $H_a$ ), para al menos uno de los tratamientos produce efectos distintos.

$$H_0 : t = t_i$$

$$H_a : t \neq t_i$$

En el cuadro 8, se observan los resultados ordenados por tratamiento y repetición que fueron sometidos al programa estadístico SAS.

**Cuadro 8.** Rendimiento en Kg./Ha de elote fresco de maíz dulce (*Zea mays* L. Variedad rugosa) en los campos del CEDA, Guatemala, 2004.

Tratamiento	Repeticiones					Y <sub>i</sub>	Media
	I	II	III	IV	V		
23.40 (T1)	6591.2	7441.	5910.	6803.	7336.	34084.0	6816.81
	6	75	88	89	29	7	4
31.25 (T2)	6803.8	8079.	6803.	7654.	7121.	36463.7	7292.74
	9	61	89	37	97	3	6
39.00 (T3)	7764.5	7016.	7654.	7802.	7547.	37784.9	7556.39
	3	51	37	36	21	8	6
Urea (T4)	7229.1	8186.	7654.	7079.	8504.	38654.5	7730.91
	3	78	37	44	86	8	6
						Y...= 7349.36	
						8	

Suponiendo que los errores son independientes, que están normalmente distribuidos con media cero, varianza constante y que existe homogeneidad de varianza en los tratamientos. En el figura 4 observamos el comportamiento de los tratamientos comparados entre si.

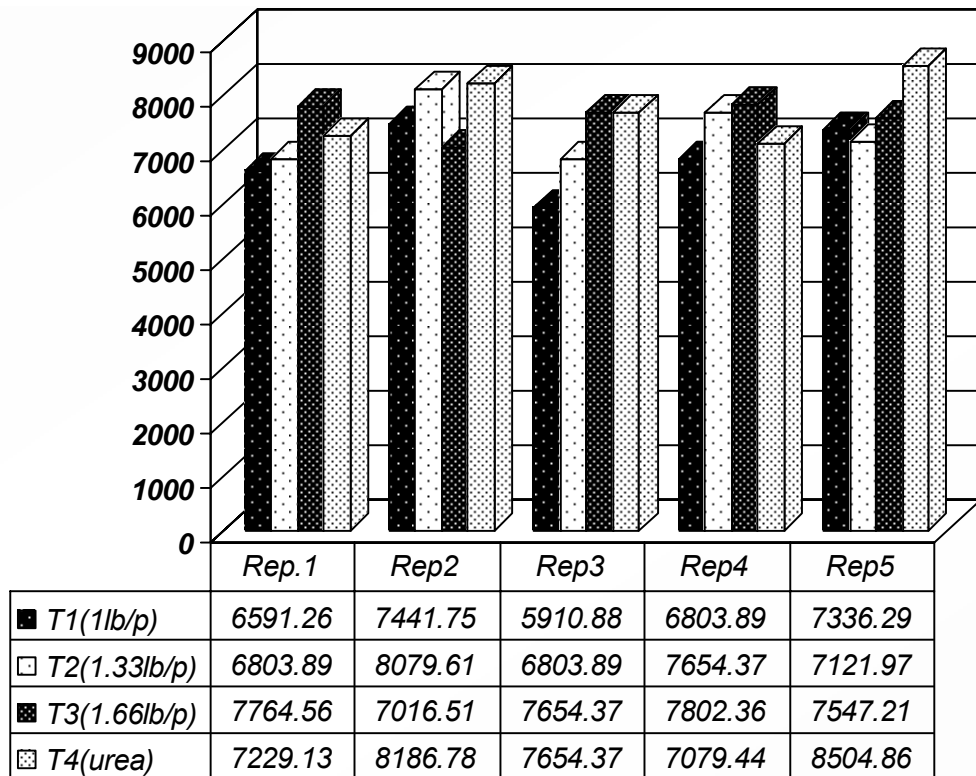


figura 4 producción de maíz dulce en Kg./Ha

En las medias de rendimientos de producción, comparadas desde el tratamiento uno, hasta el testigo de fertilización completa(urea), se observan diferencias de producción escalonadas, menores del 10%, observando los porcentajes de; 6.9% de aumento entre el tratamiento dos(T2=7292.746 Kg./Ha)con respecto del tratamiento uno(T1=6816.814 Kg./Ha), un 3.6% de aumento del tratamiento tres(T3=7556.396 Kg./Ha) con respecto del tratamiento dos(T2) y 2.3% de aumento entre el tratamiento urea(T4=7730.916 Kg./Ha) respecto del tratamiento tres(T3), con un espectro o amplitud de 13.4% de aumento de producción del T4 sobre el T1, que aritméticamente son diferentes, pero estadísticamente hablando no hay variación, que era lo que se esperaba que fuese el resultado de la investigación. Esto debido a que es muy difícil de precisar, la

liberación de nutrientes, como de ácido carbónico, que por su parte estos materiales pueden aportar o liberar hacia el suelo, como a la solución del suelo(13),(6),(16), (7). Las cantidades que de estos nutrimentos son asimilables y asimilados por las plantas durante su desarrollo fenológico, los aportes que el suelo mismo proporciona al actuar como un difusor hacia la solución del suelo y la disponibilidad que el suelo le puede proveer a las plantas, son elementos que merecen mayor atención al hacer investigaciones de esta naturaleza, por que sus efectos se manifiestan en el vigor y la producción, de los cultivos en donde se aplican.

En la figura 5, se aprecia que el comportamiento de la producción media de los lodos dentro de los diferentes tratamientos, se observa muy poca variación en porcentaje de producción, comparado con el total producido por la muestra.

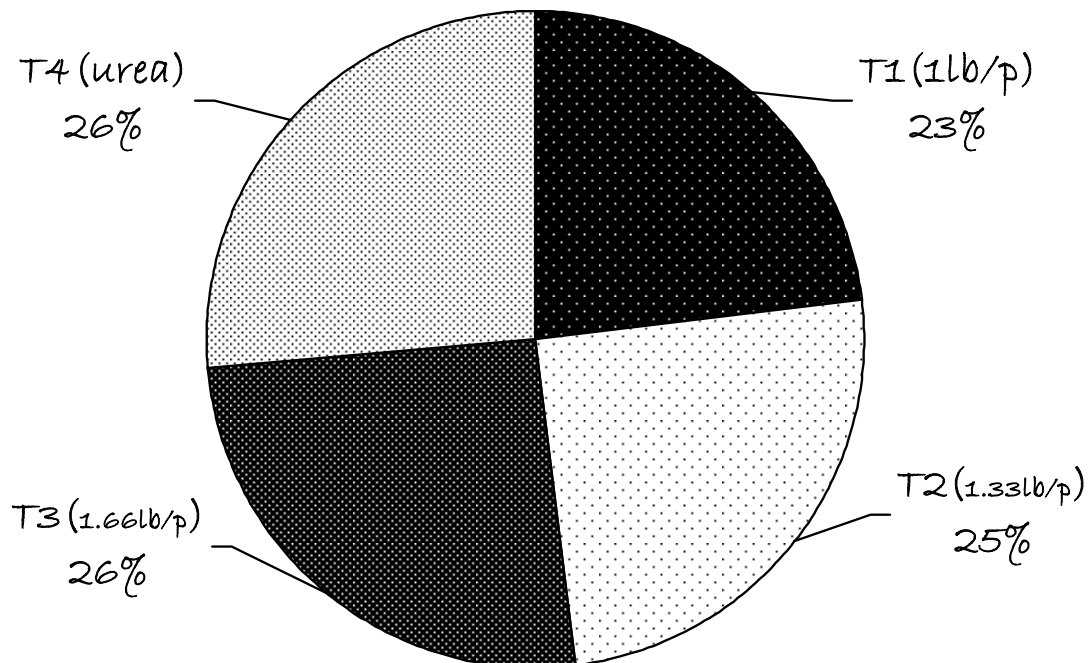


figura 5 producción media entre tratamientos en Kg./Ha de maíz dulce

Tomando en consideración que se da un aumento en la actividad biótica, por el contenido de material orgánico que es aplicado, la capacidad de mayor liberación de ácido carbónico que poseen estos materiales(lodos) y por las interacciones que se dan entre el suelo, el agua y la planta. Son características por las que países como Dinamarca, Francia, Noruega, España, Suecia y Reino Unido que tienen producciones de hasta 1,107,000 toneladas secas por año de lodos, utilicen mas del 40% de estos en la agricultura como abonos(ver cuadro 1 de este documento).

En el cuadro 9. se muestran los datos de el análisis de varianza resultado de el programa Statistical Análisis System(S.A.S.) al ingresarle los pesos obtenidos de las unidades experimentales(para precisar si existe una diferencia estadísticamente significativa que nos indique, que tratamiento es el de mayor producción con respecto de los otros o el testigo).

**Cuadro 9.** Análisis de varianza para el rendimiento en Kg./Ha de elote fresco de maíz dulce en los campos del CEDA, Guatemala, 2004.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	FT<FC
Tratamientos	3	2376295.964	792098.655	2.71	0.0799	N.S.
Error	16	4681819.247	292613.703			
Total	19	7058115.211				

*Fuente: Statistical Analysis System.(S.A.S.)*

De acuerdo a los resultados presentados en el cuadro 8, se observan diferencias aritméticas de producción entre las medias de los tratamientos que no sobrepasan el 10% entre tratamientos como se expuso anteriormente, que aplicado con un 95% de significancia nos indica que la F de la tabla de Fisher y Snedecor (FT) es menor a la F calculada o crítica (FC) donde no se rechaza la hipótesis nula(Ho). Estadísticamente hablando no existe diferencia significativa entre ninguno de los tratamientos, y que da lo mismo utilizar 23 Ton/Ha de lodos (T1) o 181 K/Ha de Urea (T4), en los campos del CEDA

A pesar de los resultados, estos, no pueden ser extrapolados a suelos estructuralmente similares a las condiciones del suelo del CEDA, debiéndose conservar y observar las normativas internacionales, para el manejo de estos materiales, desde su origen, tratamiento, transporte hasta su utilización final.

### 7.3 ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis económico consiste básicamente en comparar los costos totales de producción, con los ingresos del proyecto, para determinar los beneficios y rentabilidad de la inversión, debido a que los recursos financieros son escasos y presentan diferentes costos de oportunidad. En el cuadro que se presenta a continuación se desglosan los costos directos e indirectos, para conocer los desembolsos por tratamiento, siendo los mismos reales y calculados para un solo ciclo de producción

Los renglones más importantes son: valor de las plantitas, arrendamiento del suelo, tutores, fungicidas e insecticidas, ya que agregados ascienden a un valor de Q. 6,580.00 que representan el 54% de la inversión total. La diferencia está integrada por mano de obra, aplicación de efluentes y fertilizantes como se presenta continuación:

#### MODELO DE COSTO DE PRODUCCIÓN POR HECTÁREA.

**Cuadro 10.** Costos promedio por tratamiento en quetzales por hectárea

Actividad	Tratamiento			
	I	II	III	IV
1. Arrendamiento de suelo (para una cosecha, incluye irrigación)	2,143	2,143	2,143	2,143
2. Preparación del suelo	1,200	1,200	1,200	1,200
3. Desinfección del suelo	0	0	0	0
4. Aplicación de efluentes al suelo	936	1250	1560	0
5 Valor pilones(Q.0.14 c/u)	6850	6850	6850	6850
5.1 Primera fertilización: Urea 46%, con 240 lb./ha	0	0	0	900
5.2 Segunda fertilización Urea 46%, con 160 lb./ha	0	0	0	375
6. Jornales de preparación de suelo, desinfección y aplicación de efluentes, a razón de 5 jornales a Q.40.00 diarios c/u.	200	200	200	200
7. Jornales de siembra, a razón de 5 jornales a Q.40.00 c/u.	200	200	200	200
8. Jornales primera aplicación de fertilizante Urea 46%, a razón de 2 jornales a Q.40.00 diarios c/u	0	0	0	80

Continuación Cuadro				
9. Jornales segunda aplicación de Urea 46%, a razón de 2 jornales a Q.40.00 diarios c/u	0	0	0	80
10. Primera limpieza de plantas a razón de 2 jornales a Q.40.00 diarios c/u	80	80	80	80
11. Segunda limpieza de plantas a razón de 2 jornales a Q.40.00 diarios c/u	80	80	80	80
12. Jornales de aplicación de insecticidas, fungicidas a razón de 2 jornales a Q.40.00 diarios c/u	80	80	80	80
13. Costo de insecticidas	200	200	200	200
14. Costo de fungicidas	200	200	200	200
15. Jornales cosecha para 1 corte, a razón de 2 jornales a Q.40.00 diarios c/u	80	80	80	80
Totales	12,249	12,563	12,873	12,748

Los ingresos del proyecto están detallados en el cuadro 11, en el mismo se determinan los rendimientos de los tratamientos promedio, cuantificando los mismos en kilogramos, libras y bandejas por hectárea, porque así lo demanda el mercado guatemalteco. El precio promedio asciende a Q.5.00 por bandeja de 5 libras aproximadamente (dato obtenido en las ventas de la terminal zona 4), que es la media de todo el año. Para calcular los ingresos del cultivo, se multiplica el rendimiento bandeja/ha por el precio promedio.

En los tratamientos sobresale el tratamiento IV con los mayores ingresos, a excepción del bloque tres; siendo el tratamiento I el que presenta los menores ingresos



**Cuadro 11.** Ingresos promedio por tratamiento en quetzales por hectárea

Tratamiento	Rendimiento Kg/ha.	Rendimiento Lbs/ha.	Rendimiento b andeja/ha.	Precio bandeja	Ingreso/ha.
1	6816.81	15492.75	3098.55	5.00	15492.75
2	7292.75	16574.4	3314.88	5.00	16574.40
3	7557.20	17175.45	3435.09	5.00	17175.45
4	7730.92	17570.4	3514.08	5.00	17540.40

Para determinar la rentabilidad de la inversión, se utiliza la relación beneficio/costo, por su fácil aplicación, adecuada confiabilidad y porque se ajusta a procesos y diseños cortos de inversión. El beneficio no es más que la diferencia de los ingresos menos los costos, convirtiéndose este beneficio en el numerador y los costos en el denominador de esa relación, recomendándose la inversión si el resultado es mayor que 100, como ocurre en casi todos los tratamientos de la investigación. Los resultados se presentan en el cuadro 12.

**Cuadro 12.** Relación beneficio / costo promedio por tratamiento

Tratamiento /repetición	Rendimiento Promedio / Tratamiento	Costos de producción / Tratamiento	Rentabilidad	Relación beneficio / costo
1	15492.75	12,249	3243.75	126
2	16574.40	12,563	4011.40	132
3	17175.45	12,873	4302.45	133
4	17540.40	12,748	4792.40	138

Con los datos obtenidos en la tabla anterior, se tiene una rentabilidad que oscila entre 26% y 38%, entre el tratamiento 1(T1) al tratamiento 4(T4) respectivamente.

## 8. CONCLUSIONES

1. De acuerdo al análisis de varianza, no existe diferencia significativa entre los tratamientos de esta investigación.
2. Los lodos comparando con los resultados que se obtendrían utilizando una fertilización solo con urea, pueden ser utilizados como un fertilizante orgánico, en sustitución o en combinación de la fertilización química en los suelos del CEDA en el cultivo de maíz dulce.

## 9. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar el tratamiento de 23.4 Ton/Ha(1 Lb./postura). De lodos efluentes, por ser la que menor inversión supone para su aplicación en el cultivo de maíz dulce en estos campos de la Facultad de Agronomía.
2. Se recomienda seguir investigando, el comportamiento de los lodos en diferentes suelos, y con diferentes cultivos, para establecer parámetros de uso de los lodos para los agricultores.
3. Hacer análisis de contenido de metales pesados en los frutos para establecer si existe translocación de estos hacia los frutos del cultivo.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. AMSA (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el lago de Amatitlán, GT). 2002. Proyectos en ejecución de las divisiones: ejecución de proyectos, control, calidad ambiental y manejo de lagos 2002. Guatemala. 60 p.
2. Beck, AJ; Alcock, RE; Wilson, SC; Wang, MJ; Wild, SR; Sewart, AP; Jones, KC. 1995. Long-term persistence of organic chemicals in sewage sludge-amended agricultural land: a soil quality perspective. *Advances in Agronomy* 55:345-391.
3. Berti, WR; Jacobs, LW. 1998. Distribution of trace elements in soil from repeated sewage sludge applications. *J. Environ. Qual.* 27:1280-1286.
4. Bevacqua, RF. 1994. Cumulative effects of sludge compost on crop yields and soil properties. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 25(3 y 4):395-406.
5. Bracamonte Colindres, D. 1997. Evaluación de seis insecticidas para el control del gusano elotero (*Heliothis zea* Boddie) en el cultivo de maíz dulce (*Zea mays* var. Rugosa), en la época de siembra de segunda, en Esquipulas, Chiquimula. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 52 p.
6. Braun, R. 1971. Efectos de los metales pesados no-degradables en plantas de tratamiento de drenajes: no-publicada. Guatemala, FAO. 200 p.
7. Chonay Chonay, F. 1996. Evaluación de N, K<sub>2</sub>O y laminas de efluente de biodigestor sobre el rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la serie Quetzaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 47 p.
8. Cordón Sosa, E. 1991. Levantamiento detallado de suelos del Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 135 p.
9. Costa, F; Hernández, MT; Moreno, JI. 1987. Utilización agrícola de lodos de depuradora. España, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. s. p.
10. Cronquist, A. 1981. An integrated system of clasification of flowering plants. US, Columbia University. 7 p.
11. Cruz, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
12. De Lauzanne, R; Merillot, JM. 1986. La valorisation agricole des boues de laiterie. France, Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets (ANRED). 250 p.
13. Escobar López, J. 2002. Producción de tres fuentes de abono orgánico como producto de la disposición de la basura orgánica en el vertedero controlado manejado por AMSA en el Km. 22.5 y su evaluación

en interacción con fertilizante químico en el cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum*) en la cuenca del lago de Amatitlán. Tesis Msc. *In* Investigación y proyectos. Guatemala, Universidad Rural de Guatemala, Facultad de Ciencias Naturales y del Ambiente. 65 p.

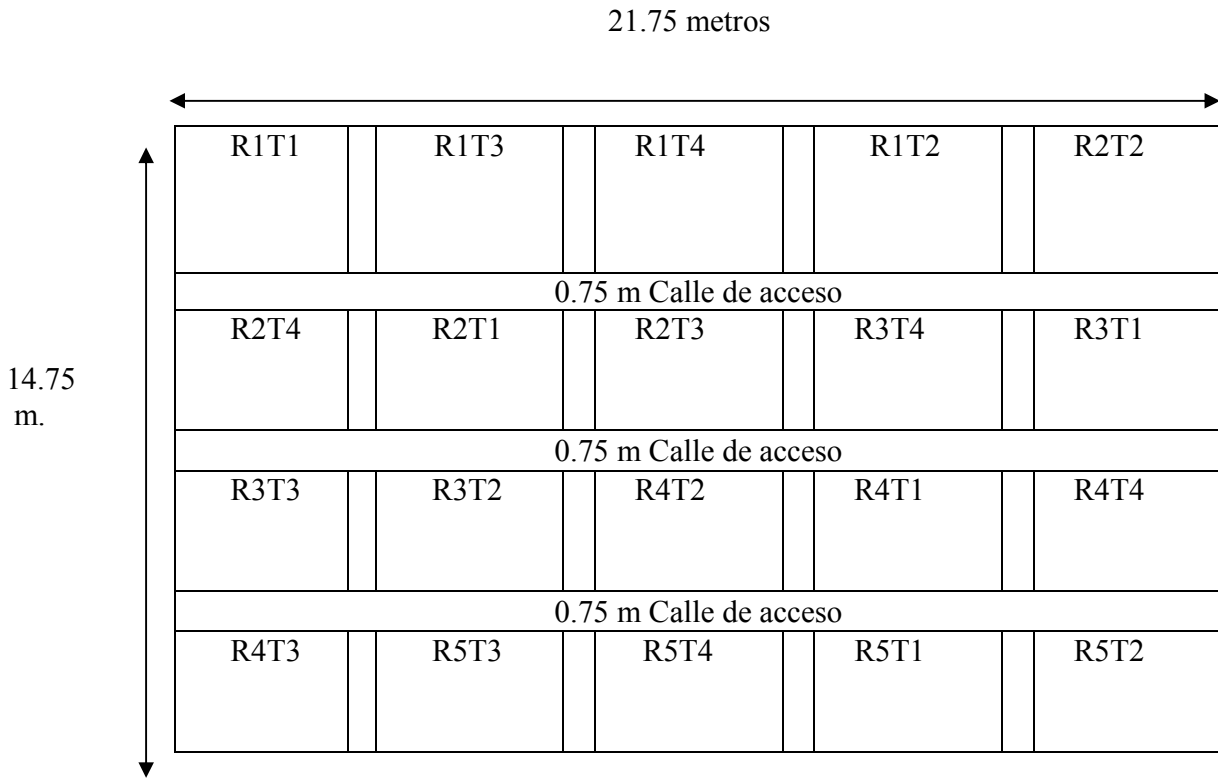
14. European Union, UK. 1996. A global atlas of wastewater sludge and biosolids use and disposal (en línea). Ed. by P. Matthews. Scientific and Technical Report no. 4, IAWQ. Consultado 6 mayo 2003. Disponible en <http://www.jrc.es/iptsreport/vol23/spanish/ENV2S236.htm>
15. Fair, GM; Geyer, JC; Okum, DA. 1993. Ingeniería sanitaria. México, Limusa. 4 v, 660 p.
16. FAO, PNUMA, IT. 1984. Directrices sobre la gestión de la utilización de los residuos agrícolas y agroindustriales. Guatemala. 100 p. (Serie directrices para industria y medio ambiente).
17. Felipó Oriol, MT. 1995. Reutilización de residuos urbanos y posible contaminación. *In* Jornadas técnicas de gestión y utilización de residuos urbanos para la agricultura. Madrid, España, Mundi Prensa. p. 27-36.
18. Fox, IK. 1979. Conceptos básicos para planificar el uso de recursos de agua. Venezuela, s.e. 18 p. (Conferencia en CORDIPLAN).
19. García López, J; Jamin, E; Buson, C; Carral Vilariño, E; Moirón Rodríguez, C; López Mosquera, ME. 1999. Biological treatment of wastewaters from a dairy industry (Besnier-Leche de Galicia, SA.) *In* Congreso Internacional de Química de la ANQUE (5., 1999, España). Actas: solid, liquid and gaseous wastes: their best destination (III). Madrid, España, ANQUE. p. 191-203.
20. Guichet, J. 1987. Evolution d' une rendzine consecutive a 25 anes d'epandage d'e aux residuaires de laiteries. *Sci. Sol.* 25(2):95-106.
21. Guidi, G; Pagliai, M; Giachetti, M. 1982. Modifications of some physical and chemical soil properties following sludge and compost applications. *In* Catroux, 'Hermite; Suess, E. eds. The influence of sewage sludge on physical and biological properties of soils. Holanda, Dordrasht. p. 122-130.
22. Hue, NJ; Silva, JA; Arifin, R. 1988. Sewage sludge-soil interactions as measured by plant and soil chemical composition. *J. Environ. Qual.* 17:384-390.
23. ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, GT). 1984. Maíces de Guatemala para el trópico. Guatemala. p. 1-19. (Folleto Técnico no. 30).
24. López Mosquera, ME et al. 2000. Evaluación del efecto salino en un suelo fertilizado con lodos de industria láctea (en línea). España, Universidad de Santiago de Compostela. Consultado 6 mayo 2003. Disponible en <http://edafologia.Ugr.es/Revista/Tomo7/a5t71t.htm>.
25. López Mosquera, ME; Moirón, C; Carral, E. 1998. Effects of dairy-industry sludge fertilization on mixed field production and on their botanical composition. *In* FAO / CIHEAM European, IT. 1998. Seminar notes of research conference: lowland grassland of Europe: utilisation and development. La Coruña, España, s.e. 28 p.

26. Marroquín Ramos, D. 1995. Manejo del cultivo el elote dulce (*Zea mays* var. *Saccharata*) bajo el sistema de riego por goteo, en la agropecuaria Popoyan S.A. Informe Técnico. Bárcenas, Villa Nueva, Guatemala, Escuela Nacional Central de Agricultura. 70 p.
27. Microsoft, US. 2002. Encarta 2002, enciclopedia. México. 3 cd.
28. Ordóñez Castro, O. 1986. Evaluación del efecto efluente del biodigestor en comparación con fertilizantes orgánicos y químicos, en la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris*), bajo dos niveles de aplicación. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 55 p.
29. Simmons, C; Tarano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.
30. Unión Europea, UK. 1996. Aviso jurídico, medio ambiente y agricultura, utilización de lodos de depuradoras en agricultura (en línea). Consultado 22 sep. 2003. Disponible en <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/128088.htm>
31. Unión Europea, UK. 1997. Informe general: sección 18, medio ambiente, 557 políticas de gestión de residuos (en línea). UK. Consultado 7 mayo 2003. Disponible en <http://europa.eu.int/abc/doc/off/rg/es/1997/esx1897.htm>

ANEXOS

CROQUIS DEL DISEÑO AL AZAR EN LOS CAMPOS DEL CEDA.

***CROQUIS EN EL CAMPO.***



Área total aproximada 310 metros cuadrados.

**Cuadro 13.** Resultados obtenidos de peso fresco de fruto de maíz dulce en libras por parcela neta y en Kg./Ha por tratamiento y repetición.

#### Repetición 1

MUESTRA	PESO PREPARADO	Libras/parcela neta	Kilogramos/Ha
R1T1	3 libras 14 onzas	3.875 libras	6591.26
R1T2	4 libras	4.0	6803.89
R1T3	4 libras 9 onzas	4.563	7764.53
R1T4	4 libras 4 onzas	4.25	7229.13

#### Repetición 2

MUESTRA	PESO PREPARADO	Libras/parcela neta	Kilogramos/Ha
R2T1	4 libras 6 onzas	4.375	7441.75
R2T2	4 libras 12 onzas	4.75	8079.61
R2T3	4 libras 2 onzas	4.125	7016.51
R2T4	3 libras 13 onzas	4.813	8186.78

#### Repetición 3

MUESTRA	PESO PREPARADO	Libras/parcela neta	Kilogramos/Ha
R3T1	4 libras 11onzas	4.587	5910.88
R3T2	4 libras	4.0	6803.89
R3T3	4 libras 8 onzas	4.5	7654.37
R3T4	4 libras 8 onzas	4.5	7654.37

#### Repetición 4

MUESTRA	PESO PREPARADO	Libras/parcela neta	Kilogramos/Ha
R4T1	5 libras	5.0	6803.89
R4T2	4 libras 8 onzas	4.50	7654.37
R4T3	3 libras 14 onzas	3.875	7802.36
R4T4	4 libras 1	4.062	7079.44



onza

Repetición 5

MUESTRA	PESO PREPARADO	Libras/parcela neta	Kilogramos/Ha
R5T1	4 libras 5 onzas	4.313	7336.29
R5T2	4 libras 3 onzas	4.187	7121.97
R5T3	4 libras 7 onzas	4.437	7547.21
R5T4	4 libras	4.0	8504.86

VISTA AEREA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS VILLALOBOS I, ubicada en la Zona 12, de la ciudad capital al final de la colonia El Mezquital.



procesos que realiza esta planta dentro de sus instalaciones:



Desarenado de aguas.



Sedimentado primario y/o secundario  
(cono imhoff)





filtros percoladores (biológicos)



Digestor de lodos.





aspecto de los lodos homogenizados que se utilizaron.



preparación del terreno.



siembra de pilones.