

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

CENTRO DE AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO  
SOSTENIBLE

ALTERNATIVAS DE USO AGRÍCOLA Y FORESTAL DE  
LODOS RESIDUALES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS NEGRAS

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN CIENCIAS EN  
AGROFORESTERÍA PARA EL  
DESARROLLO SOSTENIBLE**



DIRECCION ACADÉMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

EDUARDO SALCEDO PÉREZ

BIB 94692

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO. DICIEMBRE DEL 2000

ALTERNATIVAS DE USO AGRÍCOLA Y FORESTAL DE LODOS  
RESIDUALES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
NEGRAS

Tesis realizada por **Eduardo Salcedo Pérez** bajo la dirección del Comité  
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para  
obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL  
DESARROLLO SOSTENIBLE

  
DIRECTOR: HUGO RAMÍREZ MALDONADO

  
ASESOR: LAKSMI REDDIAR KRISHNAMURTHY

  
ASESOR: ANTONIO VÁZQUEZ ALARCON

A-37735

ALTERNATIVAS DE USO AGRÍCOLA Y FORESTAL  
DE LODOS RESIDUALES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS NEGRAS

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Eduardo Salcedo Pérez** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Estuvo constituido por:

  
**PRESIDENTE:** \_\_\_\_\_  
HUGO RAMÍREZ MALDONADO

  
**ASESOR:** \_\_\_\_\_  
LAKSMI REDDIAR KRISHNAMURTHY

  
**ASESOR:** \_\_\_\_\_  
ANTONIO VÁZQUEZ ALARCON

## **DEDICATORIA**

Este sencillo pero significativo documento lo dedico especialmente a mi esposa Claudia Aguilera, por su gran amor y por su apoyo, sin el cual no habría concluido de esta manera tan satisfactoria.

A mi hija, Dafne Alejandra, para que sea un pequeño estímulo en el desempeño de sus estudios y para que sus actividades las realice con esmero, lo que le permita triunfar en la vida.

A mi niña Narda Carolina, la cual me cautiva especialmente y a la que adoro, como algo singular, por su hermoso carácter e inteligencia.

A mi pequeño Cristian Eduardo, al cual espero dar un intachable ejemplo como hombre y Padre, sin defraudar la esperanza que deposita en mí.

A todos ellos por no haber contado conmigo, cuando me necesitaron, durante el tiempo dedicado a estos estudios.

A mis padres Vicente y Mercedes, los cuales desde donde estén, estoy seguro que me apoyan y guían, a ellos y a sus sabios consejos e intachables ejemplos de vida, los cuales espero llevar durante toda mi vida y transmitirlos correctamente a mis hijos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico otorgado a través de la beca económica 137870, la cual me permitió sostener los gastos que implica estudiar un posgrado fuera del lugar de residencia.

A la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo que me ofreció no sólo para obtener un grado académico mas, sino por todo lo que con ello trajo. A la Coordinación de estudios de postgrado a cargo del Dr. Juan A. Leos Rodriguez.

A la Universidad de Guadalajara, a la que le debo mi formación profesional y por conducirme por senderos del conocimiento de la naturaleza; en especial al Departamento de Madera, Celulosa y Papel, por haberme permitido cursar este posgrado.

Al Dr. Hugo Ramírez Maldonado por su tiempo y excelentes conocimientos brindados durante mis estudios y para el desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. Krishnamurthy por su apoyo para el ingreso al posgrado, por las facilidades brindadas para concluirlo satisfactoriamente y por sus notables enseñanzas de vida académica y humana que nunca olvidaré.

Al Dr. Antonio Vásquez Alarcon, por su importante y trascendente asesoría en el presente trabajo, por su tiempo dedicado a mis consultas y correcciones.

Al personal de los departamentos de Madera, Celulosa y Papel y de Botánica de la Universidad de Guadalajara, que han sido parte de mi vida, no sólo académica, especialmente a los que me apoyaron y confiaron en mi para lograr esta importante etapa, a los que espero firmemente no defraudar, mejorando mi ejercicio profesional.

A todos mis maestros que sin sus conocimientos no hubiera logrado culminar con tal éxito esta formación, a los que espero no solo agradecer sino responder con un desempeño entusiasta, desarrollando la semilla que depositaron en mi.

A mis amigos y compañeros del posgrado, los cuales me brindaron no solo amistad, sino todo lo que se requiere para salir adelante estos estudios en todos los momentos, a los cuales estoy profundamente agradecido.

Un especial agradecimiento a Lolita Coronel, por su tiempo, apoyo técnico en la elaboración del documento y por solucionar los problemas que se presentaron hasta el último momento; a Rocío Rodríguez y Lupita por su apoyo incondicional y oportuno siempre que recurrí a ellas, además por su amable cortesía.

A todos mis amigos y amigas, dentro y fuera de las aulas de esta gran Universidad, a los cuales llevaré siempre y estaré a su disposición para apoyarlos en lo poco que puedan necesitar de mi.

A mis hermanos que siempre me han apoyado, especialmente a Alejo Salcedo, por todo su apoyo al cual estoy profundamente agradecido.

Al Ing. Pablo Huesca y la empresa Lucent Technologies, por su confianza y apoyo económico complementario para desarrollar el proyecto de investigación del que surgió el presente documento, los cuales continúan apoyando trabajos de investigación sobre lodos residuales.

Al sistema de investigación regional José Ma. Morelos (SIMORELOS), del CONACYT, por el financiamiento otorgado al proyecto 970306013.

## DATOS BIOGRÁFICOS

Nací el 13 de Octubre de 1966, en la ciudad de Guadalajara, Jalisco. Soy el más joven de siete hermanos, todos mis estudios, hasta la licenciatura, los realice en mi ciudad natal. Desde etapas tempranas de mi vida, he tenido un gran gusto y amor por la naturaleza, demostrado en todas las actividades que he desarrollado hasta la fecha. Cuando niño me gustaba sobremanera visitar el rancho de un tío materno, al cual acudía junto con mis hermanos Alejo y Vicente. Al paso del tiempo, el primero de ellos, ingresa a la facultad de agronomía, y siguiendo sus pasos ingreso yo en Septiembre de 1985. A los tres años, en Enero de 1988, ingrese a colaborar de manera oficial al Instituto de Botánica de la misma Universidad, por invitación de mi estimada maestra Luz Ma. Villarreal de Puga y de mi maestro de botánica el Ing. J. A. Pérez de la Rosa. Mis actividades ahí fueron apoyar los proyectos de taxonomía de cactáceas desarrollados por la Biol. Hilda Arreola N. En ese periodo realice mi tesis profesional “Aspectos taxonómicos y etnobotánicos del Pitayo (*Stenocereus queretaroensis* Web. Buxb.)”, con la que logré el título de Ingeniero agrónomo fitotecnista. En unos años por aprecio de la maestra Puga, colabore como secretario del Inst. de botánica, hasta que fue nombrada directora emerita de la universidad y relevada por otro director. Para entonces en el Inst. de Madera, el Dr. Ezequiel Montes me invito a colaborar como oficial mayor, por mis antecedentes administrativos anteriores, ingresando en 1993. Debido a mi interés por trabajar con la naturaleza, deje esta actividad y me incorporé a la unidad académica forestal, en la que comencé a conocer lo referente a los temas forestales, hasta ese entonces por mí totalmente desconocidos. Los primeros trabajos en el campo experimental de esta unidad, fueron, colaborar en proyectos de plantaciones forestales y producción de plantas en vivero. En 1997 inicié trabajos de composteo por encargos de la institución; durante este tiempo traté de realizar estudios de maestría en 5 programas, pero por razones diversas me fue negada esta oportunidad. Para 1998 comencé trabajos con evaluaciones sobre el

aprovechamiento de lodos residuales, apoyados inicialmente por la iniciativa privada y posteriormente por el CONACYT, gracias a estos trabajos logre el permiso y la licencia dentro de la universidad para poder realizar estudios .

Otras labores que desde mi infancia (aproximadamente 10 años de edad) he desarrollado al lado de mis hermanos, son las relacionadas con la jardinería, desde el diseño, decoración y mantenimiento de áreas verdes, hasta la propagación y comercialización de plantas de ornato. Estas labores las he continuado de forma paralela a mi trabajo académico.

He participado en varios cursos de actualización y en numerosos eventos especializados. Participé en un diplomado de “Gestión de residuos urbanos”. He tenido la fortuna de impartir varias conferencias y cursos en la facultad de biología y agronomía y de ser catedrático de las mismas, hasta el momento de ingresar a los estudios de maestría.

# ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
<b>RESUMEN</b> .....	xv
<b>SUMMARY</b> .....	xviii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	3
<b>1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	3
<b>1.3 HIPÓTESIS GENERAL</b> .....	4
<b>1.4 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b> .....	4
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	5
<b>2.1 LODOS RESIDUALES</b> .....	5
2.1.1 CONCEPTO, ORIGEN Y OBTENCIÓN.....	5
2.1.2 MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS.....	7
2.1.2.1 <i>TRATAMIENTO PRELIMINAR O PREVIO DEL AGUA.</i> .....	8
2.1.2.2 <i>EL TRATAMIENTO PRIMARIO:</i> .....	9
2.1.2.3 <i>TRATAMIENTO SECUNDARIO</i> .....	11
2.1.2.4 <i>TRATAMIENTO DE LOS LODOS</i> .....	14
2.1.2.5 <i>DESHIDRATACIÓN DE LOS LODOS:</i> .....	17
2.1.3 PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS .....	19
2.1.3.1 <i>PROPIEDADES FÍSICAS</i> .....	19
2.1.3.2 <i>PROPIEDADES QUÍMICAS</i> .....	21
2.1.3.3 <i>PROPIEDADES BIOLÓGICAS</i> .....	21

2.1.4	RIESGO SANITARIO Y AMBIENTAL.....	23
2.1.4.1	<i>ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS.....</i>	24
2.1.4.2	<i>CONSIDERACIONES SOBRE LOS MICROELEMENTOS Y SUS EFECTOS TÓXICOS.....</i>	31
<b>2.2</b>	<b>LOS LODOS RESIDUALES EN LOS AGROSISTEMAS .....</b>	<b>33</b>
2.2.1	IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LOS AGROSISTEMAS .....	33
2.2.2	USO DE LODOS RESIDUALES COMO FUENTE DE MATERIA ORGÁNICA .....	37
<b>2.3</b>	<b>EL USO DE LODOS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA .....</b>	<b>38</b>
2.3.1	CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LOS LODOS .....	40
2.3.2	EFECTO DE LODOS SOBRE EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS.....	42
2.3.3	UTILIZACIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES EN PLANTACIONES FORESTALES .....	43
<b>2.4</b>	<b>IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA ESTATAL Y REGIONAL DEL MAÍZ.....</b>	<b>46</b>
<b>2.5</b>	<b>PLANTACIONES FORESTALES EN EL BOSQUE DE “LA PRIMAVERA” .....</b>	<b>48</b>
<b>2.6</b>	<b>LA AGROFORESTERIA Y EL RECICLAJE DE LOS NUTRIMENTOS .....</b>	<b>50</b>
2.6.1	IMPORTANCIA DE LA AGROFORESTERÍA Y DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL RECICLAJE DE NUTRIMENTOS .....	51
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>		<b>54</b>
<b>3.1</b>	<b>ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>54</b>
3.1.1	LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN.....	54
3.1.2	CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS Y EDÁFICAS .....	55
<b>3.2</b>	<b>MATERIALES UTILIZADOS.....</b>	<b>56</b>
<b>3.3</b>	<b>APLICACIÓN DE LODOS RESIDUALES COMO ABONO ORGÁNICO PARA EL CULTIVO DEL MAÍZ. ....</b>	<b>56</b>
3.3.1	VARIEDAD UTILIZADA .....	56

3.3.2 TRATAMIENTOS .....	57
3.3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL USADO .....	57
3.3.4 UNIDAD EXPERIMENTAL UTILIZADA. ....	57
3.3.5 DESARROLLO DE LABORES Y ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO .....	57
3.3.5.1 <i>PREPARACIÓN DEL TERRENO</i> .....	58
3.3.5.2 <i>TRAZO DEL EXPERIMENTO Y APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS:</i> .....	58
3.3.5.3 <i>SIEMBRA Y SEGUIMIENTO DEL CULTIVO</i> .....	58
3.3.6 TOMA DE DATOS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	60
3.3.6.1 <i>VARIABLES EVALUADAS</i> .....	60
3.3.6.2 <i>MÉTODO ESTADÍSTICO EMPLEADO</i> .....	60
3.3.6.3 <i>OTRAS OBSERVACIONES Y VARIABLES CONSIDERADAS</i> .....	61
<b>3.4 LODOS RESIDUALES COMO ABONO ORGÁNICO EN PLANTACIONES DE</b> <b><i>P. DOUGLASIANA (MART.)</i></b> .....	62
3.4.1 SELECCIÓN DE LA ESPECIE .....	62
3.4.2 TRATAMIENTOS .....	62
3.4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	63
3.4.4 UNIDAD EXPERIMENTAL .....	63
3.4.5 DESARROLLO DE LABORES Y SEGUIMIENTO DEL EXPERIMENTO:.....	63
3.4.5.1 <i>SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL TERRENO</i> .....	63
3.4.5.2 <i>TRAZO Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTACIÓN</i> .....	63
3.4.5.3 <i>APERTURA DE CEPAS</i> .....	64
3.4.5.4 <i>PLANTACIÓN Y APLICACIÓN DE LODOS</i> .....	64
3.4.5.5 <i>MANEJO Y SEGUIMIENTO DE LA PLANTACIÓN</i> .....	64

3.4.6 TOMA DE DATOS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	64
3.4.6.1 <i>VARIABLES EVALUADAS</i> .....	64
3.4.6.2 <i>MÉTODO ESTADÍSTICO EMPLEADO</i> .....	65
3.4.6.3 <i>OTRAS OBSERVACIONES</i> .....	65
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	<b>66</b>
4.1 <b>EVALUACIÓN MAIZ</b> .....	67
4.2 <b>EVALUACIÓN DE PINO</b> .....	73
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>77</b>
<b>6. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>79</b>
<b>7. LITERATURA CITADA</b> .....	<b>81</b>
<b>8. ANEXOS</b> .....	<b>86</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Esencialidad y toxicidad de elementos potencialmente tóxicos en plantas y animales.....	25
Cuadro 2 .Valor límite de concentración de metales pesados en lodos destinados a su utilización agraria con diferentes legislaciones (Amorena, 1995).....	26
Cuadro 3. Valor limite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a su utilización agraria en España. (Robusté, 1995). ....	26
Cuadro 4. Valores permisibles de metales pesados para la aplicación de lodos en la agricultura: .....	27
Cuadro 5. Valores máximos permisibles de metales pesados según la norma oficial mexicana para residuos peligrosos. ....	28
Cuadro 6. Restricciones para la aplicación de biosólidos de drenaje relacionadas con la salud pública y patógenos (Lovell, 1996). ....	31
Cuadro 7. Efectos más destacados de la materia orgánica sobre los suelos de cultivo. ....	35
Cuadro 8. Propiedades físico-químicas del suelo antes de establecer el experimento. ....	59
Cuadro 9. Algunas características de los materiales utilizados en esta investigación. ....	67
Cuadro 10. Altura promedio de planta, número y peso de mazorcas, rendimiento de grano y forraje promedio por parcela obtenidos en los tratamientos estudiados. ....	68
Cuadro 11. Composición química del suelo donde se estudio el efecto de la aplicación de lodos residuales como abono orgánico en el cultivo de maíz.....	70
Cuadro 12. N en follaje y grano por efecto de fertilización y aplicación de lodos y composta.....	71
Cuadro 13. Contenido de metales pesados en granos de maíz por efecto de los tratamientos aplicados .....	72
Cuadro 14. Resultados comparativos entre las variables de los tratamientos para P. douglasiana.....	76
Cuadro 15. Proporción de los municipios que dependen de BLP.....	87
Cuadro 16. Descripción del área de bosque-escuela.....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Esquema de tratamiento biológico convencional. ....	6
Fig. 2. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento, gestión, confinamiento y/o aprovechamiento de los diversos lodos residuales generados. ....	14
Fig. 3. Diagrama esquemático de un filtro prensa de bandas. ....	19
Fig. 4. Esquema simplificado de la transformación de la Materia Orgánica "fresca". ....	37
Fig. 5. Esquema de la dinámica de los ciclos de nutrientes. ....	53
Fig. 6. Mapa de localización y ubicación del sitio experimental "Bosque - Escuela". ....	55
Fig. 7. Efecto de la aplicación de lodos y fertilizante químico sobre el rendimiento de maíz. ....	69
Fig. 8. Influencia de la aplicación de lodos sobre la sobrevivencia de planta. ....	74
Fig. 9. Influencia de la aplicación de lodos sobre la altura de tallo. ....	75
Fig. 10. Mapa del campo experimental "Bosque - Escuela". ....	90
Fig. 11. Dibujo de las características del <i>P. douglasiana</i> de acuerdo a Farjon y Styles, 1997. ....	110
Fig. 12. Mapa de distribución del <i>P. douglasiana</i> según Perry Jr. 1991. ....	111

## RESUMEN

### **Alternativas de uso agrícola y forestal de lodos residuales de plantas de tratamiento de aguas negras.**

SALCEDO PÉREZ EDUARDO.

(Bajo la dirección del Dr. Hugo Ramírez Maldonado)

Con el objeto de evaluar el uso de lodos residuales como abono orgánico y como mejorador de la fertilidad de suelos en actividades agrícolas y forestales, se realizaron dos experimentos donde se aplicaron dosis de lodos y se midió su efecto sobre el rendimiento al maíz y otro para valorar su influencia sobre plantaciones en *Pinus douglasiana* (Mart.), en el campo experimental denominado “Bosque-Escuela” de la Universidad de Guadalajara, ubicado dentro del bosque de “La Primavera”, Jalisco; durante 1999-2000.

Para el experimento con maíz, se aplicaron estos materiales a la parcela de cultivo, utilizando los siguientes tratamientos, 10 y 20 t/ha de lodos deshidratados, 10 y 20 t/ha de lodos compostados con desechos de jardinería y arbolado urbano, en comparación con la fertilización mineral que se aplica en la región, (150 kg de fórmula 18-46-00 + 200 kg de urea); utilizando 5 repeticiones (unidad experimental de dos surcos centrales de 8 m de longitud), establecido bajo un diseño experimental de bloques al azar; las variables evaluadas en maíz fueron rendimiento de grano y forraje, peso y cantidad de mazorcas producidas y a los suelos, cambios en las propiedades y características del suelo inicial y de los 5 tratamientos.

La evaluación forestal consistió en el uso de lodos deshidratados aplicados a la cepa del árbol dentro de una plantación con *Pinus douglasiana* (Mart.), considerando la exposición norte y sur francos, utilizando para cada uno de ellas un diseño experimental de bloques al azar, con los siguientes tratamientos, 30, 60 y 100 gr de lodos deshidratados en comparación con un control sin aplicación, tres repeticiones por tratamiento (36 arboles por repetición y una parcela útil de 16); las variables evaluadas fueron altura de tallo, diámetro de tallo y copa y sobrevivencia.

Al término de las evaluaciones el rendimiento de grano para el control fue de 6.26 kg/parcela, mientras que el promedio de los tratamientos a base de lodo estuvo entre 8.40 y 9.98 kg/parcela, el rendimiento en forraje se incrementó de 10.25 kg/parcela para el control a 14.12 y 16.38 kg/parcela en los tratamientos a base de lodos. Las características de los suelos se vieron modificadas, el pH se incrementó, aumento en el contenido de materia orgánica y en el contenido de nutrientes sobre todo nitrógeno total, fósforo, potasio y otros microelementos registraron mayores valores que el testigo.

El incremento mostrado en el rendimiento de grano en maíz fue superior en los tratamientos con lodos en un 40% y hasta del 60% en forraje, de acuerdo a las diferencias estadísticas mostradas ( $P < 0.05$ ) con la prueba de Duncan.

La evaluación forestal a 14 meses presento una sobrevivencia de entre 68.75 y 83.3% para los tratamientos de lodos, superando el control de 66.7%. En cuanto a la variable altura, el tratamiento 4 en la exposición norte arrojó el mayor promedio en altura total con 122.55 cm. El mismo efecto se presentó en la exposición sur con 114.16 cm. La altura promedio inicial de los arboles fue de 65.0 cm, por lo tanto, el incremento promedio en estos meses fue de 57.55 cm para el primero, mientras que para el segundo fue de 49.16 cm, superiores en comparación con el incremento promedio anual reportado de 35 cm.

Es conveniente mencionar que en ambos trabajos, la aplicación de estos desechos orgánicos, mostraron su efecto desde etapas muy tempranas de su establecimiento.

Debido a lo anterior se puede concluir que el aprovechamiento de estos materiales mejora las propiedades del suelo incrementando el rendimiento y el desarrollo de maíz, además de influir favorablemente en la plantación forestal de *Pinus douglasiana* (Mart.).

**Palabras clave:** Lodos residuales, maíz, *Pinus douglasiana*, La Primavera, composteo, plantaciones, mejoramiento de suelo, abonos orgánicos, residuos urbanos.

## SUMMARY

Alternatives of agricultural and forest use of sludges from treatment plants of waste waters.

Two experiments were carried out with maize (*Zea mays*) and pine (*Pinus douglasiana* M.) in order to evaluate the use of sludges to improve the soil fertility. These treatments were applied in the experimental field designated as "Bosque-Escuela", of the Universidad de Guadalajara, located inside "La Primavera" forest in Jalisco, Mexico, during 1999-2000.

For the corn trial, the sludges were applied to the culture plot, using the following treatments: 10 and 20 t/ha of dehydrated sludges, 10 and 20 t/ha of composting sludges with garden and urban tree refuses, against mineral fertilization used in the region (150 kg of 18-46-00 formula + 200 kg of urea), using 5 replications in a experimental unit of two furrows eight meters long. This trial was established in a complete blocks experimental design; the evaluated variables were grain and forage output, weight and quantity of produced ears, and change in initial soil properties and characteristics.

The forest evaluation consisted of the use of these dehydrated refuses applied at the tree butt, inside of a plantation with *Pinus douglasiana* (Mart.). The evaluation also took into account the north and south exposures, using a complete blocks design with the following treatments: 33, 60 and 100 gr. of dehydrated sludges, in comparison with a control without application. Three replications were made for each treatment (36 trees experimental design with a useful plot of 16 trees); the evaluated variables were height and diameter of shaft and top, and the survival of the trees.

The yield of grains of corn was improved 40% in the treatments with sludges base on the statistical differences showed ( $p < 0.05$ ) by the Duncan Test, control treatment yielded

6.26 kg/plot while the average of the treatments with sludges was between 8.40 and 9.98 kg/plot. The forage yield grew from 10.25 kg/plot for the control treatment to a range of 14.12 - 16.38 kg/plot for the treatments with sludges. The soil characteristics were modified, including improvements in pH, organic matter and nutrients content, especially total nitrogen, phosphorous, potassium, and other microelements.

After 14 months, the survival of pine reached an average of 83% for both exposures (north and south), making a 70% improvement over the usual survival rate. Regarding the height variable, the treatment 4 the north exposure gave the highest average in total height with 122.55 cm. The same effect was produced in the south exposure with 114.16 cm. The initial average height of the trees was 65.0 cm, therefore, the average increase in 14 months was 57.55 cm for the treatment 4 of the north exposure, while for the treatment 4 of the south exposition was 49.16 cm, better than the reported annual average increment of 35 cm.

As a conclusion, the use of these sludges improves the soil properties, increases the yield and development of agricultural cultures, and it is a beneficial influence on the forest plantations.

**Key words: sludges, biosolids, maize, *Pinus douglasiana*, La Primavera, composting, plantations, soil improvement, manures, urban refuses.**

# 1 INTRODUCCIÓN

El gran desarrollo industrial, acompañado de la expansión demográfica y la emigración de los habitantes de las zonas rurales a las urbanas ha incrementado la producción de grandes cantidades de residuos de todo tipo que será preciso eliminar. Esto, además, trae como consecuencia la instalación de plantas de tratamiento o depuradoras de agua, en cuyo proceso se generan como subproductos los fangos o lodos residuales, los cuales se incrementan constantemente y presentan serios problemas de almacenamiento, confinamiento, eliminación y, en el mejor de los casos, de aprovechamiento.

El aumento constante de la cantidad de agua utilizada y de las aguas residuales generadas por las comunidades urbanas y las industrias de todo el mundo plantea problemas potenciales para la salud y el medio ambiente. Los países están buscando métodos seguros e inocuos para el medio ambiente y eficaces en función de los costos, con el fin de depurar y eliminar las aguas y lodos residuales (Braatz y Kandiah, 1996).

Por su parte Bontoux *et al.* (1998), mencionan su preocupación por la aparición de restricciones sobre todas las vías de eliminación de los lodos, destacando que una legislación más restrictiva, junto con la preocupación por los posibles riesgos medioambientales y sanitarios que conlleva esparcir los lodos en tierras de cultivo, están haciendo más agudo el problema de la eliminación de los lodos. Simultáneamente, la continua construcción de plantas de tratamiento, por las nuevas normas, y, previsiblemente, continuarán funcionando como “fabricas de lodos” a largo plazo, con una producción imparable. Por lo tanto, es esencial encontrar métodos de eliminación factibles, seguros y sostenibles para los lodos residuales.

En este sentido, es importante buscar alternativas que de manera racional nos permitan deshacernos de estos residuos y que éstas se justifiquen desde un punto de vista ecológico, económico y energético. Un caso especialmente importante es la utilización de estos lodos residuales, tanto por el impacto medioambiental en base a las enormes cantidades producidas anualmente, como por su riqueza en materia orgánica y nutrientes esenciales para los cultivos (Molina *et al.*, 1996).

La utilización agrícola de lodos esta determinada por sus propiedades fisico-químicas, composición química, facilidad de manipulación y transporte, etc., siendo estas características dependientes del origen del residuo, del tratamiento dado a las aguas y a los lodos en el proceso de depuración, del tiempo de almacenamiento y de otros factores que determinan su posterior evolución y características (Walter *et al.* , 1994; Otero *et al.*, 1996).

De acuerdo con diversas investigaciones reportadas por diferentes autores, Canet *et al.* (1996); y Reyes *et al.* (1996), entre otros, puede afirmarse de modo general que la utilización de lodos residuales en actividades agrícolas mejora las propiedades físico-químicas del suelo y puede aumentar el rendimiento de las cosechas gracias al aporte de materia orgánica, y diversos macro y micronutrientes, en especial es importante las cantidades de nitrógeno y fósforo.

En este sentido Walter *et al.* (1994) indicaron que con el uso de lodos residuales como abono orgánico, se contribuye a disminuir el consumo de fertilizantes inorgánicos principalmente nitrogenados y fosforados.

Por otro lado, considerando la problemática existente en la agricultura en relación al drástico descenso en el contenido de materia orgánica y nutrimentos de los suelos agrícolas del país, debido a su constante e intensa explotación (Angel y Vázquez, 1998), resulta cada vez más interesante practicar medidas que permitan la recuperación y estabilización de los suelos, en este sentido la utilización de compuestos alternativos a los abonos orgánicos convencionales, como son los lodos residuales constituyen una interesante opción.

Braatz y Kandiah (1996) manifiestan que la silvicultura es otra importante alternativa de uso, basada en la función que puede tener del mejoramiento de los ambientes urbano y conurbano, por lo que el aprovechamiento de las aguas residuales (tanto de los efluentes y lodos residuales como industriales) para el riego de bosques, plantaciones forestales, zonas verdes y árboles para el esparcimiento es conveniente.

Sin embargo, debe considerarse el riesgo que representa la aplicación de estos materiales en las actividades agrícolas y forestales, ya que estos pueden poseer elevadas concentraciones de metales pesados que pueden producir efectos fitotóxicos en los cultivos y/o contaminar los suelos y las aguas subterráneas, constituyendo esto su principal limitación (Otero *et al.*, 1996). Soliva (1995) indicó que no se deben utilizar indiscriminadamente los lodos en la agricultura, puesto que dichos lodos no sólo contienen sustancias benéficas para las plantas y el suelo, sino que también suelen encontrarse sustancias indeseables. En relación a esto Felipó (1995) señaló que una reutilización agrícola incorrecta de lodos puede ocasionar efectos indeseables sobre el suelo.

Por otro lado, aunque ya se han realizado trabajos al respecto en diversos países industrializados, se hace necesario investigar la utilización agrícola de lodos residuales en las condiciones propias de nuestro país.

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el uso de la aplicación de lodos residuales como abono orgánico y como mejorador de la fertilidad de suelos en actividades agrícolas y forestales.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Evaluar el uso de lodos residuales en la producción de maíz..

Cuantificar los efectos de la aplicación de los lodos residuales sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo agrícola.

Evaluar la influencia de los lodos residuales sobre la sobrevivencia, crecimiento y desarrollo inicial de *Pinus douglasiana* (Mart.).

### **1.3 HIPOTESIS GENERAL**

En general los lodos residuales aportan a los suelos materia orgánica y suficientes cantidades de nutrimentos para las plantas, por lo que, el uso de estos materiales permite incrementar el rendimiento de cultivos y favorecer el establecimiento de plantaciones forestales en áreas degradadas.

### **1.4 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

La producción de maíz en las parcelas abonadas con lodos residuales será equivalente a la producción obtenida con fertilización inorgánica.

Las propiedades fisicoquímicas del suelo, varían favorablemente debido a la aplicación de lodos residuales (fertilización orgánica).

En plantaciones de *P. douglasiana* el uso de lodos residuales mejora el suelo de la plantación, por lo que incrementa la sobrevivencia y el desarrollo inicial de los árboles.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 LODOS RESIDUALES

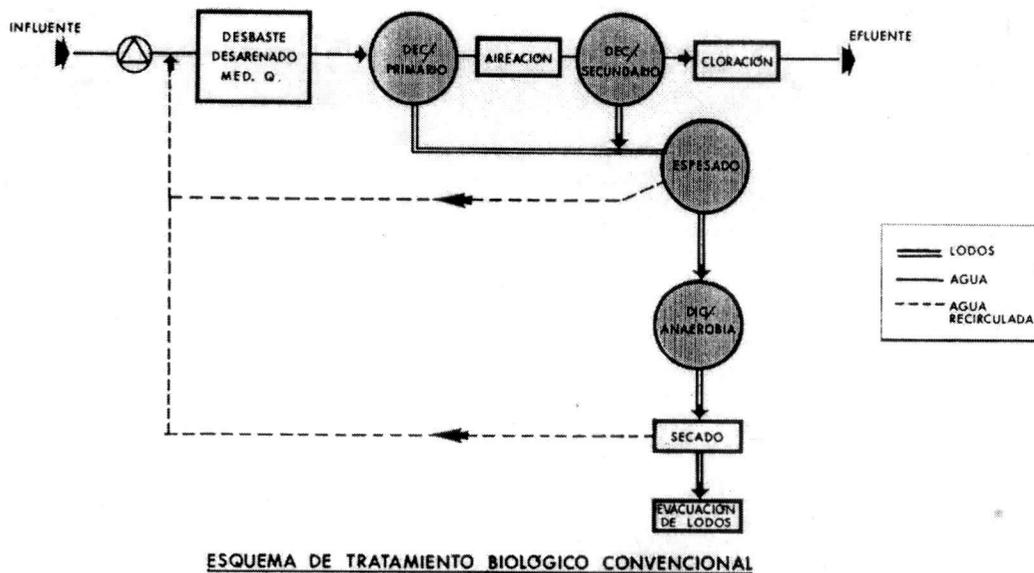
#### 2.1.1 CONCEPTO, ORIGEN Y OBTENCIÓN

Gamrasni (1985) define a los lodos residuales como sustancias con un alto contenido de agua, biológicamente inestables, que contienen partículas minerales inertes y materia orgánica fermentable; Díaz (1991) indica que estos materiales tienen su origen en las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales, al concentrar los contaminantes separados en el proceso de depuración en forma de lodos. A estos hay que someterlos a determinados procesos que reducirán su facultad de fermentación y su volumen. Por su parte Lovell (1996) señala que el lodo de drenaje es el resultado de la descomposición del asentamiento en una planta de tratamiento de drenaje. Este material por lo general contiene cantidades considerables de materia orgánica, y puede contener más o menos 0.1% a 0.3% de total de nitrógeno, y grandes cantidades de fósforo que se encuentran en las plantas. También se encuentran presentes otros nutrientes tales como magnesio, zinc, cobre, y boro.

Los lodos de depuración se producen por sedimentación en los distintos procesos del tratamiento como se puede observar en la fig. 1.

Cuando las plantas utilizan tratamientos biológicos, los lodos se generan, en general, en dos procesos:

- Las partículas sólidas más gruesas se depositan en el fondo del decantador primario y forman los lodos primarios.
- Las partículas más finas y disueltas, se fijan y se metabolizan por las bacterias que se multiplican en presencia de oxígeno durante la operación de aireación. Esta biomasa bacteriana se separa en el decantador secundario para producir los lodos secundarios. Una parte de esta biomasa se recircula al depósito de aireación, la otra se extrae constituyendo los lodos biológicos en exceso. Los lodos primarios y secundarios se pueden mezclar, formando los lodos mixtos (Díaz, 1991).



**Fig. 1. Esquema de tratamiento biológico convencional.**

Los lodos tienen gran importancia por ser una fuente de materia orgánica, además de contener la totalidad de los nutrientes considerados esenciales para el desarrollo de las plantas, pudiendo destacarse sus elevados contenidos de nitrógeno, fósforo y micronutrientes. En comparación con los compuestos orgánicos de origen ganadero tradicionalmente utilizados en la agricultura, los lodos contienen una riqueza en nitrógeno y fósforo de tres a cuatro veces superior. Así mismo el producto final que resulta del compostaje de los lodos tiene unos índices de humedad entre el 25% y el 30%, frente a porcentajes de humedad entre el 65% y el 75%, en los estiércoles ganaderos, (Gamrasni, 1985).

Por otra parte los lodos representan una fuente de micronutrientes como hierro, magnesio, molibdeno, calcio, azufre y otros, que son también esenciales para los cultivos y árboles, los cuales no son aportados por los fertilizantes sintéticos al ser estos cada día más puros y de mayor concentración en micronutrientes (Bigeriego, 1993).

Lovell (1996) hace una distinción entre lodo de drenaje y biosólido de drenaje, debido a las características de impacto ambiental, para que un lodo pueda considerarse biosólido y pueda ser aplicado en suelos debe satisfacer ciertos lineamientos, en los que se encuentra una concentración baja de metales. Los lodos deben estar estabilizados antes de que se puedan considerar un biosólido, mediante su digestión (aeróbica o anaeróbica) u otros medios aceptables como agregar cal, estabilizando la M.O. y reduciendo la posibilidad de olores y presencia de patógenos.

### 2.1.2 MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

El propósito del tratamiento de las aguas negras, consiste en separar de ellas la cantidad suficiente de sólidos que permita que los que queden al ser descargados en las aguas receptoras no interfieran con el mejor o más adecuado empleo de éstas. Los sólidos que se eliminan son principalmente orgánicos, pero se incluyen también sólidos inorgánicos. Como el mejor empleo de las aguas receptoras puede variar, el grado de tratamiento que se dé a las aguas negras o a los desechos debe variar de acuerdo a ello. Debe procurarse un tratamiento para los sólidos y líquidos que se eliminan como lodos, y puede también necesitarse un tratamiento para controlar los olores, para retardar las actividades biológicas o destruir los organismos patógenos (Hilleboe, 1976). La depuración de las aguas urbanas de desecho requiere una serie de operaciones que incluyen procedimientos mecánicos, biológicos y, desde hace pocos años, físicoquímicos (Gamrasni, 1985).

A pesar de que son muchos los tratamientos los métodos usados para el tratamiento de las aguas negras, todos pueden incluirse dentro de los cinco procesos siguientes

- 1) Tratamiento preliminar o previo.
- 2) Tratamiento primario o físico
- 3) Tratamiento secundario o biológico
- 4) Cloración o desinfección
- 5) Tratamientos de los lodos.

### 2.1.2.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR O PREVIO DEL AGUA.

En la mayoría de las plantas, estas operaciones sirven para proteger el equipo de bombeo y hacer más fáciles los procesos subsecuentes del tratamiento. Los dispositivos empleados están destinados a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, a eliminar los sólidos inorgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites o grasas (Hilleboe, 1976).

a) *Cribado*: Se trata de eliminar los elementos de grandes dimensiones que se hallan en el agua de residual cruda (trapos, materias plásticas) y que podrían entorpecer el funcionamiento hidráulico de la planta. Este proceso se hace por medio de la intercalación de rejillas y tamices, cuyas barras de las rejillas tienen una separación de 1 cm., Los desechos de las rejillas se mezclan generalmente con los lodos cuando, por su naturaleza y sus dimensiones son semejantes a los desperdicios domésticos. Este proceso no tiene importancia cuando se prevee la incineración de los lodos, (Gamrasni, 1985).

b) *Separación de aceites*: Las aguas urbanas contiene a menudo materiales flotantes que pasan a través de las rejillas (aceites, hidrocarburos, restos de grasa, fragmentos de materias plásticas). Los aceites y los hidrocarburos forman una capa delgada en la superficie, entorpeciendo así el proceso de aireación en los casos de los lodos activados; en cuanto a las materias sólidas flotantes, se corre el riesgo de que formen tapones que pudieran obstruir los canales o los orificios en la planta; por lo tanto, es necesario atrapar dichas sustancias en el nivel de tratamiento preliminar, por medio de un dispositivo de desnatado. Al igual que en el caso de desechos de las rejillas, los residuos del desaceitado no se deberán mezclar con los lodos, a menos que se prevea una incineración, (Gamrasni, 1985)

c) *Desarenado*: después del cribado quedan en el agua fragmentos de sólidos que pueden decantar con facilidad pero cuya dureza y tamaño relativamente importante,

Este proceso consiste en separar del agua residual a; grava, arenas, partículas minerales y cualquier otra materia pesada que tenga una velocidad de sedimentación o peso específico superiores a los de los sólidos orgánicos. Normalmente son partículas con un tamaño superior a las 200 micras.

A los lodos procedentes de los diversos tratamientos del agua de desecho generalmente se le aplica un tratamiento previo a su utilización al medio natural, al fin de disminuir su contenido de agua y estabilizarlos biológicamente, ya que son fermentables, (Gamrasni, 1985).

Después de llevarse a cabo el pretratamiento le sigue el tratamiento primario y el secundario.

#### *2.1.2.2 EL TRATAMIENTO PRIMARIO:*

Por este tratamiento se separan o eliminan por medios físicos la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas negras, o sea aproximadamente de 40 a 60%, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. Cuando se agregan ciertos productos químicos en los tanques primarios, se eliminan casi todos los sólidos coloidales, así como los sedimentables, o sea un total de 80 a 90% de los sólidos suspendidos. La actividad biológica en las aguas negras durante este proceso, tiene escasa importancia. Los dispositivos para el tratamiento primario, consiste en disminuir suficientemente la velocidad de las aguas negras para que puedan sedimentarse los sólidos, a estos dispositivos se les puede nombrar bajo el nombre de tanques de sedimentación (Hilleboe, 1976).

Los procesos que pueden incluirse en el tratamiento primario según Díaz (1991) son:

- Sedimentación.
- Flotación con aire.
- Neutralización.

### ***Sedimentación:***

#### Sedimentación primaria

Es un proceso de eliminación de sólidos en suspensión, susceptibles de separación por diferencia de densidad, de forma que las partículas más pesadas que el agua son separadas por la acción de la gravedad. Este proceso se utiliza tanto al principio del tratamiento (decantadores primarios) como al final (decantadores secundarios).

El objetivo de los decantadores primarios es doble; ya que por un lado permiten eliminar sólidos en suspensión (60%) y materia orgánica (30%) y por otro protegen los procesos posteriores de oxidación biológica de la instrucción de fangos inertes de densidad elevada, evitando la posible abrasión de los diferentes equipos mecánicos.

### ***Flotación con aire:***

Este proceso se utiliza en el tratamiento de aguas residuales, para eliminar sólidos en suspensión con una densidad próxima a la del agua, así como aceites y grasas. La separación se realiza introduciendo o formando burbujas de aire muy finas en el agua residual, éstas se fijan a la materia en partículas haciéndola flotar, una vez en la superficie, son retiradas mediante los mecanismos oportunos.

El rendimiento de este sistema se da por la relación entre los kilos de aire utilizado y los kilos de sólidos eliminados. Varía entre 0.005 y 0.06 en la flotación de aire disuelto.

### ***Coagulación Floculación:***

La coagulación es el fenómeno de estabilización de las partículas coloidales, que pueden conseguirse especialmente a través de la neutralización de sus cargas eléctricas con un coagulante. Por otro lado la floculación es la agrupación de las partículas descargadas, al ponerse en contacto unas con otras, esta agrupación es favorecida por algunos productos llamados floculantes.

Los principales floculantes utilizados son las sales de Aluminio y de Hierro.

### ***Neutralización:***

En ocasiones las aguas residuales contienen ácidos o álcalis con un pH muy alto o muy bajo, cuya acción debe ser neutralizada antes de su vertido o de su tratamiento biológico. La neutralización en el caso de vertido marcado por una autorización (reglamento de la ley de aguas) y en el caso de tratamiento biológico deber ser tal que aporte el pH entre 6.5 y 8.5 para no perturbar la actividad biológica.

Los cuatro compuestos utilizados más ampliamente en la neutralización son: sosa cáustica, cal, caliza y ácido sulfúrico. Otros compuestos utilizados son los ácidos nítrico, ácido clorhídrico, carbonato sódico y amoniaco.

La cal tiene como ventaja su bajo precio y facilidad de compra pero el inconveniente de una baja velocidad de reacción. Por otro lado tenemos al ácido sulfúrico que es el más utilizado para neutralizar aguas alcalinas por su bajo precio, (Díaz, 1991).

#### *2.1.2.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO*

Este tratamiento debe hacerse cuando las aguas negras todavía contienen, después del tratamiento primario, más sólidos orgánicos en suspensión o solución que los que puedan ser asimilados por las aguas receptoras sin oponerse a uno normal adecuado. El tratamiento secundario depende principalmente de los organismos aerobios, para la descomposición de los sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos e en sólidos orgánicos estables. Este tratamiento es comparable a la zona de recuperación de la autopurificación de una corriente (Hilleboe, 1976).

De acuerdo a Díaz (1991) este tratamiento es el encargado de reducir la DBO (Demanda Bioquímica de oxígeno) de las aguas residuales, ya sean industriales o urbanas. Como en dicho tratamiento se emplean procesos de oxidación biológica, también se denomina tratamiento biológico. El mecanismo de oxidación biológica, consiste en la asimilación

de la materia orgánica degradable biológicamente (DBO) por los microorganismos, en presencia de oxígeno y nutrientes de acuerdo con la siguiente reacción:

MATERIA ORGANICA + MICROORGANISMOS + O<sub>2</sub> → PRODUCTOS FINALES + BIOMASA BACTERIANA + ENERGIA.

Los productos finales del metabolismo aerobio son CO<sub>2</sub> y HO<sub>2</sub>.

Los procesos biológicos más utilizados son los lodos activados y los lechos bacterianos o filtros percoladores, (Díaz, 1991).

#### *Lodos activados:*

El sistema consiste en desarrollar un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculo (lodos activados) en un depósito agitado y aireado (deposito de aireación) y alimentado con el agua a depurar. La agitación evita la sedimentación y homogeneiza la mezcla de los flóculos bacterianos y el agua residual (licor mezcla); la aireación que puede hacerse partiendo del oxígeno del aire, de un gas enriquecido en oxígeno, o de oxígeno puro, tiene por objeto suministrar el oxígeno necesario tanto a las bacterias como al resto de los microorganismos aerobios, (Díaz, 1991).

Después de un tiempo de contacto suficiente, el licor de mezcla se envía a un clarificador (decantador secundario) destinado a separar el agua depurada, de los fangos, una parte de estos últimos se recirculan al depósito de aireación, (excepto en mezcla completa sin recirculación), para mantener en él mismo, una concentración suficiente de biomasa activa (bacterias activas) y el excedente (lodos secundarios en exceso), se extrae del sistema y se evacua al tratamiento de fangos.

#### *Lechos bacterianos.*

Este proceso consiste en hacer caer el agua a tratar previamente decantada en forma de lluvia, sobre una masa de material de gran superficie específica que sirve de soporte a

los microorganismos depuradores, los cuales forman en la misma una película de mayor a menor espesor, según la naturaleza del material utilizado.

Los filtros bacterianos se clasifican según su carga orgánica e hidráulica en filtros de alta o baja carga. Según el tipo de relleno los filtros pueden ser: de relleno tradicional o de relleno plástico.

El principio del funcionamiento del filtro es el siguiente: Se efectúa una aireación que tiene por objeto aportar a la masa del lecho, el oxígeno necesario para mantener a la microflora en un medio aerobio, las sustancias contaminantes del agua y el oxígeno del aire se difunden a través de la película biológica, hasta los microorganismos asimiladores, al mismo tiempo que se eliminan en los fluidos líquidos y gaseosos los subproductos y el gas carbónico, (Díaz, 1991).

## CLORACIÓN

Hilleboe (1976) señala que es un método de tratamiento que puede emplearse para muy diversos propósitos y en todas las etapas de un tratamiento de aguas negras y aún antes del tratamiento preliminar. Generalmente se aplica el cloro a las aguas negras con los siguientes propósitos:

- 1) Desinfección o destrucción de organismos patógenos.
- 2) Prevención de la descomposición de las aguas negras para: a) controlar olor, b) protección de las estructuras de las estructuras de la planta.
- 3) Como auxiliar en la operación de la planta para: a) la sedimentación, b) en los filtros goteadores, c) el abatimiento de los lodos activados.
- 4) Ajuste o abatimiento de la demanda bioquímica de oxígeno.

#### 2.1.2.4 TRATAMIENTO DE LOS LODOS

Los sólidos de las aguas negras están constituidos por los sólidos que se eliminan en las unidades de tratamiento primario y secundario, junto con el agua que se separa con ellos. Mientras que en algunos cuantos casos es satisfactoria la disposición de ellos sin someterlos a tratamiento, generalmente es necesario tratarlos en alguna forma para prepararlos o acondicionarlos para disponer de ellos sin originar condiciones inconvenientes. Los objetivos de este tratamiento tiene dos objetivos, siendo, el primero de éstos es eliminar parcial o totalmente el agua que contienen los lodos, para disminuir su volumen en fuerte proporción y, en segundo lugar, para que se descompongan todos los sólidos orgánicos putrescibles transformándose en sólidos minerales o sólidos orgánicos relativamente estables, (Hilleboe, 1976).

El tratamiento de los lodos depende de su composición y del tipo de agua residual del que provienen. Las fases más usuales en un proceso de tratamiento y evacuación de fangos son: concentración, digestión, acondicionamiento, secado, incineración y evacuación (fig. 2); la depuración de los lodos serán tratados en función de las disponibilidades económicas, destino final previsto, y la existencia del espacio, (Hilleboe, 1976).

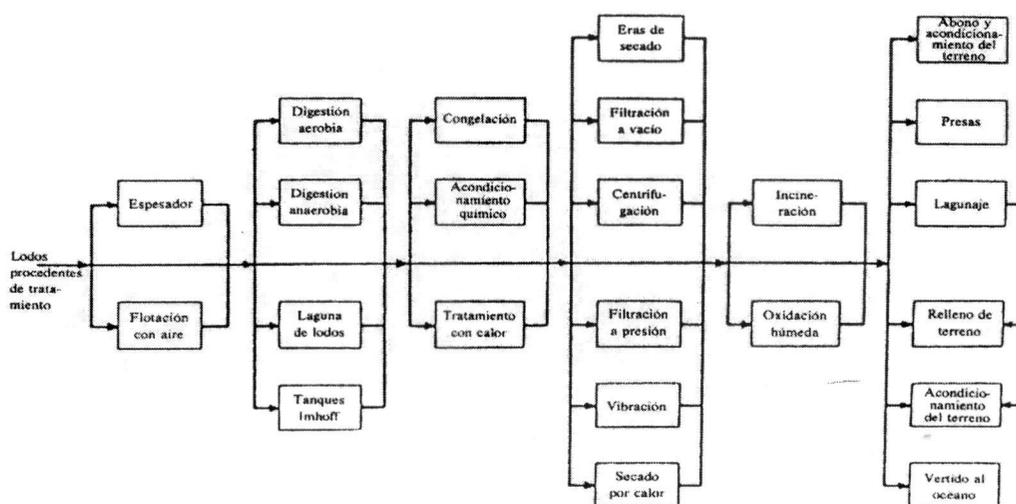


Fig. 2. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento, gestión, confinamiento y/o aprovechamiento de los diversos lodos residuales generados.

a) *Concentración de los lodos (espesamiento)*: Un espesador es un depósito cilíndrico terminado en forma cónica. Tiene una entrada (para fangos a espesar) y dos salidas: una por la parte inferior (fango a espesado) y otra por la parte superior para el sobrenadante o agua separada de los fangos. El fango que llega a los espesadores puede ser: Primario, secundario o, más usualmente, fango mixto de primario y secundario, (Díaz, 1991).

Los espesadores pueden ser estáticos o dinámicos, según que tenga rasquetas o no. Los estáticos sólo constan del depósito en sí, poseen un cono de descarga de gran pendiente. Solamente se construyen con diámetro máximo de 8 m.

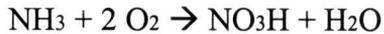
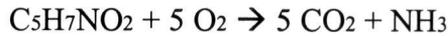
La concentración del fango a la entrada (mixto) es del 2-3% y pueden llegar a la salida a 4-6%, (Díaz, 1991).

b) *Flotación*: Este procedimiento consiste en inyectar aire a presión al líquido a tratar y seguidamente pasar la mezcla al aparato de flotación. Al entrar la mezcla en el decantador para previamente por una válvula que reduce la presión de la mezcla, con lo que el aire que se había disuelto a presión se libera en forma de pequeñas burbujas, que se adhieren a las partículas en suspensión elevándolas a la superficie. Sobre la superficie se forma un manto de lodo que mediante una rasqueta superficial se barre hacia una arqueta, (Díaz, 1991).

Este tipo de espesamiento se utiliza para lodos muy ligeros, tales como los secundarios de que se obtienen de un proceso de lodos activos, o entre aguas industriales, que contienen fibras, muy ligeras, o las que contienen aceites de emulsión, etc., (Díaz, 1991).

#### *Digestion (aerobia y anaerobia)*

a) Aerobia: Conocida como estabilización de fangos, se basa en la mineralización de la materia orgánica contenida en los lodos por su asimilación por células biológicas, en presencia de oxígeno libre molecular, se puede reflejar el proceso de digestión mediante la ecuación:



Este proceso se aplica usualmente a lodos mixtos o secundarios. Es un proceso sencillo y de bajo coste de instalación, pero debido al coste de la energía que precisa para mantener el lodo aireado, la utilización de este proceso se restringe a pequeñas plantas.

El volumen de lodos digeridos de formas aerobia es del mismo orden que en el caso que se utilice la digestión anaerobia, sin embargo los primeros son de mejores características.

Los lodos aerobios, debido a su menor resistencia específica a la filtración, se deshidratan fácilmente (Díaz, 1991).

b) Anaerobia: Es un proceso biológico en el cual la materia orgánica biodegradable es asimilada por una serie de microorganismos específicos, empleando parte de esta materia orgánica en la síntesis de nuevas células (nuevos microorganismos), sufriendo el resto un proceso de oxidación hasta los productos finales (metano y  $\text{CO}_2$ ) (Díaz, 1991).

Este proceso se produce en total ausencia de oxígeno disuelto. El mecanismo aceptado actualmente para explicar la biodegradación anaerobia se compone de cuatro fases consecutivas las cuales son:

*ba Fase hidrólisis:* Los sustratos sin disolver se hidrolizan y pasan a la solución, debido a la acción de enzimas extracelulares.

*bb Fase ácida.* Las sustancias orgánicas disueltas son transformadas mediante ciertas bacterias facultativas en ácidos orgánicos, alcoholes, aldehídos, etc., y  $\text{CO}_2$  e hidrógeno, que pueden aparecer como producto intermedio.

*bc Fase acetogénica.:* se forman los acetatos correspondientes.

*be Fase metánica:* Un grupo de bacterias estrictamente anaerobias transforman los acetatos en los productos finales, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. Esta fase es muy sensible al oxígeno, lo mismo que al pH ácido o alcalino. Esta última fase es la controlante del proceso (Díaz, 1991).

#### *Acondicionamiento de los lodos (adición de reactivos)*

Los lodos urbanos y muchos industriales tienen una estructura coloidal que los hace poco filtrables, por lo que el sistema de filtración consigue un bajo rendimiento. Para evitar este inconveniente se añade a los lodos reactivos floculantes, que rompen la estructura coloidal, y le confiere otra de carácter granular de mayor filtrabilidad, bajando por tanto su resistencia específica a la filtración. Se recomienda como una norma que los lodos acondicionados tengan una resistencia específica a la filtración por debajo de  $40 \times 10^7$  s<sup>2</sup>/g. (Díaz, 1991).

Los reactivos más utilizados son las sales de hierro (FeCl<sub>3</sub>), sulfato de alumina (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>), cal viva (CaO) y polielectrolito, se suele utilizar de ajuste de pH. Siendo que las cantidades van a variar de acuerdo a las características de los lodos (Díaz, 1991).

#### *2.1.2.5 DESHIDRATACIÓN DE LOS LODOS:*

*a- Eras o lechos de secado:* Este es el primer sistema que se utilizó, y aún se sigue utilizando, para la deshidratación de lodos por su simplicidad y bajo costo. Este procedimiento consiste en la disposición de los lodos a secar sobre una superficie al aire libre dotada de un buen drenaje. La altura de la capa extendida varía según las características del lodo. Para los lodos urbanos digeridos se disponen capas de 20 a 30 cm. La superficie de las eras varía en función del clima de la zona. En ocasiones, en zonas húmedas, se construyen cubiertas con el fin de proteger las eras de la lluvia. La torta de lodos se suele secar cuando la humedad de la misma desciende por debajo del 65% (Díaz, 1991).

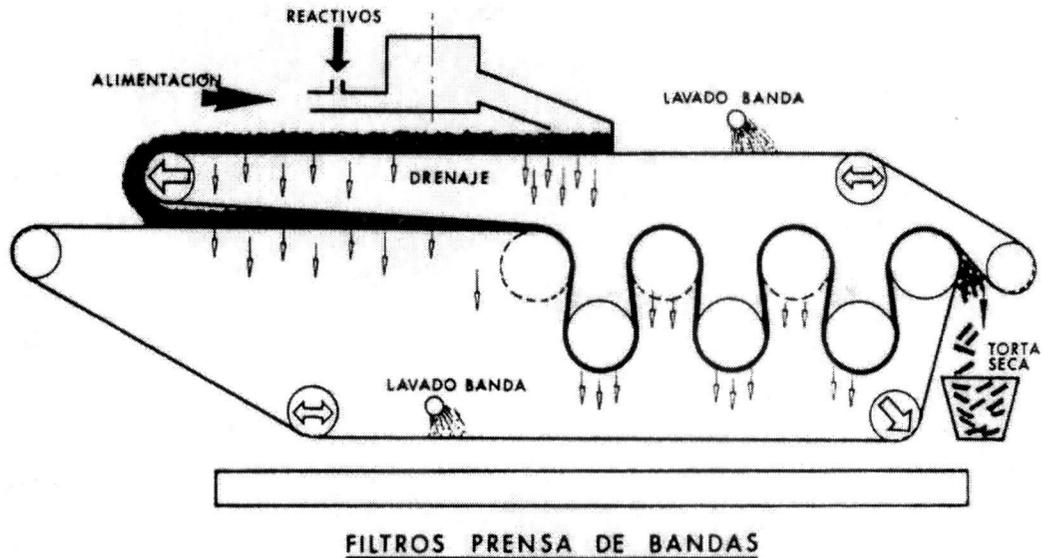
**b- Filtros de vacío:** se han empleado desde hace muchos años tanto para los lodos primarios brutos como digeridos, mixtos e industriales. La velocidad de filtración a través de 1 m<sup>2</sup> de superficie filtrante en unas 2000 veces superior a la que se obtiene en las eras de secado.

El rendimiento de este tipo de filtro se mide en kg de materia seca que es posible retener por hora y m<sup>2</sup> de superficie filtrante. Para conseguir rendimientos aceptables se requiere que los lodos tengan una concentración en materia seca de al menos 4% (Díaz, 1991).

**c- Filtros prensa:** Este tipo de proceso tiene la desventaja de que las instalaciones trabajaban en discontinuo. Hoy en día se esta desarrollando la filtración en continuo separando la desventaja de los filtros clásicos de placas. Pueden bajar la humedad de la torta hasta el 50% hecho que no es posible con los filtros en vacío ni con las centrífugas.

Estos filtros consisten en una serie de placas irregulares con tela filtrante por ambos lados. Estas van colocadas en posición vertical y son prensadas mediante un sistema hidráulico (Díaz, 1991).

**d-Filtro de prensa de bandas:** están formados por dos bandas de tela, entre las que se alimenta el lodo (fig. 14). El líquido pasa a través de las telas y la torta sale por el extremo de la banda. La sequedad de la torta es inferior a la que se consigue en el filtro de placas, pero mayor que con un filtro de vacío. (Díaz, 1991).



**Fig. 3. Diagrama esquemático de un filtro prensa de bandas.**

### 2.1.3 PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS

Díaz (1991) indica que las características de los lodos, son consecuencia del uso que se haya dado a las aguas, y de los sucesivos procesos de depuración a los que se han visto sometidos.

A continuación se describen las propiedades que según Gamrasni (1985), presentan los lodos residuales:

#### 2.1.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Los lodos de origen primario y secundario se presentan en forma de un líquido que contiene partículas no homogéneas en suspensión. Su volumen representa del 0.05 al 0.5% del volumen de agua tratada para los lodos frescos, mientras es ligeramente inferior para los lodos activados y otros procedimientos biológicos. La floculación del agua aumenta el volumen de los lodos, y sobre todo su peso, en aproximadamente un 10%.

El color de los lodos varía entre el pardo y el gris, y su olor es a menudo desagradable puesto que se trata de productos fácilmente fermentables y existe un inicio de descomposición.

*a) Contenido de materia seca.*

Se trata de medir el peso del residuo seco después de su calentamiento a 105° C , hasta peso constante; Se expresa finalmente como un porcentaje que varía de 3 a 8% de materia seca .

*b) Contenido de agua intersticial.*

El agua contenida en el lodo se presenta de dos formas:

1) Agua libre que se elimina fácilmente por filtración o decantación.

2) Agua ligada, contenida en las moléculas químicas, las sustancias coloidales y las células de materia orgánica que no se puede eliminar, solamente con el calor.

Se mide la proporción entre el agua ligada y el agua libre por la pérdida de peso a temperatura constante en función de tiempo.

*c) Viscosidad.*

Su viscosidad se mide en función de la contracción por cizallamiento. Esta permite definir sus caracteres tixotropicos lo que es importante para su transporte.

*d) Carga específica.*

Este parámetro permite medir la capacidad de decantación de los lodos, se expresa en  $\text{kg. m}^2/\text{d}$ ; es la cantidad de materia seca decantada por unidad de superficie. Esta carga depende del contenido de materiales volátiles.

### 2.1.3.2 PROPIEDADES QUÍMICAS.

#### a) Elementos nutritivos.

Se trata del contenido de Nitrógeno total, Fósforo y Potasio. Son sustancias que favorecen el crecimiento de las plantas y que tienen por consiguiente mucha importancia para la utilización agrícola de los lodos, ya sea esparciéndolos o mezclándolos con los desperdicios domésticos.

#### b) Microcontaminantes orgánicos.

Son sustancias que pueden tener una acción negativa sobre el tratamiento de los lodos y sobre su utilización en la agricultura. Se trata generalmente de productos químicos de síntesis que se utilizan comúnmente y que se encuentran en las aguas domésticas de desecho.

#### c) Microcontaminantes minerales.

Los lodos contienen numerosos elementos minerales, algunos de ellos tienen una acción positiva sobre las plantas o sobre el alimento de los animales, sin embargo, otros tienen una acción negativa sobre el uso posterior de las aguas negras, por ejemplo el boro o el cobre. Resulta, pues, indispensable conocer el contenido de los lodos antes de la utilización agrícola.

### 2.1.3.3 PROPIEDADES BIOLÓGICAS

Las aguas de desecho contienen una flora y una fauna variadas que se encuentran en parte en los lodos. El tratamiento biológico de las aguas de desecho modifica la composición biológica, por la multiplicación de ciertas especies en detrimento de las otras.

Bacterias: Se encuentran diferentes tipos de bacterias en los lodos, una parte de estas bacterias es de tipo fecal y algunas provienen de portadores de gérmenes; estas pueden ser patógenas. Se clasifican las bacterias en cuatro clases:

\*Aerobias estrictas.- Solo se desarrollan en presencia del aire; se encuentran en grandes cantidades en los lodos activados.

\*Aerobias facultativa.- estas se pueden desarrollar por anaerobiosis por el consumo de oxígeno contenido en la materia orgánica (ej. *aeromonas*).

\*Anaerobias facultativas.- estas soportan la presencia del aire, pero solo se desarrollan por procesos anaeróbicos (ej. *Lactobacillus*).

\*Anaerobia estricta: el desarrollo de estas bacterias se efectúa en anaerobiosis (ej. *Clostridium*).

El tratamiento biológico favorece el desarrollo de ciertas bacterias en detrimento de las otras, y su almacenamiento permite a los organismos anaerobios desarrollarse.

Los microorganismos patógenos se encuentran generalmente en los lodos y en los efluentes; por lo tanto, es preciso tener cuidado de eliminarlo de ambos elementos.

El procedimiento para obtener los datos del laboratorio fue el siguiente:

Virus: Se encuentran enterovirus, adenovirus y reovirus absorbidos sobre la materia sólida de los lodos, en una proporción despreciable (alrededor del 30% de las muestras de lodos) no es fácil tener éxito en su eliminación; sin embargo, según la utilización ulterior de los lodos debe ser motivo de preocupación.

Parásitos: Gran cantidad de parásitos en los lodos de origen fecal, se trata de huevos de áscaris, tricocefalos, helmintos, *Taenia* o duelas hepáticas, o de formas enquistadas de *Giardia* o tricomonas. Estos se eliminan fácilmente ya que estos organismos toman una forma vegetativa cuando las condiciones les son hostiles, mientras que se desarrollan en animales de sangre caliente o en el hombre.

Hongos: Aquí se habla de las levaduras y los saprofitos que están presentes normalmente en el aire; por lo general, no son patógenos para los animales y el hombre, pero algunos pueden serlo cuando encuentran condiciones favorables.

Algas: Existen en pequeñas cantidades en los lodos primarios, secundarios y por el lado contrario las encontramos en grandes cantidades en las lagunas naturales, ya que ahí forman detritus de algas.

#### 2.1.4 RIESGO SANITARIO Y AMBIENTAL

A pesar de las buenas características agronómicas que presentan los lodos, algunos de ellos no pueden ser utilizados en Agricultura ya que contienen diferentes tipos de sustancias que en concentraciones superiores a ciertos niveles y en determinadas condiciones del medio pueden producir efectos tóxicos sobre los vegetales y las personas o animales que los ingieran, contaminar los suelos y las aguas subterráneas (Bigeriego, 1993). Por lo tanto se requieren análisis químicos para determinar el contenido de nutrientes y metales pesados y calcular una tasa de aplicación debido a que las entradas al lodo del drenaje pueden variar considerablemente (Lovell, 1996).

Por otra parte, Felipó (1995) mencionó que los residuos sólidos urbanos y las aguas residuales contienen todo lo que a nivel doméstico se desperdicia, además durante el tratamiento depurador del agua residual, muchos de los posibles contaminantes se van concentrando en el lodo por ello es lógico pensar que contendrán una amplia variedad de agentes que podrían denominarse indeseables, si se quiere planificar su utilización.

Dentro de este contexto se entiende como contaminante a una sustancia orgánica, inorgánica, una combinación de ambos tipos u organismos patógenos que después de su descarga a través de diversas vías de exposición-ingestión, o asimilación por un organismo directamente del medio ambiente o indirectamente por ingestión por la cadena alimentaria- puede causar muerte, enfermedades, mutaciones genéticas, etcétera. Los posibles agentes implicados en la contaminación agrícola por residuos de se enumeran a continuación; algunos son considerados de naturaleza abiótica y otros de naturaleza biótica, siendo los tres primeros los de mayor interés (Felipó, 1995).

- Elementos potencialmente tóxico
- Compuestos orgánicos potencialmente tóxicos
- Organismos patógenos
- Nutrientes (N,P) en exceso
- Otros (Sales solubles)

Por su parte los receptores a quienes potencialmente pueden afectar los citados contaminantes, algunos pueden verse afectados directamente e indirectamente. El hombre y los animales pueden entrar en contacto con los contaminantes por que estos se hallan en el medio ambiente o por que se han incorporado a la cadena alimentaria y a través de ella pueden afectar su salud (Felipó, 1995).

- Suelo
- Vegetales
- Animales
- Hombre
- Agua
- Aire

#### 2.1.4.1 ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS

De las sustancias anteriormente mencionadas Felipó (1995) y Walter *et al.* (1994) indicaron que los metales pesados son los que representan una problemática más compleja debido a las concentraciones con que se presentan en algunos lodos. Por lo tanto, existe un riesgo a tener en cuenta cuando se aplican los lodos en agricultura ya que estos pueden poseer elevadas concentraciones de metales pesados que pueden producir efectos fitotóxicos en los cultivos y/o contaminar los suelos y las aguas subterráneas constituyendo esto su principal limitación (Otero *et al.*, 1996). Los elementos que deben controlarse para fines agronómicos en lodos residuales según la normatividad española y en EUA se muestran en el cuadro 3 según Felipó (1995).

**Cuadro 1. Esencialidad y toxicidad de elementos potencialmente tóxicos en plantas y animales**

	ep	ea	tp	ta	Control en residuos		Contaminantes antes del suelo NL
					E	USEPA	
As			*	*		*	*
Cd			*	*	*	*	*
Cr		*			*	*	*
Cu		*	*	*	*	*	*
Hg	*		*	*	*	*	*
Mo	*	*	*	*		*	*
Ni		*	*		*	*	*
Pb			*	*	*	*	*
Se		*	*	*		*	
Zn	*	*	*	*	*	*	*
Ba	ne	ne	ne	ne			*
Co		*					*
Sn		*		*			*

ne: no especificado

Esencialidad (e) y toxicidad (t) de elementos potencialmente tóxicos en plantas (p) y animales (a). Elementos que deben controlarse para fines agronómicos en lodos residuales según RD 1310/1990 y compost según RD 897/1988 en España (E), y en USA según criterios EPA (40 CFR, Part 503). Elementos que según criterios holandeses (NL) se consideran contaminantes del suelo (VROM 1983/1990).

En este sentido un gran número de países industrializados como E.U.A. Canadá, Dinamarca, Alemania, Holanda, Francia, Italia, entre otros han establecido normativas que regulan la utilización de lodos residuales en agricultura con el fin de minimizar o evitar los riesgos de contaminación de estos residuos urbanos y/o industriales (Felipó, 1995). Algunas de las cuales se pueden observar en el cuadro 2

**Cuadro 2 .Valor límite de concentración de metales pesados en lodos destinados a su utilización agraria con diferentes legislaciones (Amorena, 1995).**

<b>Metal</b>	<b>Legislación Italiana RD 1310/1990 *</b>	<b>Legislación Francesa AFNOR 44-04/85 *</b>	<b>Legislación Americana EPA 503 STANDARDS *</b>
Zinc (Zn)	<4000	<6000	<7500
Plomo (Pb)	<1200	<1600	<840
Cobre (Cu)	<1750	<2000	<4300
Cromo (Cr)	<1500	<2000	<3000
Níquel (Ni)	<400	<400	<420
Cadmio (Cd)	<40	<40	<85
Mercurio (Hg)	<25	<20	<57

\* Niveles Máximos expresados en mg kg<sup>-1</sup>.

Así mismo, en España mediante el Real Decreto 1310/1990 de 29 de octubre de 1999 el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación ha regulado la utilización de lodos de depuradoras de aguas residuales a utilizarse en la agricultura en función del contenido de metales pesados y considerando el pH del suelo, mostrado en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Valor limite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a su utilización agraria en España. (Robusté, 1995).**

<b>Parametros</b>	<b>Valores límite mg kg<sup>-1</sup></b>	
	<b>Suelos con pH &lt;7</b>	<b>Suelos con pH&gt;7</b>
Cadmio	20	40
Cobre	1000	1750
Níquel	300	400
Plomo	750	1200
Zinc	2500	4000
Mercurio	16	25
Cromo	1000	1500

Los sólidos residuales evaluados en la presente investigación fueron analizados con el fin de detectar, la presencia de residuos peligrosos, infecciosos o metales pesados que evitarían su uso en la agricultura. El principal inconveniente de los lodos para su utilización en la agricultura es que suelen estar contaminados con metales pesados esto es la causa por la que en Europa todavía se tenga la inseguridad de su uso. Solo una legislación y vigilancia estricta puede asegurar en el futuro el aprovechamiento de este residuo para enriquecer la tierra.

Los lodos de las estaciones depuradoras de aguas residuales pueden sufrir distintos métodos de estabilización durante el proceso de generación; además de una deshidratación. El agua a tratar se somete a un pretratamiento (desengrasado, tamizado, retención de sólidos grandes), tras el cual pasa a una decantación primaria que consiste en un tratamiento mecánico mediante el cual se eliminan las grasas, detergentes y sólidos grandes. Posteriormente tiene lugar una depuración biológica que tiene como finalidad destruir la materia orgánica. Este proceso de depuración puede ser aerobio y anaerobio, separándose una parte de la materia orgánica restante por decantación. Una vez separada el agua, los lodos quedan inestabilizados o crudos.

**Cuadro 4. Valores permisibles de metales pesados para la aplicación de lodos en la agricultura:**

Metal	Valor permisible mg/kg	Valor de seguridad mg/Kg
	Para lodos	Para uso agrícola
Plomo	1200	100
Cadmio	20	3
Cromo	1200	100
Cobre	1200	100
Níquel	200	50
Mercurio	25	2
Zinc	3000	300

Fuente: Rump y Krist, 1992.

Los valores antes mencionados son tomados a nivel mundial, y son los máximos contenidos de metales que deben presentar los lodos residuales para que estos puedan ser utilizados en actividades agrícolas.

En la normatividad mexicana se tienen a consideración también ciertos niveles de metales pesados que deben contener los residuos, pero en esta normatividad no se especifica que sean para lodos residuales sino que son para residuos peligrosos en general ya que estos están considerados como desechos peligrosos, al parecer ya se trabaja en la norma oficial mexicana que regula y autoriza el uso de estos materiales.

**Cuadro 5. Valores máximos permisibles de metales pesados según la norma oficial mexicana para residuos peligrosos.**

<b>Metal</b>	<b>Mg L<sup>-1</sup></b>
Plomo	5
Cadmio	1
Cromo	5
Níquel	5
Mercurio	0.2
Arsénico	5
Bario	100
Plata	5
Plomo	5
Selenio	1

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 1993.

La terminología ha complicado muchas veces los debates sobre la importancia y el significado ambiental y sanitario de estos elementos en suelos aguas y organismos ya que muchos de estos elementos son esenciales pero tóxicos en determinadas concentraciones y otros sin funciones de esencialidad reconocidas, poseen elevada toxicidad (Soliva, 1995).

Los criterios utilizados para su designación han sido muy variados y no son excluyentes de la mayoría de la veces. Las denominaciones mayormente utilizadas son: metales pesados, metales tóxicos, oligoelementos, micronutrientes elementos traza, etc. Sin embargo, la denominación de elementos potencialmente tóxicos, por su significado más amplio, es la que esta se esta extendiendo. La presencia de estos elementos en residuos urbanos es prácticamente inevitable, pero un contenido elevado suele ir asociado a actividades industriales y su comportamiento en el suelo está acondicionado por la naturaleza de cada elemento, las condiciones del suelo, condiciones climatológicas y las interacciones suelo-elemento, por lo tanto es fácil deducir que los mecanismos que regulan su retención y movilización son numerosos, complejos y están interrelacionadas entre si en la mayoría de los casos. En general en suelos con un pH inferior a 6 favorece la solubilización de algunos de estos metales por lo que debe prohibirse la aplicación de residuos ricos en elementos potencialmente tóxicos mientras que en suelos con pH de 8-8.5 se incrementa considerablemente la inmovilidad de los metales, y por tanto asegura una menor asimilación de estos por las plantas. Además, la absorción de metales pesados por las plantas está condicionado tanto por el elemento, su concentración y grado de disponibilidad, como por la especie vegetal y la interacción con macronutrientes (Soliva, 1995).

La biodisponibilidad de metales en el sistema suelo planta por aporte de lodos, se ha estimado apartir de los coeficientes de transferencia, observándose, que el Cd y el Zn poseen los valores más elevados. En general parece que la biodisponibilidad es superior para Cd, Cu, Ni, y Zn, que para Pb Hg y Cr, pero incluso para los elementos más móviles la cantidad de metal transferida al cultivo es inferior al 0.05% de la cantidad aplicada anualmente por aporte de lodos (Amorena, 1995).

Con respecto a los coeficientes de transferencia, la incorporación de los metales pesados dentro de las plantas se lleva acabo principalmente por absorción (Uptake) a través de la raíz. Uptake puede ocurrir también por la absorción de los metales presentes en los depósitos de polvo sobre las hojas. Muchos son los factores que influyen sobre el Uptake. El Uptake puede ser estimado por el coeficiente de absorción biológica CAB.

$CAB = M_p/M_s$ , donde  $M_p$  es la concentración del elemento en la planta y  $M_s$  es la concentración en el suelo.

Alternativamente esta el coeficiente de absorción relativa  $CAR$ .

$CAR = M_p/M_{rp}$ , en donde también puede ser utilizado el  $M_{rp}$ , que es la concentración del elemento en una planta de referencia (Ferguson, 1990).

La acumulación de elementos potencialmente tóxicos en determinadas especies tejidos u órganos es variable, en general, las hortalizas tienden a asimilarlos con mayor facilidad que las gramíneas, siendo al mismo tiempo más sensibles a la toxicidad las primera y más tolerantes las segundas. (Amorena, 1995), según Bontoux *et al.* (1999) los productos que presentan más riesgo de acumulación son las espinacas, los apios, las lechugas y las zanahorias.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la principal propiedad del suelo que controla la retención y la toxicidad de los metales en suelos tratados con lodos, y a su vez, la CIC depende del pH, del contenido de materia orgánica y de la textura. Sin embargo, la absorción de las plantas depende de las propiedades del suelo y de las prácticas agrícolas.

Otra limitación para la aplicación de estos materiales al suelo, tiene que ver con los tiempos de espera desarrollados para cosechas específicas y especies de ganado, las cuales se pueden observar en el cuadro 6, de acuerdo a Lovell (1996). Dichos periodos son necesarios para reducir aún más el número de patógenos que permanecen en los biosólidos del drenaje después de la estabilización.

**Cuadro 6. Restricciones para la aplicación de biosólidos de drenaje relacionadas con la salud pública y patógenos (Lovell, 1996).**

<b>Cosecha</b>	<b>Período de espera después de la aplicación de biosólidos</b>
Heno y "haylage"	3 semanas antes de cosechar
Pastura para puercos, borregos y chivas	2 meses antes del apacentamiento
Pastos comerciales	6 meses antes del apacentamiento
Frutas pequeñas	15 meses antes de cosechar
Árboles frutales y uvas	3 meses antes de cosechar
Legumbres	12 meses antes de cosechar
Tabaco	No se recomienda aplicación
Jardines residenciales	No se recomienda aplicación
Campos de Golf y campos para recreación	Se recomienda aplicación solo si hay estabilización adicional aparte de la digestión que se usa para reducir el contenido de patógenos

La conclusión presentada por Janse (1998) del programa de biosólidos de Ontario, Canadá, fue, que se ha comprobado que la aplicación de biosólidos en tierras agrícolas es una alternativa para la eliminación económica, ambientalmente segura y productiva con respecto a la agricultura. En los últimos 20 años desde que se implementó el programa, nunca ha habido un problema con el uso de este material en terrenos agrícolas. No ha habido pruebas de impacto adverso en la producción de cosechas o en la salud de los animales o los humanos. Los estudios también han demostrado que hay poca o casi nada la acumulación de metales en la tierra como resultado de la aplicación de biosólidos.

#### *2.1.4.2 CONSIDERACIONES SOBRE LOS MICROELEMENTOS Y SUS EFECTOS TÓXICOS*

El cobre, el hierro, zinc, cobalto, manganeso etc. son elementos que se encuentran naturalmente en los suelos y son indispensables para el crecimiento de las plantas mientras que otros son introducidos por el hombre y pueden tener consecuencias desfavorables (Gamrasni, 1985).

El zinc y el cobre se encuentran en gran cantidad en las plantas, su toxicidad es muy baja, ya que es necesario que alcance 1000 ppm en el forraje para observarse los efectos sobre los animales. El hierro y el manganeso están presentes en todos los suelos y ejercen una acción enzimática importante sobre las plantas y al parecer no se ha establecido su umbral de toxicidad. El boro no es un metal, pero es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas aun cuando no se conozca su mecanismo de acción. El molibdeno es necesario para las plantas en dosis muy bajas (0.01 a 1 ppm), pero cuando las plantas contienen 5 ppm de este elemento son tóxicos para los rumiantes (Martínez, 1995).

El arsénico se pueden encontrar por acumulación, aunque no es utilizado por la planta para su desarrollo puede ser tóxico tanto para plantas como para los animales, en forma de sal (arsenatos o arsenitos). Este elemento proviene sobre todo de los plaguicidas y muy poco de los lodos (Gamrasni, 1985).

## 2.2 LOS LODOS RESIDUALES EN LOS AGROSISTEMAS

### 2.2.1 IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LOS AGROSISTEMAS

En la mayor parte de la vegetación natural, la cantidad de materia orgánica existente en el suelo se mantiene aproximadamente constante, lo que permite establecer que estas comunidades presentan una estabilidad relativa, en las cuales las aportaciones están en equilibrio con lo mineralizado y extraído. En los sistemas agrícolas no existe tal estabilidad, el aporte de materia orgánica es discontinuo y depende del ser humano, estos aportes sustituyen a la hojarasca, siendo la descomposición activa por el enterramiento, el laboreo, y el aporte simultáneo de abonos minerales. Frecuentemente los aportes se dan en épocas del año que no coinciden con la máxima actividad microbiana y no está en relación lo extraído en calidad y cantidad con el aporte (Labrador, 1996).

Hasta hace pocos años, se pensaba que los abonos químicos bastaban para mantener la fertilidad de los suelos, no obstante se observó que era necesario aumentar incesantemente las dosis de abonos minerales para mantener los niveles productivos de las cosechas. Esta realidad hizo pensar que los abonos químicos constituyen solo una parte, importante en sí, pero insuficiente de lo que el suelo necesita para mantener su fertilidad (Angel y Vázquez, 1998). Actualmente, debido a la problemática generada por la intensificación del uso del suelo, vuelve a reconocerse a la materia orgánica la función que le corresponde en el mantenimiento de la sustentabilidad -productiva, funcional y ambiental- del agrosistema (Labrador, 1996).

Por otra parte Bigeriego (1993) señala que el desarrollo de una serie de carencias del suelo vino a demostrar que este no es un soporte inerte, sino que constituye un ente vivo en el que tienen lugar múltiples procesos físicos-químicos, bioquímicos y microbiológicos fundamentales para el desarrollo de las plantas. En consecuencia de ello se desprende que para efectuar una buena fertilización de los cultivos, no solo debe atenderse las necesidades intrínsecas de los mismos, sino que es necesario suministrar al suelo aquellos componentes que le son imprescindibles para mantener y en algunos

casos mejorar sus propias características en beneficio de las especies vegetales que crecen sobre él. Labrador (1996) señala que la fertilidad del suelo desde un punto de vista global, no sólo se muestra como la capacidad de ese medio para aportar nutrimentos minerales esenciales a la planta, sino que además, fertilidad del suelo será también, la capacidad de ese recurso para mantener un nivel de producción alto, pero perdurable en el tiempo, sin perder por ello su diversidad biótica ni su complejidad estructural y todo ello dentro de un equilibrio dinámico, en el cuadro XX se presentan los efectos más destacados de la M. O. En los suelos de cultivo.

En este sentido, si la función de la materia orgánica fuese únicamente aportar nutrientes al suelo, en especial nitrógeno, tendría poco interés, ya que la fertilización mineral actúa en este sentido cuantitativamente con mayor rapidez. Sin embargo, el papel de la materia orgánica en la complejidad del suelo es mucho más importante, y por ello insustituible (Labrador, 1996).

**Cuadro 7. Efectos más destacados de la materia orgánica sobre los suelos de cultivo.**

<b>Parámetros edáficos</b>	<b>Efectos de la M. O. Humificada</b>
<b>FÍSICOS</b>	Aumento de la capacidad calorífica
	Suelos más calientes en primavera
	Reducción de las oscilaciones térmicas
	Agregación de partículas elementales
	Aligera suelos arcillosos y cohesiona arenosos
	Aumenta la estabilidad estructural
	Aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa
	Facilita el drenaje y las labores
	Reduce la erosión
	Aumenta la capacidad de retención hídrica
Reduce la evaporación	
Mejora el balance hídrico	
<b>QUÍMICOS</b>	Aumenta el poder tampón al regular el pH
	Aumenta la capacidad de cambio catiónico
	Mantiene los cationes en forma cambiante
	Forma fosfohumatos
	Forma quelatos
Mantiene las reservas de nitrógeno	
<b>BIOLÓGICOS</b>	Favorece la respiración radicular
	Favorece la germinación de las semillas
	Favorece el estado sanitario de órganos subterráneos
	Regula la actividad microbiana
	Es fuente de energía para microorganismos heterótrofos
	El CO <sub>2</sub> desprendido favorece la solubilización mineral
	Contrarresta el efecto de algunas toxinas
	Modifica la actividad enzimática
	Activa la rizogénesis
Mejora la nutrición mineral de los cultivos	

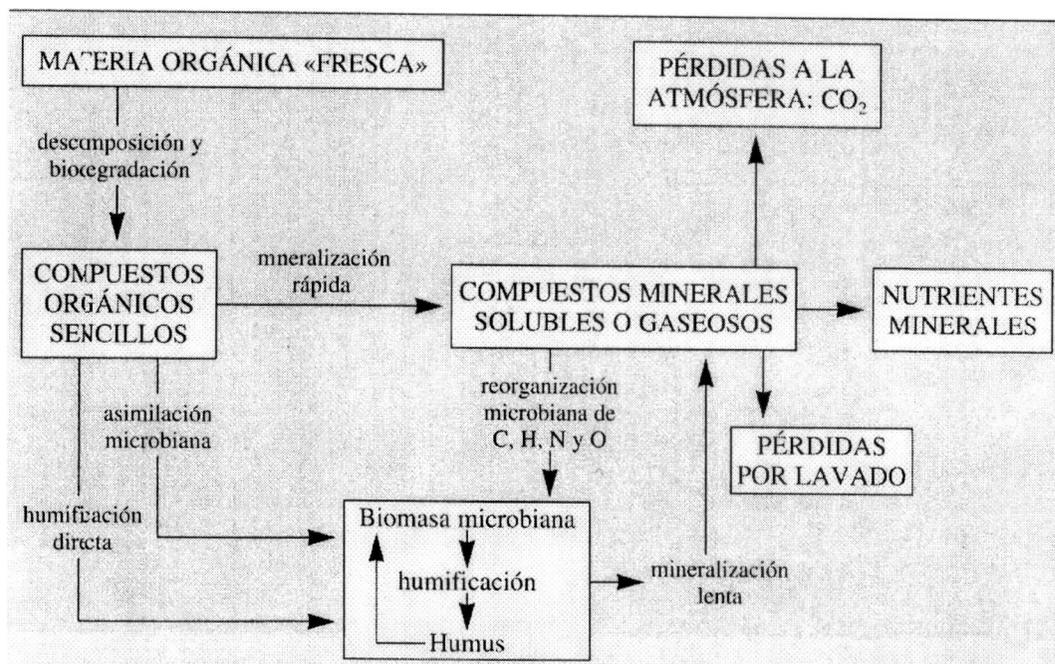
Fuente: Urbano (1987), tomado por Labrador (1996).

Investigaciones efectuadas para conocer la incidencia de la materia orgánica sobre las características físicas, físico-químicas y microbiológicas del suelo, han demostrado que los compuestos húmicos juegan un papel de primer orden en el mantenimiento de las citadas características y se descenso repercute negativamente sobre una serie de propiedades del suelo entre las que Bigeriego (1993) cita a continuación:

- 1) Los niveles de nutrientes del suelo descienden a medida que disminuye el nivel de materia orgánica de los suelos, siendo necesario el aporte de cantidades crecientes de abonos químicos que en algunos casos no mantienen los mismos rendimientos productivos. Por otra parte, dado que en la materia orgánica los nutrientes son liberados lentamente a medida que tiene lugar la mineralización, se pueden considerar los compuestos orgánicos como "fertilizantes de liberación lenta " que tienen la ventaja sobre los abonos sintéticos tradicionales de aumentar el grado de eficacia, en la absorción de nutrimentos sobre todo el caso de los muy móviles como el nitrógeno.
- 2) Con el agotamiento del humus y la quema de los residuos orgánicos, se esta empobreciendo la capa productiva de los suelos, con lo que descienden los niveles de su cubierta vegetal y ello provoca la desertización de amplias zonas del mundo por efecto de la erosión eólica e hídrica.
- 3) Los problemas de carencia en las cosechas por falta de oligoelementos han aumentado considerablemente en los últimos años
- 4). El descenso de la materia orgánica tiene también un efecto negativo sobre la capacidad de retención de agua de los suelos, lo que resulta un factor muy negativo para la vegetación principalmente en zonas áridas.

Por lo anterior, se puede concluir que sin materia orgánica difícilmente los suelos podrán suministrar los nutrimentos necesarios para el crecimiento de las plantas y por otra parte los compuestos orgánicos constituyen la fuente de energía de los microorganismos del suelo, los cuales permiten que los elementos nutritivos pasen a forma asimilable por las plantas (fig. 4).

En consecuencia cualquier programa que se tenga la finalidad de incrementar los niveles de materia orgánica en los suelos, repercutirá sobre directamente en la mejora de las características físico-químicas del suelo, la calidad y rendimiento de las cosechas, el descenso en los índices de desertización, así como la regeneración de suelos alterados por los incendios, la erosión la actividad minera y otros.



**Fig. 4. Esquema simplificado de la transformación de la Materia Orgánica "fresca".**

### 2.2.2 USO DE LODOS RESIDUALES COMO FUENTE DE MATERIA ORGÁNICA

Para intentar remediar el déficit de materia orgánica de los suelos, evitando los peligros que anteriormente se han señalado, se hace imprescindible encontrar fuentes alternativas de materia orgánica que puedan sustituir los tradicionales estiércoles de origen animal. Una de estas fuentes alternativas de materia orgánica la constituyen los residuos urbanos, tanto los que se obtienen de la fracción orgánica de las basuras, como de los lodos de aguas residuales, que cada día se están generando en mayor volumen a medida que entran en servicio nuevas plantas de reciclaje de basura y de depuración de aguas.

Estos dos tipos de subproductos urbanos representan, bien utilizados separadamente o de una forma conjunta una fuente de materia prima de gran valor para la obtención de fertilizantes orgánicos. Las características de estos residuos eran conocidas desde hace tiempo, no obstante se les ha comenzado a valorar desde el punto de vista agronómico, cuando se han desarrollado suficientes tecnologías de fraccionamiento de basuras se han mejorado las líneas de fango de las depuradoras de aguas residuales y se han desarrollado procesos industriales de tratamiento del subproducto orgánico por fermentación aeróbica.

Respecto al contenido de materia orgánica del compost de lodos conviene destacar que su contenido oscila entre un 35 % y un 40 % , situándose a un nivel similar o ligeramente superior al de los estiércoles de ganado ovino y caballar, de gran prestigio entre los agricultores. Sin embargo, en algunos casos se han reportado contenidos de materia orgánica superiores al 70 % e inferiores al 30%.

La producción de lodos de origen urbano crece junto con el desarrollo las plantas de tratamiento. Por otra parte, la demanda de nutrientes del terreno y de agua para riego aumenta de manera continua. Debido a estas dos condiciones económicas, el gobierno de algunos países se ha visto obligado a sugerir el uso agrícola de lodos, ya que el costo de los fertilizantes se ha incrementado considerablemente en los últimos años.

### **2.3 EL USO DE LODOS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA**

El uso agrícola de los residuo urbanos aparece como la opción de vertido más barata y por ello se han realizado numerosos estudios con el fin de evaluar sus posibles ventajas, desventajas y riesgos asociados. La aplicación agrícola de los residuos orgánicos derivados de la actividad humana es casi tan antigua como la propia agricultura e implica el reciclado de la materia orgánica que, a su vez, es el fundamento inicial de la agricultura sostenible.

Sin embargo Soliva (1995) indicó que no se deben utilizar indiscriminadamente los lodos en la agricultura, puesto que dichos lodos no sólo contienen sustancias benéficas para las plantas y el suelo, sino que también suelen encontrarse sustancias indeseables. En relación a esto Felipó (1995) señaló que una reutilización agrícola incorrecta de lodos puede ocasionar efectos indeseables sobre el suelo.

Aunque son muy diversos los posibles usos de los residuos sólidos en agricultura, su valor puede resumirse en tres variantes: Abono o fertilizante, enmienda orgánica o húmica y sustrato de cultivo. Se puede decir que estas tres opciones son complementarias puesto que en cada una tiene sus usos asimilables. Por otro lado, su uso principal vendrá determinado por el objetivo final de su aplicación: poner nutrientes a

disposición de los cultivos (abono), aumentar el nivel de humus del suelo (enmienda orgánica) o utilizarlos como soporte, total o parcial, de los cultivos (sustratos) Martínez (1995).

El reciclaje de biosólidos, para el Comité de Uso de Biosólidos (BUC siglas en ingles), ofrece un manejo ambientalmente seguro a la alternativa de eliminación, por lo tanto se reduce la cantidad de material que de lo contrario entraria al relleno sanitario o a un incinerador. La aplicación de biosólidos en suelos:

- Reduce la demanda de fertilizantes comerciales.
- Mejora la fertilidad del suelo.
- Mejora la estructura de las tierras, la retención de humedad e impermeabilidad del suelo.
- Agrega materia orgánica la cual se reduce a la posibilidad de erosión del suelo.
- Presenta beneficio con sentido económico.

Según Bontoux *et al.* (1998) potencialmente, la opción más atractiva sería esparcir los lodos en terrenos agrícolas, porque podrían reciclar nutrientes y ser útiles desde el punto de vista agronómico.

En cuanto a la aplicación/dispersión de estos materiales Lovell (1996) menciona algunos puntos a considerar, como es la fecha de aplicación, evitando hacerlo cuando se pueda compactar el suelo o cuando los equipos de aplicación puedan tener problemas durante el trabajo. La inyección de biosólidos en el suelo usando un sistema de manguera de arrastre o autopropulsión puede reducir enormemente la probabilidad de escurrimiento, olores desagradables y pérdida del nitrógeno. Otro método de aplicación es dispersión en la superficie o transmisión por medio de una placa para salpicar usando un sistema de manguera de arrastre o autopropulsión. El aplicar material por medio de irrigación por aspersión (pistola para irrigación) disminuye la posibilidad de compactación del suelo, pero aumenta la posibilidad de quejas por olores, escurrimientos, y pérdida de nitrógeno. También si las condiciones del viento no son favorables existe la posibilidad de que el viento cambie y se rocíe hacia tierras circunvecinas.

### 2.3.1 CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LOS LODOS

La utilización agrícola de los lodos esta determinada principalmente por sus propiedades físicas y composición química la cual puede ser extremadamente variable atendiendo al origen del residuo y características de las aguas residuales que colecte la depuradora, así como el tipo de proceso de depuración que en ella se siga. Esto causa que incluso en la misma planta de tratamiento, la composición de los lodos pueda no ser uniforme en el tiempo, por lo tanto es difícil presentar unos datos de composición representativos (Otero *et al.*, 1996).

No obstante, los lodos de las depuradoras contienen todos los nutrientes considerados esenciales para el desarrollo de las plantas, pudiéndose destacar sus elevados contenidos del nitrógeno, fósforo y materia orgánica, por lo que la práctica de utilizar lodos como fertilizante orgánico no solo permite a mejorar los suelos y los rendimientos de los cultivos, sino también se contribuye a disminuir el consumo de fertilizantes orgánicos (Walter *et al.*, 1994).

Walter *et al.* (1994) indicaron que los lodos de depuradoras de aguas residuales urbanas pueden considerarse como un material débilmente ácido, de conductividad eléctrica media-baja, humedad cercana al 80 % y alto contenido de materia orgánica cercano al 60 %.

MacCaslin *et al.* (1987) señalan que el contenido total de nitrógeno y de fósforo puede variar en rangos del 2 al 8 % y de 1 a 4 % respectivamente, siendo generalmente muy pobres en potasio. Los niveles de calcio y magnesio son de 11 y 1.43 % respectivamente. Sin embargo, Bigeriego (1993) señaló que en general los lodos residuales pueden presentar valores promedios en riqueza de nutrimentos del 3% de nitrógeno, 2.5 % de fósforo y 0.5 % de potasio. No obstante que el contenido de potasio es generalmente muy bajo es fácilmente asimilado por las plantas (Canet *et al.*, 1996).

Además de los macronutrientes, los lodos contienen una gran variedad de elementos traza (micronutrientes), siendo algunos de ellos esenciales para el crecimiento de las plantas, de ahí que de estos puede resultar de gran interés en la prevención o corrección de las posibles deficiencias del suelo en estos elementos (MacCaslin *et al.*, 1987).

Los lodos en comparación con los compuestos de origen ganadero tradicionalmente utilizados en agricultura, contienen una riqueza en nitrógeno y fósforo de tres a cuatro veces superior.

Investigaciones realizadas indican que los lodos cuya relación C/N varía de 1.9 a 5.2 producen una liberación del N asimilable que va desde un 91 al 95 % del N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y del 25% del N orgánico. Mientras que relaciones C/N más elevadas provocan efectos negativos ya que se inmoviliza el nitrógeno del suelo (Otero *et al.*, 1996).

Por otra parte también es conveniente señalar que los lodos representan una fuente importante de micronutrientes como hierro, magnesio, molibdeno, calcio, azufre y otros, que son importantes para los cultivos y que no son aportados por los fertilizantes sintéticos al ser estos cada vez más puros y de mayor concentración (MacCaslin *et al.*, 1987).

Para Bontoux *et al.* (1998) el bajo contenido en materia orgánica (natural o debido a pérdidas) es un grave problema para asegurar el mantenimiento de las buenas propiedades de retención de agua en el suelo. Los sólidos de los lodos se pueden utilizar para mantener, restaurar o crear fertilidad en el suelo, así como una estructura adecuada del suelo, en tierras degradadas.

A pesar de las buenas características agronómicas que presentan los lodos, algunos de ellos no pueden ser utilizados en agricultura ya que presentan diferentes tipos de sustancias que en concentraciones superiores a ciertos niveles y en determinadas condiciones del medio pueden producir efectos tóxicos sobre los vegetales y las personas que los ingieren, así como contaminación de los suelos y aguas subterráneas (Otero *et al.*, 1996).

No obstante lo anterior, los países más desarrollados de la Comunidad Europea utilizan en agricultura un alto porcentaje de su producción de lodos, a sí por ejemplo Alemania dedica el 45%, Inglaterra el 55%, Holanda el 54 %, Francia el 38 % , Italia el 32%. Estados Unidos dedica en su agricultura el 42 % de los lodos producidos (Bigeriego, 1993).

### 2.3.2 EFECTO DE LODOS SOBRE EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

En cuanto al efecto sobre el rendimiento de diferentes cultivos tras la aplicación de lodos los cultivos, cabe destacar que generalmente se han registrado claros incrementos en la producción, tanto en los casos donde de ha aplicado como enmienda orgánica junto con la fertilización mineral como en lo que se ha utilizado como fertilizante.

Gamrasni (1985) indicó que las plantas de cultivo más favorecidas por la presencia de nitrógeno son las plantas herbáceas y en particular el maíz y otros cereales.

Así por ejemplo Porcel *et al.*, (1994) después de tres años de investigación en Madrid España sobre la utilización de compost de lodo como abono organo-mineral en maíz, concluyeron que en la fertilización a base de 800 kg/ha de la formula 15-15-15 + 350 kg de urea puede ser sustituida por una dosis de mixta de 6500 kg m.s./ha de compost de lodo + 350 kg/ha de urea, lo cual incremento el rendimiento de grano de hasta el 8%. Este incremento del rendimiento, puede ser debido a una mejora de los índices de utilización de los nutrimentos del compost de lodos por la planta , ya que al liberarse lentamente a medida que se mineraliza la materia orgánica , las perdidas por lixiviación o lavado especialmente en el caso del nitrógeno, se reducen considerablemente. Esto confirma el compost de lodo puede considerarse como fertilizante de liberación lenta de nutrientes. La mejora del rendimiento del maíz con la aplicación de compost de lodo puede justificarse también por la aportación de micronutrientes que se produce con la aplicación del referido compuesto.

Walter *et al.* (1996) estudiaron el efecto fertilizante de lodos residuales en la producción de trigo en secano durante ocho años concluyendo que la media de producción obtenida en los tratamientos con lodos fue similar a la obtenida con una fertilización mineral convencional.

Canet *et al.* (1996) evaluaron por cinco años el efecto de lodos en la producción de hortalizas (Acelga y lechuga), compararon los resultados producidos por tres dosis de fertilizante nitrogenado (150, 300, y 500kg N/ha) y un testigo (sin fertilización nitrogenada) contra diferentes dosis (400, 800, y 1200 kg N/ha) de lodos residuales y concluyeron que la fertilización nitrogenada dio lugar a mayores rendimientos que las aplicaciones de lodos, aunque solo en determinados casos se alcanzaron diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, en general el tratamiento testigo resultó ser el de menor producción.

Investigaciones conducidas por Bigeriego (1993), con el objetivo de determinar el potencial fertilizante del compost de lodo como sustituto de todo o parte de la fertilización mineral en tomate. La evaluación consistió en comparar una dosis de fertilización mineral (900 kg/ha de 9-18-27 + 250 kg/ha de solución nitrogenada al 33%) contra una dosis mixta (Lodo + Nitrógeno): 15,000 kg/ha de compost de lodo +250 kg/ha de solución nitrogenada al 33%). Los resultados indicaron que con la dosis mixta mejoró la producción de jitomate en casi un 10% con respecto a la fertilización química

### 2.3.3 UTILIZACIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES EN PLANTACIONES FORESTALES

La fertilización ha sido restringida en la silvicultura, principalmente por razones económicas sin embargo esta se ha usado rutinariamente en viveros y en la industria de los árboles de navidad. La fertilización con lodos puede sustituir a la fertilización comercial por los costos que representa para estas actividades (Black, 1984). Se habla de que los bosques no son cultivos ni sus productos (madera, follaje) se incluyen por lo

general en la cadena alimenticia de los mamíferos y del hombre, sus necesidades de agua son diferentes a las de las otras plantas. Varios artículos que tratan de los lodos de una manera muy general, mencionan el uso en el riego y el mejoramiento de los bosques, sin proporcionar resultados (Gamrasni, 1985).

Para 1984 en Canadá, todavía el uso forestal de los lodos no había sido considerado como una práctica, pero en la actualidad esta constituyendo una actividad importante. El aprovechamiento forestal ofrece algunas ventajas sobre la aplicación agrícola de estos materiales, debido a que los productos forestales no son consumidos por el hombre. Si estos desechos contienen trazas de algún metal pesado o tóxico químico, entonces la silvicultura es una alternativa de aprovechamiento. Por otro lado los suelos forestales son frecuentemente de baja fertilidad y quizá el gran beneficio de los lodos entonces sea el aporte de materia orgánica y nutrientes que los puede mejorar (Black, 1984).

Los lodos se han utilizado en la silvicultura para incrementar su productividad, reforestar, y para estabilizar áreas que han sido deforestadas o disturbadas por la minería, la construcción, por los incendios, en campos erosionados y/u otros desastres naturales (EPA, 1994).

Grandes superficies forestales son devastadas anualmente por el hombre y por su afán de obtener recursos y productos. La recuperación de estas áreas es generalmente difícil debido a varios factores, entre los que podemos señalar los bajos niveles de fertilidad, la insuficiente cantidad de materia orgánica, falta de las comunidades biológicas del suelo, lo inestable de sus propiedades físicas y químicas y sujetas a la erosión y deslizamientos por las fuertes pendientes, limitando el establecimiento y crecimiento de la vegetación. Los lodos residuales estabilizados son materiales ideales para la recuperación de estas áreas, puesto que son un material fertilizante de liberación lenta que contiene suficientes nutrientes, excepto por el potasio, para el crecimiento de las plantas (Black, 1984).

La aplicación de lodos a campos forestales puede acortar el tiempo de aprovechamiento de madera y obtención de pulpa acelerando los ciclos de crecimiento de los árboles. Especialmente en suelos con productividad marginal (EPA, 1994).

Por su parte Braatz y Kandiah (1996) mencionan que la utilización de aguas y lodos residuales urbanas para el riego de bosques y plantaciones de árboles es todavía relativamente limitada. Más limitadas son aún las investigaciones sólidas, bien concebidas y sistemáticas que se han hecho sobre el tema. Además destacan que ha prevalecido la tendencia a utilizar las aguas y los lodos residuales para regar los cultivos. Por ello se han establecido normas de calidad y directrices sobre la utilización para el riego de los cultivos agrícolas, pero no de los árboles. Sin embargo existen razones de peso para estudiar a fondo la viabilidad de emplearlos en mayor medida a la silvicultura, entre tales razones cabe señalar los factores relacionados con la salud (riesgo de contaminación de los cultivos alimentarios por elementos patógenos y metales pesados), las consideraciones ambientales (los beneficios derivados de las zonas verdes y de otras plantaciones forestales urbanas y periurbanas), los beneficios económicos (el valor de los productos forestales y de los servicios ambientales, que normalmente están subvalorados) y los beneficios sociales y estéticos.

Estudios de la Universidad de Washington en el noroeste y del U.S. Forest Service en el sureste, sobre el uso de lodos como fertilizantes en silvicultura han demostrado como mejoran grandemente el crecimiento de árboles comparado con los testigos de las especies evaluadas. El uso de lodos en campos de rehabilitación de jales de minas ha demostrado ser muy exitoso, en comparación con los costos con otros métodos comerciales en proyectos de pequeña y gran escala. Por ejemplo, en un área de minas en línea en el Condado de Fulton, Illinois, su rehabilitación con lodos municipales costó cerca de 3700 dólares por acre, en comparación con los 3400 a 6300 dólares que costó usando métodos convencionales. Otros estudios en Nuevo México han demostrado un mejoramiento sostenido en crecimiento y calidad nutricional deseable de la vegetación nativa y de los pastizales; reduciendo la escorrentía del agua de lluvia, aplicando de 10 a 20 ton./acre de lodos deshidratados sobre la superficie (EPA, 1994).

No solo existen beneficios importantes del uso de estos residuos, sino que también existen serias desventajas que debemos tomar en cuenta como son: la lejanía entre los sitios de aplicación y los de generación, terreno accidentado, distribución no uniforme de los lodos particularmente en rodales establecidos, y un drenaje rápido en suelos de alta infiltración acarreamo un alto potencial de contaminación de aguas subterráneas por nitrógeno-nítrico. En Holanda la aplicación de lodos a coníferas no es recomendable por el incremento del pH del suelo, la mineralización de la materia orgánica y el peligro de pudrición de la raíz, cuando los lodos son estabilizados previamente con cal. A pesar de que los metales pesados contenidos en los lodos pueden no exhibir efectos negativos adversos sobre la producción del árbol, pero en cambio pueden reducir la calidad de la vegetación del sotobosque, así como del forraje que sirve de alimento a la fauna silvestre del lugar (Black, 1989).

La silvicultura tiene un enorme potencial para absorber lodos en el futuro. Su principal ventaja es que puede existir normativas menos estrictas que las aplicaciones en la agricultura. Sin embargo, esta vía de eliminación dependerá en gran medida de un apoyo normativo adecuado (Bontoux *et al.* 1998).

#### **2.4 IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA ESTATAL Y REGIONAL DEL MAÍZ**

En Mesoamérica, esto es, en donde ahora se asienta México, nuestra patria; brotó una planta, que producía una manera de espiga, cuyos granos sirvieran para alimentar a la fauna. Luego, hace milenios, el hombre recién llegado de Asia descubrió que esa gramínea le podía alimentar; de ahí que con amor, con emoción y ahínco, se dedicó a cultivarla. A tal grado fueron el cariño, el cuidado y los conocimientos que los indígenas dieron a la preciada planta, por lo que está agradecida fue combinado, para de espiga llegara a convertirse en mazorca.

Esa mazorca ha sido una de las aportaciones más importantes que nuestra tierra ha dado al mundo: el viejo "Tlaholli", el sagrado "Centli", nuestro maíz, es un fiel amigo que nos acompaña desde temprano en el almuerzo hasta avanzada la noche, en la cena.

El maíz se encuentra indisolublemente ligado a Jalisco, por historia, tradición y cultura; sus orígenes lo ubican los investigadores en la zona de Manantlán y su producción sigue siendo de importancia estratégica, a pesar de los cambios en los patrones de consumo que impone la sociedad moderna.

La importancia que tiene Jalisco en la producción del cereal y los apoyos institucionales para que siga consolidándose, son propósito constante de agricultores y Gobierno, lo que nos ha ubicado recurrentemente como el primer productor nacional, con volúmenes cosechados de más de 2'300,000 toneladas anuales que representan alrededor del 20% de la producción total obtenida en el país.

Más allá de las cifras, la producción del maíz en Jalisco, representa trabajos e ingresos para miles de familias campesinas que tienen en éste su medio de vida, ya que la mayoría del cultivo se localiza en áreas de temporal.

Entre los esfuerzos interinstitucionales que en Jalisco se realizan para consolidar la actividad maicera, destaca el Programa de Estímulos regionales a los productores con potencial productivo que fomenta la utilización de paquetes tecnológicos idóneos, aprovechando los recursos naturales con combinaciones adecuadas de tecnología. El Programa tuvo cobertura sin precedentes de 176,000 ha en 49 municipios. Las evaluaciones realizadas nos indican el éxito que se tuvo en productividad e ingreso al productor, ya que de 3.5 toneladas por hectárea en promedio que obtenían, para 1992 subió el rendimiento a 5.75 toneladas por hectárea, esto significa que la cosecha resultante alcanzó 949,000 toneladas, es decir, el 43% de la cosecha total del Estado, con penas el 29% de la superficie sembrada.

Para 1993 año del campo en Jalisco, el programa ejerció más de 36 millones de pesos, apoyando a 250,000 hectáreas con estímulos a más de 30,000 campesinos.

Jalisco no es ajeno al fenómeno de urbanización acelerado, observando que las ciudades van desplazando importantes áreas agrícolas, por lo que se hace necesario avanzar rápidamente por el camino de la productividad y estos apoyos nos han demostrado sus bondades, por lo que seguiremos comprometiendo nuestros esfuerzos y recursos durante los años consecutivos. (SARH,1993).

Jalisco destaca como el principal productor de este cereal a nivel nacional aportando anualmente más de dos millones de toneladas de grano, en aproximadamente en 700000 ha, que se cultivan cíclicamente principalmente bajo condiciones de temporal y humedad residual, (Flores, 1994).

## **2.5 PLANTACIONES FORESTALES EN EL BOSQUE DE “LA PRIMAVERA”**

El bosque “La Primavera” por su ubicación estratégica en relación con la ciudad de Guadalajara, tiene suma importancia desde el punto de vista forestal, económico, ecológico y social, su realidad fisiográfica, topográfica, geológica e hidrológica, requiere de atención técnica especial. Este bosque durante los últimos 50 años ha conocido profundas transformaciones en su suelo y su vegetación nativa al punto de vista genético de sucesión vegetal; esta situación ha llamado la atención de investigadores para llevar a cabo trabajos de investigación de diversa índole en el campo experimental conocido como “Bosque escuela” tanto de manejo, recuperación, como de conservación. La ganadería extensiva y los constantes incendios no solo han hecho desaparecer la vegetación en lugares con fuertes pendientes, causando así una erosión inducida muy acelerada, sino también provoca una sucesión por las especies más agresivas de menor valor y con individuos de clases silvícolas muy bajas (Daniel, 1996).

Los bosques como todo cultivo requieren de un manejo especial, para obtener los mejores resultados en los diferentes puntos de interés, rendimientos (alturas y diámetros), paisaje, protección, captación de agua vía precipitaciones etc. Las plantaciones forestales van encaminadas a dar alternativas de solución dependiendo del objetivo que persigan (Gallegos, 1988).

Para Gallegos *et al* (1992), es conveniente realizar plantaciones para reconstruir las áreas perturbadas y para lograr el éxito de la reforestación, Bribiesca (1987), lo basa en dos aspectos fundamentales la preparación del terreno y la especie que se plante. Medina (1991) recomienda la aplicación de diversas labores que auxilien y promuevan el mejoramiento del recurso, tanto en el arbolado existente como en las condiciones del suelo del lugar, por lo tanto, si se aplica la suelo materiales orgánicos que mejoren su fertilidad, aseguramos aún mas el éxito.

Según el artículo segundo del decreto de la reserva natural descrito en el apéndice 1 señala en base a lo que dispone la ley en la materia, promover, la realización de trabajos o la ejecución de las obras encaminadas a lograr la reforestación, protección, fijación y restauración de los suelos, a la repoblación e incremento de las masas arboladas, a la preservación y propagación de la fauna silvestre y a la preservación del régimen ambiental e hidrológico de las poblaciones antes citadas.

De acuerdo a la propuesta de Pohris (1985) y lo establecido por el DMCyP (1990) en el bosque-escuela se debe trabajar en el establecimiento de bosques especiales y bosques protectores. Para el caso de los primeros menciona que son bosques naturales o planeados artificialmente en los que la meta de obtención de determinado arbolado cuyo fin está orientado primero, a la realización de las tareas especiales y en segundo término a la producción de madera. En este sentido las tareas especiales son, por ejemplo: la reserva de bosques para la producción de semilla, el establecimiento de huertos fenológicos y bosques en sistemas de uso múltiple del suelo, áreas de investigación y experimentación, fajas de protección contra la erosión, protección de mantos acuíferos y del recurso en general, entre otros. Los segundos, son referidos a bosques naturales o planeados artificialmente en los que la meta de obtención de determinado arbolado, cuyo fin se orienta exclusivamente a realizar funciones protectoras de suelo, flora y/o fauna y por lo tanto, no han de tener una meta de producción.

Villavicencio (1992), estima que la dominancia del género *Quercus*, desplaza cada vez más al género *Pinus*, por lo que puede llegar a perderse la especie y convertirse el bosque en un bosque de hojosas, lo que no sería recomendable por los cambios que ocasionaría, recordando que se trata del bosque más importante de la Ciudad de Guadalajara y además de estar decretado como zona de protección forestal y refugio de la fauna silvestre.

## 2.6 LA AGROFORESTERIA Y EL RECICLAJE DE LOS NUTRIMENTOS

A continuación se presentan algunas consideraciones textuales para no desvirtuar su contenido, acerca de la definición de la agroforestería por el Dr. L. Krishnamurthy, en su libro “Agroforestería Básica” (1999).

*Agroforestería es una palabra nueva para designar la vieja práctica de cultivar especies leñosas junto con otros cultivos agrícolas y/o ganado en la misma tierra.*

*La agroforestería como ciencia se basa en la silvicultura, la agricultura, la ganadería, la acuicultura y la piscicultura, el manejo del recurso tierra y otras disciplinas que, en conjunto, constituyen el enfoque sistemático del uso de la tierra.*

*La agroforestería es una aproximación interdisciplinaria a los sistemas de uso de la tierra. Implica tener conciencia de las interacciones y la retroalimentación entre el hombre y el ambiente, entre la demanda de recursos y su existencia en una determinada área, lo cual – bajo ciertas condiciones requiere optimización y manejo substancial más que el incremento permanente de la explotación. Sin embargo, ¿por qué no deberíamos seguir combinando el conocimiento tradicional en la agricultura y silvicultura, que está a nuestro alcance, con el propósito de obtener una visión global de los sistemas específicos de la agroforestería?.*

*Por otra parte la agroforestería es sólo un instrumento que sirve al ser humano, un instrumento tan bueno o tan malo como otros, de acuerdo con la capacitación y la buena voluntad de quienes la utilizan. La agroforestería no es buena o mala en sí*

*misma, pero podría ser la mejor respuesta para resolver problemas de desarrollo rural en determinados lugares o regiones. Para otros, podría ser tan buena como cualquier otro modo de uso de la tierra, o también menos conveniente. La agroforestería como otras formas de uso de la tierra, debería ser siempre considerada en respuesta a la pregunta ¿qué beneficio representa?.*

#### 2.6.1 IMPORTANCIA DE LA AGROFORESTERÍA Y DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL RECICLAJE DE NUTRIMENTOS

Aunque el uso de fertilizante es teóricamente posible en casi todos los sistemas agroforestales, los grandes costos de la mano de obra o del capital asociados con la aplicación del fertilizante tienden a limitar su uso a aquellos sistemas donde el cultivo que produce dinero es una característica importante. El uso de los fertilizantes orgánicos probablemente predominaría donde la infraestructura agrícola y de mercado están menos desarrollada; el uso de fertilizantes orgánicos, fertilizantes inorgánicos o combinaciones de ambos predominaría donde los fertilizantes comerciales de costo relativamente bajo están disponibles y donde una alta ganancia se espera de las aplicaciones de fertilizantes. Dada la prevalencia, importancia y potencial del uso de fertilizantes orgánicos en los sistemas agroforestales, se necesita un examen mayor de cómo estas fuentes, solas o en combinación con los fertilizantes inorgánicos, afectan la disponibilidad de nutrientes y el rendimiento. Ya que ha habido pocos estudios de los fertilizantes orgánicos en los sistemas agroforestales, hemos tenido principalmente que depender de la literatura desarrollada en los sistemas de cultivos anuales o forestales. La complejidad de los sistemas agroforestales (SAF's) hace más difícil el manejo de fertilizantes. El uso eficiente de los abonos orgánicos en estos sistemas requiere de un entendimiento de los controles de liberación de nutrientes de estas fuentes. Los controles que regulan la descomposición y liberación de nutrientes de los residuos orgánicos y materia orgánica del suelo incluyen el clima (temperatura y humedad), la textura del suelo, la cantidad y composición química del material y el lugar. Hay poca información respecto a la recuperación de nutrientes de las fuentes orgánicas e inorgánicas por los árboles de los sistemas agroforestales. En cuanto a la calendarización y frecuencia de la aplicación de

fertilizantes y abonos, dependerá de las necesidades de los diferentes componentes del sistema para tratar de sincronizar aplicaciones sincronizadas entre los orgánicos y los inorgánicos. En el caso de los orgánicos, la liberación y disponibilidad de nutrientes tienden a ser más complicados. El uso de fertilizantes en agroforestería dependerá de la disponibilidad de fertilizantes, costo, la relación costo-beneficio y el rol de los valores socio-culturales. Dada la complejidad de estas interacciones y la incertidumbre respecto a los efectos de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos sobre la productividad de los componentes agroforestales, los análisis económicos son difíciles, las conclusiones finales dependerán de la magnitud del crecimiento o respuesta de la producción, el costo de la fertilización y el valor de los diferentes cultivos o productos forestales. El fósforo es el elemento que teóricamente debería ser más limitante en los sistemas agroforestales, pues las cantidades de P removidas son relativamente altas y/o el reciclaje es bajo. Sin embargo las respuestas al P aplicado no han sido estudiadas en forma frecuente. Se requiere investigación para ver como las interacciones entre los fertilizantes orgánicos e inorgánicos pueden ser manejados para sostener la disponibilidad de fósforo a corto y largo plazo. Dada la importancia y prevalencia del uso de abonos orgánicos en muchos SAF's, se necesita desarrollar conocimientos de como los árboles responden a los orgánicos, los inorgánicos y combinaciones de ellos. (Szott y Kass, 1994, citados en Krishnamurthy y Leos-Rodríguez, 1994).

Se ha mencionado que la agrosilvicultura, es decir, la integración de árboles con los cultivos, puede contribuir a equilibrar el aporte de nutrientes de la aplicación de aguas negras y su absorción por las plantas; dado que la demanda de nutrientes de los árboles disminuye después de los primeros años de crecimiento rápido, la introducción de cultivos en los años sucesivos puede hacer que la absorción de nutrientes se mantenga constante y se evite el riesgo de exceso. No obstante, el empleo de prácticas agroforestales en los sistemas de riego con aguas residuales se ha investigado poco. Obviamente existe un potencial que incita a utilizar las aguas negras para el riego en la silvicultura y la agrosilvicultura, pero tendrán que llevarse a cabo muchas investigaciones antes de que pueda explotarse este potencial (Braatz y Kandiah, 1996).

Los nutrientes de la planta están en constante estado de transferencia dinámica entre el sistema planta-suelo (fig. 5). El ciclo de nutrientes se refiere a las entradas (ganancias) y salidas (pérdidas) y transferencias dentro del sistema. En los SAF's, las ganancias incluyen la fijación biológica de nitrógeno, recuperación de nutrientes de las profundidades debajo de las raíces de los cultivos, materiales orgánicos producidos fuera del sistema y los fertilizantes. Las trayectorias principales de las salidas de nutrientes son por la cosecha de plantas, erosión del suelo, lixiviación y pérdidas gaseosas. Los sistemas forestales son considerados sistemas con ciclos cerrados y eficientes, en contraste los sistemas agrícolas comunes son abiertos, por tener ganancias altas y pérdidas considerables, por lo tanto la presencia del árbol en los sistemas agroforestales ayuda a lograr una condición intermedia entre estos extremos, reduciendo las pérdidas, aumentando la absorción por la planta y la transferencia de nutrientes al interior del sistema de un componente a otro. (Krishnamurthy, 1999).

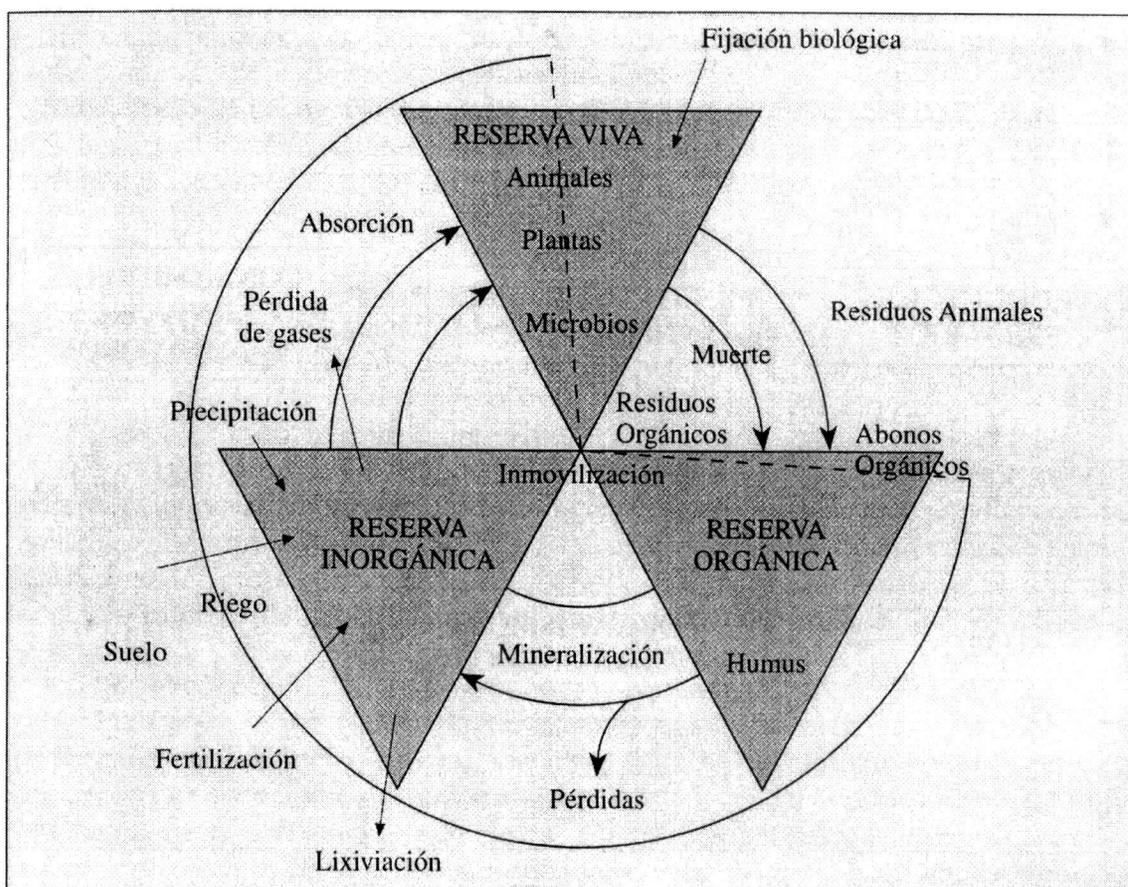


Fig. 5. Esquema de la dinámica de los ciclos de nutrientes.

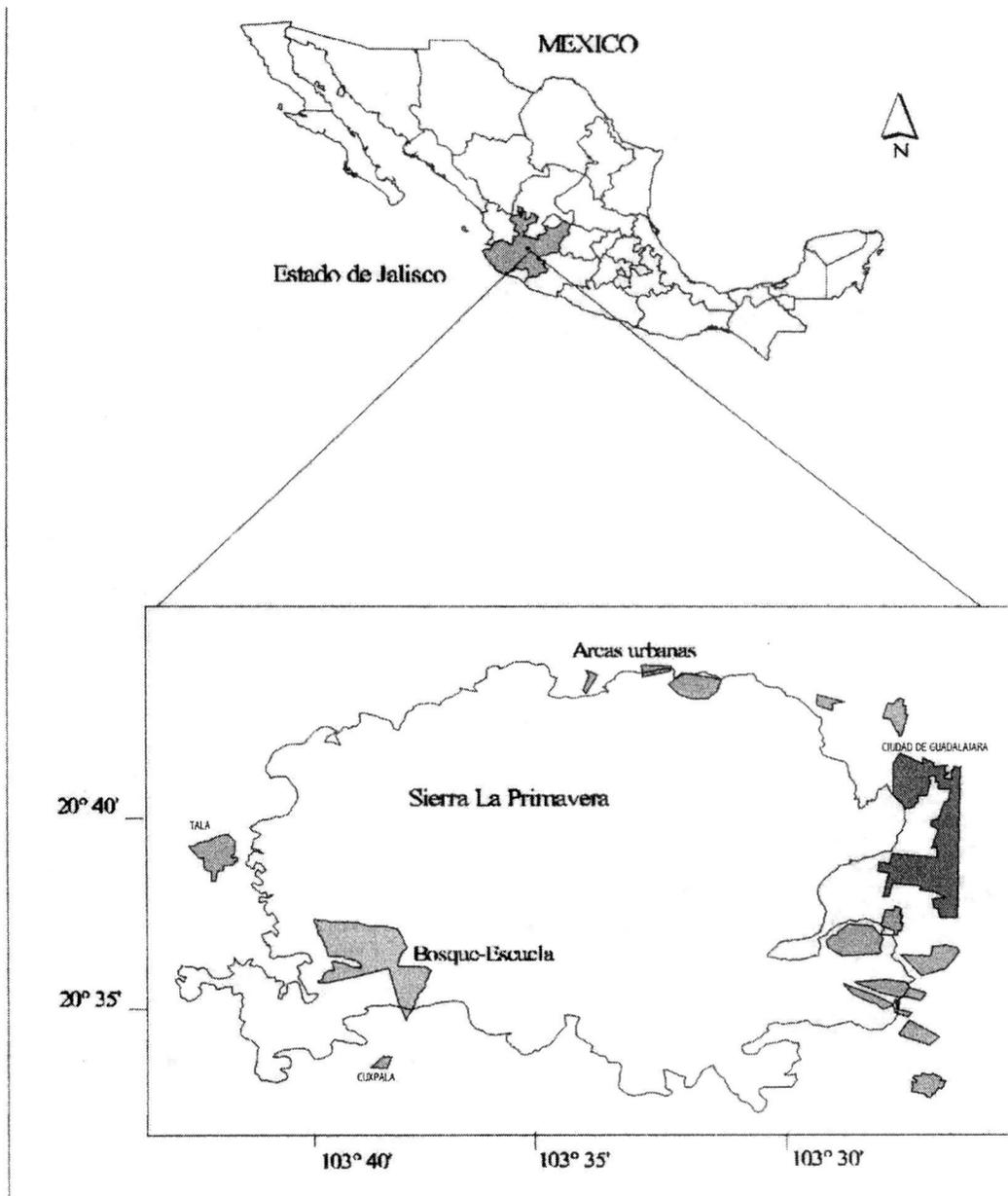
### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDIO.

##### 3.1.1 LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN

El Campo Experimental "Bosque-Escuela" (B-E) del Departamento de Madera, Celulosa y Papel (DMCyP) de la Universidad de Guadalajara, tiene una superficie de aproximadamente 950 ha y se localiza en los paralelos: 20° 36' 26'' y 20° 34' 34'' latitud norte y 103° 37' 15'' y 103° 40' 08'' longitud oeste del meridiano de Greenwich; y esta ubicado en la parte suroeste de la Sierra La Primavera, en el Municipio de Tala, Jalisco (fig. 6).

La sierra "La Primavera" se caracteriza por ser un bosque fragmentado con un nivel productivo forestal muy bajo. Sin embargo, a pesar de su situación potencial, es generadora de otros bienes y servicios para las comunidades aledañas y para la Zona Metropolitana de Guadalajara, como reguladora del clima, recreación, paisaje, captación de carbono y recarga de los mantos acuíferos. Por tal motivo, en 1980 fueron decretadas 30,500 ha como *Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre*. Así mismo el B-E es un predio otorgado en comodato por el gobierno del estado de Jalisco, para protección, conservación e investigación, mediante decreto por un periodo de 25 años a partir de 1984 (Gallegos, 1997).



**Fig. 6. Mapa de localización y ubicación del sitio experimental "Bosque - Escuela".**

### 3.1.2 CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS Y EDÁFICAS

Según el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García E. (1973) el clima de la zona corresponde al A(C) Wo (templado semicálido, subhúmedo con lluvias en verano). La temperatura media anual es de 18.9 °C y la precipitación pluvial media es 837 mm. La época seca es de noviembre a mayo con aproximadamente 210 días. La evapotranspiración media anual es de alrededor de 1,841 mm, lo que sobrepasa

la cantidad de lluvia anual originando un déficit de humedad. Los suelos son en su mayoría Andosol vítrico y Luvisol albico. La vegetación dominante del área corresponde al bosque de encino-pino, aunque también existen áreas con vegetación subtropical deciduo y matorral. Los diferentes rodales presentan densidades que van de 30 a 180 árboles/ha, con áreas basales que oscilan en rango de 5 a 35 m<sup>2</sup>/ha. En los rodales presentes en el área se observan diferentes porcentajes de coberturas de dosel, distribuidos de la siguiente manera: el 15% de la superficie corresponden a áreas no arboladas, 30 % rodales abiertos, 30% semicerrados y 25% son rodales cerrados (Gallegos, 1997).

### **3.2 MATERIALES UTILIZADOS**

Residuos utilizados: El material empleado como abono orgánico estuvo conformado por lodos residuales generados por la planta de tratamiento de una empresa maquiladora electrónica y composta a base de los mismos lodos mezclados con desecho vegetal de la jardinería y el arbolado urbano de la Cd. de Guadalajara.

### **3.3 APLICACIÓN DE LODOS RESIDUALES COMO ABONO ORGÁNICO PARA EL CULTIVO DEL MAÍZ.**

El B-E, comprende en su mayor parte a un bosque natural, pero presenta un área agrícola de aproximadamente 8 ha destinada a la investigación de cultivos de grano. Se ubica hacia la parte Sur del predio, colindando con terrenos agrícolas dedicados al cultivo de caña y maíz de temporal que pertenecen a los ejidos de Cuxpala, Latillas y Ahuisculco. El estudio se realizó durante el ciclo primavera-verano de 1999. El suelo del sitio experimental presenta un pH ácido y una textura franco arenosa. En el Cuadro 8 se presentan las propiedades fisico-químicas analizadas para dicho suelo.

#### **3.3.1 VARIEDAD UTILIZADA**

La variedad utilizada de maíz fue la 3288 de la empresa Pionner de México.

### 3.3.2 TRATAMIENTOS

T1= fertilización química regional 150 kg/ha de formula 18-46-00 y 200 kg/ha de urea

T2= 10 t/ha de lodos (deshidratados por exposición solar) (291 kg de N y 211 kg de P)

T3= 20 t/ha de lodos (deshidratados por exposición solar) (582 kg de N y 422 kg de P)

T4= 10 t/ha de compost de lodos y desechos de jardinería (406 kg de N y 227 kg de P)

T5= 20 t/ha de compost de lodos y desechos de jardinería (812 kg de N y 454 kg de P)

Cada tratamiento estuvo formado por cinco repeticiones

### 3.3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL USADO

Los tratamientos fueron distribuidos en campo bajo el diseño experimental de bloques al azar, bajo el siguiente modelo.  $\gamma_{\tau j} = \mu + \tau_{\tau} + \beta_j + \varepsilon_{\tau j}$

$\gamma_{\tau j}$  = es la observación del tratamiento  $\tau$  en el bloque  $j$

$\mu$  = es el efecto verdadero de la media general

$\tau_{\tau}$  = es el efecto del  $\tau$ -ésimo tratamiento

$\beta_j$  = es el efecto del  $j$ -ésimo bloque

$\varepsilon_{\tau j}$  = es el error experimental.

### 3.3.4 UNIDAD EXPERIMENTAL UTILIZADA.

Cada parcela experimental la formaron cuatro surcos de ocho m de longitud, con 0.80 m de separación. Como parcela útil se consideraron sólo los dos surcos centrales, evitando el efecto de borde.

### 3.3.5 DESARROLLO DE LABORES Y ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO

Obtención de los lodos deshidratados y preparación de la composta de lodos y desechos de jardinería.

Los lodos residuales obtenidos del filtro prensa de la empresa *Lucent technologies* fueron llevados a un terreno cercano antes del temporal de lluvias (Mayo), se extendieron para deshidratarlos en condiciones naturales. Posteriormente una parte de

ellos se almacenaron para ser llevados al campo experimental; otra parte de ellos se mezcló con desechos de arbolado urbano y jardinería (rama triturada, hojas, pasto y ramillas), la proporción fue 1:2 v/v. La obtención de la composta madura, tardo 2.5 meses aproximadamente

#### *3.3.5.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO*

Después de la preparación convencional del terreno (barbecho y dos pasos de rastra cruzados) se realizó una aplicación general de insecticida contra plagas del suelo (LORSBAN) a la dosis recomendada por los distribuidores del producto (25kg/ha).

#### *3.3.5.2 TRAZO DEL EXPERIMENTO Y APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS:*

Se midió el terreno y se trazaron las 25 parcelas correspondientes a las repeticiones experimentales y se distribuyeron aleatoriamente en función de la distribución de los tratamientos en el diseño experimental utilizado (Anexo 3). Posteriormente se aplicaron manualmente por parcela los lodos deshidratados y los compostados según la dosis correspondiente, se colocaron superficialmente y se distribuyeron de manera homogénea, incorporándose después con el paso de una cultivadora manual.

#### *3.3.5.3 SIEMBRA Y SEGUIMIENTO DEL CULTIVO:*

Un día después a la aplicación de los tratamientos de lodos se realizó la siembra de maíz (23 de Junio) con tractor y una sembradora mecánica bajo una densidad de población de aproximadamente 70,000 plantas por hectárea. Para el tratamiento control, la aplicación del fertilizante se realizó en dos etapas, la primera correspondiente a 150 kg/ha de la formula 18-46 00, se realizó en forma manual al momento de la siembra, la segunda correspondiente a 200 kg/ha de urea se efectuó durante la primera escarda. Las prácticas de cultivo realizadas fueron las recomendadas para producir maíz de temporal en la región donde se llevo acabo el experimento.

Ya establecido el cultivo sólo se estuvo revisando para evitar problemas de plagas y otros daños que pudieran afectar el experimento, hasta el momento de la cosecha. Durante este tiempo se estuvieron considerando observaciones de campo importantes entre los diferentes tratamientos.

**Cuadro 8. Propiedades físico-químicas del suelo antes de establecer el experimento.**

<b>Propiedades</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Nivel</b>
PH	4.43	Muy ácido
Materia orgánica (%)	2.07	Medio
Textura	Franco-arenoso	
Capacidad de retención de humedad (%)	12.50	
Nitrógeno total (mgkg <sup>-1</sup> )	140	Alto
Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) "	4.56	Muy bajo
Potasio (K <sub>2</sub> O) "	2.20	Medio
Calcio "	350	Muy bajo
Magnesio "	55	Medio
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm <sup>-1</sup> )	0.225	Normal
Agua de saturación (mL/g)	52	
Micro elementos		
Manganeso (mgkg <sup>-1</sup> )	22	Medio
Hierro "	28	Medio
Zinc "	14	Medio
Cobre "	1	Muy bajo
Boro "	Trazas	Muy bajo
Sodio "	20	Normal

*Los análisis del suelo se realizaron en Laboratorios LAICA, S. A.*

### 3.3.6 TOMA DE DATOS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

#### 3.3.6.1 *VARIABLES EVALUADAS.*

**Altura de planta:** Cuando todas las plantas de maíz se encontraron en floración masculina, se midió su altura desde la base hasta la parte más alta de la espiga, mediante un estadal graduado en cm.

Terminando el ciclo vegetativo del cultivo y una vez que el grano presentaba un porcentaje de humedad del 14 % (mes de diciembre) en todas las plantas de los dos surcos centrales (parcela útil) se midieron cada una de las siguientes variables.

**Número de mazorcas por parcela:** Se cosecharon y contabilizaron todas las mazorcas de todas las plantas presentes en la parcela útil.

**Peso de mazorcas por parcela:** Posteriormente al conteo de mazorcas se procedió a obtener su peso.

**Rendimiento de grano por hectárea:** Para obtener este dato se desgranaron manualmente las mazorcas y el grano limpio se pesó en una báscula de piso, con esta información se determinó el rendimiento productivo de los distintos tratamientos y se calculó el valor promedio resultante de cosechar y pesar el grano de las cinco subparcelas por tratamiento, con estos datos se estimó la producción por hectárea.

**Rendimiento de forraje por hectárea (peso de materia seca):** Después de cosechar las mazorcas se registró el peso seco de todas las plantas completas incluyendo el olote y las hojas que cubrían la mazorca.

#### 3.3.6.2 *MÉTODO ESTADÍSTICO EMPLEADO:*

Todos los valores obtenidos y registrados fueron analizados estadísticamente por medio de un análisis de varianza y comparación de promedios mediante la prueba de Tukey con la ayuda del programa estadístico "Diseños experimentales", desarrollado por Olivares (1995).

### 3.3.6.3 OTRAS OBSERVACIONES Y VARIABLES CONSIDERADAS:

#### **Cambios en las propiedades del suelo.**

Antes de establecer el experimento se realizó un muestreo en diferentes sitios del terreno experimental, obteniendo una muestra compuesta del suelo inicial, a la cual se le practicó un análisis de fertilidad, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 9. Posteriormente a la cosecha nuevamente se realizó otro muestreo para conocer los cambios que se presentaron en cada uno de los tratamientos, para lo cual previamente se tomaron muestras de cada repetición y se formó una muestra compuesta por tratamiento, a las cuales se les practicó nuevamente un análisis de fertilidad. Los resultados se concentran en el Cuadro 10.

#### **Análisis bromatológico en grano y tejidos vegetales.**

Después de la cosecha se tomaron muestras compuestas de grano y follaje de las cinco repeticiones para cada tratamiento, a las cuales se les determinó el contenido de Nitrógeno por el método Kjeldhal en el laboratorio de química orgánica del DMCyP de la U. De G.

#### **Análisis de metales pesados en grano.**

Se practicó un análisis para determinar las concentraciones de 7 metales pesados de importancia toxicológica (Cu, Zn, Ni, Cr, Pb y Cd), en el grano, mediante espectrofotometría de absorción atómica en el Laboratorio de Análisis Ambientales y Farmacéuticos (GOMCO S.A. DE C.V.).

### **3.4 LODOS RESIDUALES COMO ABONO ORGÁNICO EN PLANTACIONES DE *P. DOUGLASIANA* (MART.)**

En el mes de julio de 1998 se estableció el experimento, en un lomerío representativo de los terrenos y áreas degradadas del campo experimental “Bosque-Escuela” en el predio conocido como “El Tepame”.

#### **3.4.1 SELECCIÓN DE LA ESPECIE**

Los árboles utilizados son de la especie *Pinus douglasiana* Mart. de 2.5 años de edad cultivados en bolsa en el vivero del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la U. de G.

La selección de la especie se basó en los reportes de investigaciones anteriores respecto a plantaciones forestales en el sitio. Medina y Garcia (1995) Encontraron que esta especie presentó mejor adaptación y reportó incrementos significativos en comparación con *P. Michoacana* (actualmente *P. devoniana*).

#### **3.4.2 TRATAMIENTOS**

Después de realizar el análisis de suelo de las dos áreas a reforestar se calculó la dosis óptima de lodos por aplicar, considerando el contenido de fósforo en los suelos, en los lodos residuales y los requerimientos de la especie, por lo que resultó una dosis de aproximadamente 30 g de lodos residuales por cepa/árbol.

T1 30 g.

T2 60 g.

T3 100 g.

T4 control sin aplicación

Cada tratamiento se repitió tres veces.

### 3.4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Debido a que la exposición en áreas cerriles según varios autores, afecta de manera significativa en el éxito de plantaciones, se realizaron dos plantaciones en el monte, una para la exposición sur y otra para la exposición norte. Cada una de ellas se estableció bajo el diseño de bloques al azar, con el siguiente modelo.

$$\gamma_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

$\gamma_{ij}$  = es la observación del tratamiento  $i$  en el bloque  $j$

$\mu$  = es el efecto verdadero de la media general

$\tau_i$  = es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$\beta_j$  = es el efecto del  $j$ -ésimo bloque

$\varepsilon_{ij}$  = es el error experimental.

### 3.4.4 UNIDAD EXPERIMENTAL

Fue una parcela con 36 árboles por repetición y una parcela útil de 16 árboles.

### 3.4.5 DESARROLLO DE LABORES Y SEGUIMIENTO DEL EXPERIMENTO:

#### 3.4.5.1 SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL TERRENO

La elección del sitio de plantación, consideró lugares degradados desprovistos de árboles, áreas difíciles de regenerar adecuadamente y las exposiciones extremas del terreno con respecto al sol, la norte y la sur.

#### 3.4.5.2 TRAZO Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTACIÓN

Después de seleccionar los sitios de plantación se procedió a medir y marcar sobre la curva de nivel a cada dos metros un punto con cal, mediante el uso del “nivel cholo”, la distribución de los tratamientos se presenta en el croquis (Anexo 6).

### 3.4.5.3 APERTURA DE CEPAS

En el experimento se utilizaron las cepas de tipo común de acuerdo a lo recomendado por Daniel (1996), sistema que consiste en abrir una oquedad para colocar a la planta. Las dimensiones mínimas son de aproximadamente 30 X 30 X 30 cm, y las distancias varían según lo que se requiera, siguiendo la curva de nivel, a veces con un “nivel cholo”. Este sistema es funcional en terrenos con pendientes del 12% porque no controla el escurrimiento superficial, mediante el uso de pala pocera.

### 3.4.5.4 PLANTACIÓN Y APLICACIÓN DE LODOS

Plantación y aplicación de los tratamientos: se colocó el árbol, en la cepa, se rellenó con suelo propio del lugar hasta los 20 cm de profundidad de la cepa para aplicar la dosis correspondiente y cubriendo nuevamente con suelo. Por lo que cada tratamiento se localizó a 10 cm de profundidad del suelo.

### 3.4.5.5 MANEJO Y SEGUIMIENTO DE LA PLANTACIÓN

Ya establecidas las parcelas de árboles, se colocó un lienzo con alambre de púas para evitar el ingreso de ganado al área experimental, además se controló el ataque de la hormiga arriera mediante el uso de polvo insecticida, ya que el daño que ésta produce en los árboles es constante hasta provocar la muerte del individuo. Se construyeron también brechas cortafuego, pero de tamaño angosto, las cuales funcionaron durante los dos primeros años.

## 3.4.6 TOMA DE DATOS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

### 3.4.6.1 VARIABLES EVALUADAS

**Altura de tallo**, los brinzales fueron medidos de la base del tallo sobre el suelo hasta el extremo de su yema apical.

**Diámetro de tallo**, al mismo tiempo de medir altura se valoró el diámetro, considerándolo a 10 cm de la superficie del suelo.

**Diámetro de copa**, esta variable tuvo como objetivo, su medición, el cuantificar la distancia media que abarca toda el área foliar del árbol.

#### *3.4.6.2 MÉTODO ESTADÍSTICO EMPLEADO*

Todos los valores obtenidos y registrados fueron analizados estadísticamente por medio de un análisis de varianza y comparación de promedios mediante la prueba de Tukey con la ayuda del programa estadístico "Diseños experimentales", desarrollado por Olivares (1995).

#### *3.4.6.3 OTRAS OBSERVACIONES*

**Sobrevivencia**, se contó el número de árboles vivos y muertos en cada tratamiento.

**Conformación y apreciación física de los árboles**, durante su desarrollo se hicieron observaciones para comparar los brinzales de los diferentes tratamientos, considerando su aspecto general.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se puede apreciar que, existe diferencia en el contenido de materia orgánica (m. o.), tanto entre lodos y composta utilizada, en comparación con la concentración reportada mas comunmente en la literatura (Cuadro 9), ello permitirá que los lodos tengan un menor efecto sobre el suelo, al estabilizarse en el mismo.

Con respecto a los contenidos de N total, aunque hay variabilidad en la concentración de este nutriente respecto a cada material, se puede asumir que son comparables a los contenidos promedio de nitrógeno más común en los lodos (Cuadro 9).

De acuerdo al análisis químico realizado a los lodos y la composta (Cuadro 9), se puede mencionar que es alta su concentración en términos del nutrimento fósforo incluso superiores a los valores más comunes de fósforo en lodos residuales; por lo que permitirán una mayor acumulación de este elemento en suelos donde se aplicarán.

De acuerdo al contenido de materia orgánica en los lodos y la composta, se puede calcular cuanto se aplicó de esos componentes al suelo en cada tratamiento.

También permite elevar el contenido inicial de m.o. del suelo agrícola desde su valor inicial (2.07%), hasta 2.28% para el T2, 2.50% para el T3, 2.37% para el T4 y 2.68% para el T5. Dichos incrementos en el contenido de m. o. del suelo no pueden explicar cambios sustanciales en las propiedades físicas y químicas del mismo; por lo que la aplicación de composta y lodos en este estudio permitió, sólo abastecer de nutrimentos al maíz en un caso, y al *P. douglasiana* en otro.

**Cuadro 9. Algunas características de los materiales utilizados en esta investigación.**

Material utilizado	PH	M.O. %	N %	P %	K %	C/N
L. municipal	6.63	16.55	1.69	2.62	0.66	5.69
L. maquiladora	5.97	21.71	2.91	2.11	0.62	4.33
Composta	5.88	30.63	4.06	2.27	0.34	4.38
<b>Reporte de Water technology</b>						
Lodos sin digerar		50	2.1	0.6	0.1	
Lodos digerados		50	0.9	0.5	0.1	

#### 4.1 EVALUACIÓN MAÍZ:

Se presentan los resultados generados durante un ciclo (primavera-verano), para las variables altura de planta, rendimiento de grano y forraje por ha, además de otras observaciones consideradas. Los análisis de varianza realizados para cada una de las variables estudiadas detectaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados ( $P < 0.05$ ), las cuales se presentan en el apéndice 4.

En el Cuadro 10 se comparan los valores promedio de las variables altura de planta, número y peso de mazorcas, rendimiento de grano y forraje por parcela experimental, cuantificadas para determinar el efecto de la aplicación al suelo de lodos frente a la dosis de fertilización química. En todas las variables evaluadas se puede notar una clara diferencia estadística entre los valores promedio de los tratamientos a base de lodos residuales con respecto a la fertilización química. Los valores promedio más bajos se obtuvieron con la fertilización química, así por ejemplo, el rendimiento promedio de grano por parcela de este tratamiento fue de 6.260 kg/parcela mientras que el rendimiento promedio obtenido de los tratamientos a base de lodos estuvo en un rango de 8.400 a 9.980 kg/parcela respectivamente.

**Cuadro 10. Altura promedio de planta, número y peso de mazorcas, rendimiento de grano y forraje promedio por parcela obtenidos en los tratamientos estudiados.**

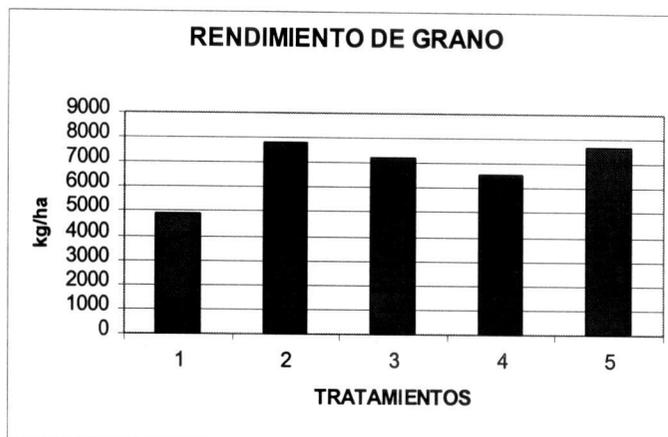
Tratamiento	Altura de planta	Mazorcas número	Rendimiento		
	cm		Mazorcas	Grano	Forraje
			(kg/parcela)		
Fertilización química control	2.19 b	92c	7.720 c	6.260 c	10.250b
10 tn/ha lodos deshidratados	2.84 a	112 ab	12.360 ab	9.980 a	16.380 a
20 tn/ha lodos deshidratados	2.87 a	108 ab	11.380 ab	9.200 ab	15.780 a
10 tn/ha lodos compostados	2.78 a	98 bc	10.260b	8.400b	14.120 a
20 tn/ha lodos compostados	2.77 a	107 ab	11.84 ab	9.860 a	15.44 b
C.V. (%)	3.38	6.52	7.86	8.05	9.06

Tuckey (<0.05). Valores seguidos de la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes.

En la Fig. 7 se puede confirmar la superioridad de rendimiento de maíz expresado en kg/ha, por los tratamientos a base de lodos residuales con respecto al fertilización química utilizada en este experimento. Puede considerarse, sin embargo, que los mayores rendimientos se obtuvieron con los tratamientos 2, 3 y 5 (10 y 20 t/ha de lodos deshidratados y 20 t/ha de lodos compostados), sin diferencias estadísticas entre estos. Independientemente de los lodos aplicados, se observó que los rendimientos cuando se aplicaron solamente deshidratados fueron mayores respecto a los tratamientos con lodos compostados.

En cuanto al rendimiento obtenido en los diferentes tratamientos, no coinciden con los obtenidos en el primer año por Porcel *et al.* (1996) y Reyes *et al.* (1996), ya que no encontraron diferencias estadísticas entre el rendimiento de maíz obtenido de una parcela fertilizada con lodos a una dosis de 11 t/ha contra una fertilizantes química de 800 kg/ha de la formula 15-15-15 más 350 kg/ha de urea. Esto puede ser debido al origen y composición de los lodos utilizados y a las condiciones edáficas de los sitios

experimentales. Por otro lado Walter *et al.*, (1996), en su primer año de evaluación, si encontraron respuestas positivas pero en el cultivo de trigo, al comparar dos cantidades de lodos (50 y 100 t/ha) contra una fertilización química convencional equivalente en NPK a la menor dosis del lodo.



**Fig. 7. Efecto de la aplicación de lodos y fertilizante químico sobre el rendimiento de maíz.**

El incremento en la producción de maíz por efecto de la aplicación de lodos residuales se debe a la interacción de múltiples factores de acuerdo a lo señalado en la literatura, relativo al efecto favorable de estos residuos usados como fertilizante orgánico sobre la producción de cultivos (Pomares *et al.*, 1987; Reyes *et al.*, 1996; Bigriego *et al.*, 1993; Walter *et al.*, 1994; Otero *et al.*, 1996 y Porcel *et al.*, 1996).

De esos efectos se pueden mencionar la incidencia de la materia orgánica sobre la mejora de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, el efecto de los micronutrientes aportados por el lodo residual y fundamentalmente los macronutrientes que se liberan a medida que se mineraliza la materia orgánica. Con lo que las pérdidas por lixiviación especialmente en el caso de nitrógeno se reducen considerablemente.

En el Cuadro 11, se puede evidenciar un notable tendencia a incrementarse el contenido de algunos macronutrientes, y micronutrientes a medida que se incrementaba la cantidad de lodos deshidratados y lodos compostados como en el caso de fósforo, manganeso y zinc.

**Cuadro11. Composición química del suelo donde se estudio el efecto la aplicación de lodos residuales como abono orgánico en el cultivo de maíz.**

Tratam.	pH	M.O	N total	P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	K(K <sub>2</sub> O)	Ca	Mg	Mn	Zn	C.E
		%	mg kg <sup>-1</sup>							mili mhos/cm
S inicial	4.43	2.07	140 A	4.56 MB	220 M	350 MB	55 M	22 M	14 M	0.225
Control	4.35	1.97	150 A	2.31 MB	168 M	400 B	100 A	46 A	2 B	0.545
T2	4.43	2.69	160 A	5.99 MB	192 M	200 B	30 M	19 M	4 B	0.233
T3	4.42	3.21	160 A	11.40 B	120 B	400 B	70 M	44 A	14 A	0.753
T4	4.57	2.59	180 A	7.49 B	120 B	300 B	70 M	26 M	6 M	0.212
T5	4.79	2.58	160 A	14.01 B	168 M	600 M	140 A	45 A	12 A	0.656

MB: muy bajo, B: bajo, M: medio, A: alto, N: normal, MA: muy alto

En este sentido, y considerando lo citado por Canet *et al.*, (1996) respecto a que el nitrógeno y fósforo se encuentran generalmente en forma orgánica en los lodos, se puede decir que el incremento productivo por efecto de estos residuos, se debió probablemente a una adecuada mineralización de la materia orgánica contenida en los lodos lo cual libero al nitrógeno y fósforo en formas asimilables. Aunque se considera una liberación lenta, de esta manera los niveles adecuados de estos minerales en el suelo se mantienen por periodo de tiempo más prolongado, suficiente para la fuerte demanda de estos en las diferentes fases del cultivo (Porcel *et al.*, 1996).

La baja producción de maíz que registró el tratamiento a base de fertilización química, demuestra que, probablemente la dosis aplicada no fue suficiente para cubrir la fuerte demanda de nitrógeno por parte del cultivo.

La menor concentración de este elemento encontrado en grano y follaje (Cuadro 12), puede explicarse en base a los siguientes argumentos:

El nitrógeno se pudo haber quedado en el suelo (absorbido).

Se pudo haber lixiviado: Se pueden presentar pérdidas de nitrógeno a mayores profundidades del suelo por lixiviación una vez iniciado el temporal, ya que de acuerdo con lo reportado por Reyes *et al.*, (1996) por presentarse en forma soluble los compuestos nitrogenados en el fertilizante químico al no ser aprovechados totalmente son lixiviados, mientras que las pérdidas por lixiviación se reduce considerablemente especialmente en el caso del nitrógeno que se libera a medida que se mineraliza la materia orgánica de los lodos residuales; aunque este fenómeno se minimiza, precisamente con la aplicación dosificada, en este caso en dos tiempos.

Otra situación que se pudo presentar, es la volatilización de nitrógeno en forma de gas ( $\text{NH}_3$ ), nitrógeno oxidado ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y la forma más simple ( $\text{N}_2$ ).

**Cuadro 12. N en follaje y grano por efecto de fertilización y aplicación de lodos y composta.**

Tratamientos	% Nitrógeno	
	En follaje	En grano
Fertilización química	1.08	1.47
10 t/ha lodos	1.52	1.84
20 t/ha lodos	1.51	1.74
10 t/ha lodos compost	1.35	1.55
20 t/ha lodos compost	1.45	1.84

El Cuadro 12, permite inferir que los tratamientos con sustancias orgánicas (lodos y composta), al tener un proceso continuo de mineralización, ponen a disposición el N, el P y otros elementos durante todo el periodo de demanda de nutrimentos. Por el contrario el tratamiento con aplicación de de N inorgánico presento el menor valor, debido a que su absorción se ve influenciada por los factores antes mencionados.

Con respecto al contenido de metales pesados en grano, en el Cuadro 13 muestra las cantidades encontradas en los diferentes tratamientos, indicando que ninguno de estos elementos experimentó aumentos significativos, por las aplicaciones de las diferentes cantidades de lodos aplicados al suelo. Aunque se observa que el Zn se incrementó en pequeñas cantidades en el grano cosechado de los tratamientos a base de lodos, no se observó una tendencia de contenidos mayores de Zn al aumentar la dosis de lodos como se ha encontrado en otras investigaciones. Esto se debe probablemente a que los lodos utilizados no contenían cantidades elevadas de Zn. Pese al ligero incremento de Zn esta concentración no llega a sobrepasar los límites permitidos para el maíz.

**Cuadro 13. Contenido de metales pesados en granos de maíz por efecto de los tratamientos aplicados**

Tratamientos		Cadmio	Cromo	Cobre	Plomo	Níquel	Zinc
		mgkg <sup>-1</sup>					
T1	Fertilización química	<0.116 a	0.965 a	3.52 a	<1.66 a	<0.832 a	30.6 a
T2	10 t/ha lodos	<0.116 a	0.833 a	3.59 a	>1.66 a	<0.832 a	46.1 a
T3	20 t/ha lodos	<0.116 a	0.834 a	2.73 a	>1.66 a	<0.832 a	42.2 a
T4	10 t/ha composta	<0.116 a	0.831 a	3.29 a	>1.66 a	<0.831 a	35.4 a
T5	20 t/ha composta	<0.116 a	0.834 a	2.73 a	>1.66 a	<0.832 a	42.2 a

Valores seguidos de la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes

De acuerdo con los resultados de laboratorio, donde se analizaron metales en grano, se puede observar que el contenido de cada metal (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni y Zn), no manifestó alguna diferencia estadísticamente significativa relativa a cada tratamiento, por lo que se puede inferir que los lodos y composta no afectan la calidad del suelo, dado que se comportan en este caso, como los fertilizantes orgánicos. Sin embargo existe cierto nivel de riesgo a esos metales dado que si el contenido de Cd que fue de 0.166 mgkg<sup>-1</sup> en el grano de maíz, se puede inferir que si ese grano es para consumo humano, entonces la exposición diaria a ese metal es de 0.0398 mg Cd/día y el nivel máximo aceptable es de 0.070 mg Cd/día, entonces, es posible que con la exposición de otros alimentos se pueda superar ese valor aceptable.

## 4.2 EVALUACIÓN DE PINO

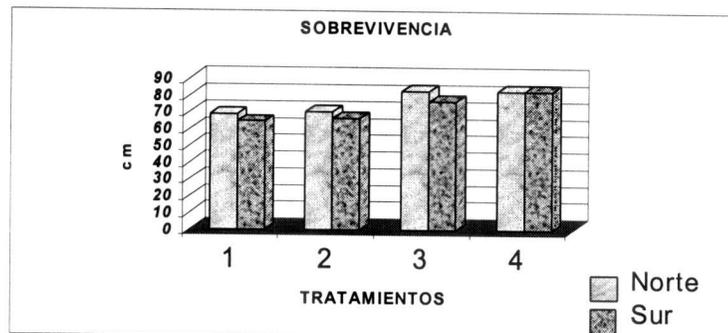
La aplicación de lodos a brinzales de pino en plantaciones de La Primavera permitió demostrar las ventajas que ofrece este tipo de aprovechamiento, influyendo positivamente sobre el establecimiento de plantaciones forestales en áreas que presentan limitaciones para su reforestación. Por otro lado se deben considerar los efectos benéficos que traerá para la ciudad el éxito de las plantaciones al renovar las áreas degradadas, beneficios hasta ahora poco valorados social y económicamente.

Como se ha manifestado el bosque de “La Primavera” ha sido sumamente perturbado por el hombre, debido al sobreuso que de él se hace. Hasta hace poco existía deforestación para incorporar áreas agrícolas, pastizales y para obtener leña. En la actualidad la ganadería extensiva, sin control ni manejo alguno lo que ocasiona la degradación constante de los habitats, la nula regeneración natural y la muerte de brinzales plantados. Por otra parte los efectos devastadores de los incendios forestales son frecuentes en la época de estiaje, provocados generalmente por paseantes, por descuido de agricultores y por ganaderos para promover el pelillo del pasto.

Debido a lo anterior, el éxito de las plantaciones se ve seriamente disminuido por la baja calidad del suelo en los sitios, producto de los factores antes mencionados, además se presentan otras condiciones adversas que enfrentan los árboles principalmente en sus dos primeros años de plantados, tales como; sequía y ataque constante de hormigas.

La aplicación de lodos residuales a la cepa de los árboles, mejoraron sus propiedades y se incrementó el contenido de materia orgánica, beneficiando su establecimiento según lo afirmado por Daniel (1996), referente al importante papel que desempeña la materia orgánica en las plantaciones forestales en el “Bosque-Escuela”. Por otra parte, conociendo la calidad del sitio donde se estableció el experimento se puede afirmar que la sobrevivencia y desarrollo de esta especie con la aplicación de lodos es aceptable, ya que en el primer año reportaron en promedio un incremento en altura total de 53.35 cm. Para calidades de sitio mejores y para *Pinus douglasiana*, Gallegos (1998) reportó sobrevivencia del 70% y un incremento promedio anual en altura de 35 cm.

Después de 14 meses de la aplicación de lodos residuales en las parcelas experimentales de *Pinus douglasiana* se observó una sobrevivencia entre el 70 y el 83 % para ambas exposiciones (figura 8).



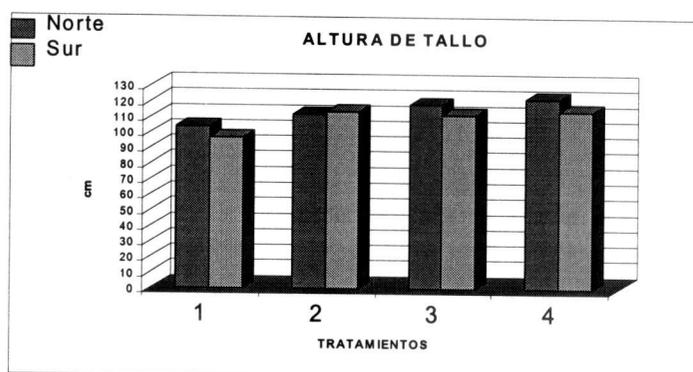
**Fig. 8. Influencia de lodos sobre la sobrevivencia de Pinos y el efecto de la exposición.**

La sobrevivencia es un punto sumamente importante de considerar en las reforestaciones del bosque "La Primavera", debido a que cuando se realizan con plantas muy jóvenes, fuera de la época apropiada y en sitios con baja fertilidad, se presenta una sobrevivencia muy baja.

El crecimiento en altura de tallo de los árboles, todos los tratamientos con aplicación de lodos fueron superiores en comparación al testigo para las dos exposiciones. El tratamiento 4 en la exposición norte arrojó el mayor promedio de 122.55 cm. El mismo efecto se presentó en la exposición sur con 114.16 cm. La altura promedio inicial de los arboles fue de 65.0 cm, por lo tanto, la ganancia del incremento promedio durante 14 meses fue de 57.55 cm para el tratamiento 4 de la exposición norte, mientras que para el tratamiento 4 exposición sur fue de 49.16 cm. (Cuadro 14 y figura 9).

Estos incrementos reflejaron la influencia positiva de los lodos, lo que promovió una mayor elongación de los tallos, durante los primeros seis meses este fenómeno fue mayor, hasta el punto en que los árboles de todos los tratamientos fueron cerrando las diferencias. A los dos años, del establecimiento el efecto ya no era notorio, probablemente por las dosis tan bajas que se utilizaron y por no haber realizado otra aplicación de lodos al año de establecimiento (al inicio del temporal). Desafortunadamente no hubo oportunidad de valorar este efecto, debido a que se presento un incendio de grandes dimensiones afectando esta plantación.

**Fig. 9. Influencia de la aplicación de lodos sobre la altura de tallo.**



Con respecto al diámetro de tallo en la exposición norte, el mejor incremento se presentó con el tratamiento 4 el cual fue de 2.92 cm, en comparación con el tratamiento control donde se registró un valor de 2.39 cm. El tratamiento 3 no fue significativamente diferente con respecto al 4, pero tampoco con respecto al tratamiento 1 y 2. Se establece entonces que el diámetro presenta un efecto positivo a la aplicación de lodos, la mejor respuesta se presentó con la mayor dosis (Cuadro 14).

Para la exposición sur no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, probablemente porque el efecto de los lodos se vio influenciado y enmascarado por la intensidad solar.

El diámetro de copa arrojó resultados similares (en cuanto a significancia estadística de la comparación de promedio) que para el diámetro de tallo, en la exposición norte, presentando el tratamiento 4 un valor de 64.92 cm y el tratamiento testigo de 44.44; la exposición sur, también resultó influenciada por los lodos, reflejando el mejor incremento para el tratamiento 4 con 53.81 cm en comparación con el tratamiento control con 47.07 cm. Los tratamientos 3 y 2 no presentaron diferencias con respecto al 4, pero tampoco con respecto al control; por lo tanto dosis mayores a 100 g. podrán influir más sobre el desarrollo de la parte foliar de los pinos (Cuadro 14).

**Cuadro 14. Resultados comparativos entre las variables de los tratamientos para *P. douglasiana*.**

Tratamiento	Sobrevivencia %		Altura de tallo		Diámetro de tallo		Diámetro de copa	
			N	S	N	S	N	S
<b>T1 (control)</b>	68.8	64.6	96.81	103.69	2.39	2.61	44.44	47.07
<b>T2 (30 g)</b>	70.8	66.7	113.84	111.58	2.41	2.58	49.53	51.88
<b>T3 (60 g)</b>	83.3	77.1	111.60	118.14	2.84	3.06	57.16	53.41
<b>T4 (100 g)</b>	83.3	83.3	114.16	122.55	2.92	2.98	64.92	53.81

Durante el desarrollo de este experimento se presentaron algunos problemas, los cuales deben ser considerados en futuras evaluaciones forestales. Para evitar que el ganado pisotee, muerda o arranque los árboles, se deben establecerse cercas y lienzos para evitar su ingreso.

El ataque constante de hormigas, que defolian continuamente los árboles provocó la muerte de numerosos individuos, por lo que se debe controlar con polvos insecticidas aplicados directamente a los árboles que están siendo dañadas.

Se presentó un fuerte incendio forestal a los 24 meses de la plantación experimental, lo que ocasionó la pérdida de todos los árboles, un factor importante para evitar este problema es contar con brechas cortafuegos que circulen las plantaciones experimentales, y estas deben ser lo suficientemente grandes y limpias que impidan el paso del fuego, además de una constante vigilancia.

## 5 CONCLUSIONES

### *Sobre las características de los lodos:*

Las propiedades y características físicas, químicas, biológicas y tóxicas que presentaron los lodos residuales utilizados en la presente investigación y que son generados por las plantas de tratamiento de empresas maquiladoras de Guadalajara, no representaron riesgos significativos para ser utilizados como fertilizante orgánico ya que las cantidades de metales pesados en los lodos no fueron significativamente diferentes con respecto al fertilizante mineral, su concentración esta alejada de los límites legales permitidos para aplicación en actividades agrícolas según las legislaciones consultadas.

El aprovechamiento de lodos residuales en actividades agrícolas y forestales contribuye considerablemente a resolver el problema de alta generación de estos materiales en la zona metropolitana de Guadalajara, al utilizar cantidades altas en las dosis de aplicación.

Los lodos residuales poseen elevadas cantidades de materia orgánica (entre 16.55 y 21.71%) y nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de los cultivos especialmente, nitrógeno (1.69 y 2.91%) y Fósforo (0.62 y 2.11%).

### *Sobre los cambios en los suelos:*

Los cambios que presentaron los suelos agrícolas a los que se les aplicaron lodos deshidratados y composta de lodos, fueron: se elevó el nivel de pH al pasar de 4.35 para el control hasta 4.79 en el tratamiento 5, se incremento la materia orgánica de 2.07% en el suelo inicial a un promedio de 2.76% y macro nutrimentos (N total de 150 a 160 mgkg<sup>-1</sup> y P de 2.31 hasta 14.01 mgkg<sup>-1</sup>).

De acuerdo a los resultados mostrados en los análisis de suelo de los diferentes tratamientos y de los propios del lodo, se concluye que, en cuanto a su contenido de fósforo (2.27 y 2.62%), pueden ser incorporados a sistemas agroforestales, de acuerdo a la problemática planteado por Krishnamurthy (1999), con respecto al flujo de este nutriente en los SAF's.

### ***Sobre la respuesta del maíz a los lodos:***

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio y bajo nuestras condiciones experimentales se concluye también que la aplicación de lodos residuales como abono orgánico en maíz, en la región de Tala, Jalisco permitió reconocer que los rendimientos fueron superiores en promedio del 66.9%, en comparación a los obtenidos con la dosis de fertilización mineral, al pasar de 4890 a 7300 kg/ha en promedio. Por lo tanto es conveniente el uso de estos materiales en suelos de cultivo bajos en fertilidad y material orgánico. Sin embargo, será indispensable continuar realizando investigaciones, ya que con la continua utilización de lodos residuales en actividades agrícolas se deben considerar los cambios que se presenten en todas las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; por otro lado se corre el riesgo de contaminar el suelo por la acumulación de metales pesados y otros elementos potencialmente tóxicos.

### ***Sobre la respuesta del *P. douglasiana*:***

A un año y 2 meses de establecido el experimento en el bosque “La Primavera”, Jalisco se puede concluir que la aplicación de lodos residuales en la cepa al momento de plantar mostró efectos favorables sobre la sobrevivencia al presentar en promedio 83% para los tratamientos con lodos y de 66.7% de sobrevivencia para el control, el desarrollo y crecimiento inicial de *Pinus douglasiana* (Mart.) se mejoró, reflejándose en un incremento anual en altura de 49.16 a 57.55 cm para lodos y de 34.25 para el control; el diámetro de tallo paso de 2.5 a 2.95 cm y el diámetro de copa paso de 45.75 a 59.36 cm en los tratamientos a base de lodos. En cuanto a la influencia favorable sobre la sobrevivencia, ésta se presentó para ambas exposiciones. Estadísticamente, el mejor incremento en altura total, lo presento el tratamiento 4 de las exposiciones norte y sur; el efecto sobre el diámetro de tallo fue diferente significativamente solo en la exposición norte y el diámetro de copa fue mejor en el tratamiento 4 en ambas exposiciones.

## 6 SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

Antes de emitir recomendaciones sobre la aplicación de lodos residuales, debemos considerar que no todos los lodos presentan las mismas características, por lo que será indispensable contar con los análisis correspondientes que nos muestren, tanto el contenido de elementos tóxicos como de nutrimentos favorables a las plantas. De acuerdo a lo investigado, encontramos que la mayoría de lodos generados por empresas maquiladoras y algunos ayuntamientos presentan características similares y apropiadas para este propósito.

Cuando el contenido de metales pesados rebase los límites permisibles de metales pesados, no se debe utilizar estos residuos en la producción de cultivos para alimentación, sin embargo, dependiendo de la cantidad presente de estos elementos podría ser factible aplicarlos en plantaciones forestales, evitando ocasionar impactos ambientales al ecosistema o al cultivo de plantas ornamentales.

Se recomienda la aplicación de lodos deshidratados, por el menor costo que implica su aprovechamiento en comparación con los costos que representa la elaboración de composta.

La dosis apropiada para la zona de influencia del presente trabajo y para el cultivo de maíz, es entre 10 y 20 toneladas por hectárea, dependiendo de las condiciones edáficas y de la composición química de los lodos por aplicar.

Debido a que se presentaron mejores condiciones de sobrevivencia, desarrollo y crecimiento inicial en los tratamientos donde se aplicaron lodos residuales, se recomienda evaluar dosis mayores a los 100 g y comparar tratamientos a cada 100 g hasta 500 g y a cada 500 g hasta 2.5 kg, con la intención de conocer dosis óptimas para las especies evaluadas. Además de evaluar el sitio de aplicación, uno hasta la parte inferior de la cepa, otra en la superficie con y sin capa de suelo, y por último, mezclar los lodos con todo el suelo que se aplicará para tapar la cepa.

Con base a los resultados obtenidos y la información consultada, se puede establecer que se debe valorar como una práctica viable para usar estos materiales en la recuperación de áreas degradadas promoviendo la regeneración de la vegetación, la cual servirá de protección del suelo y de forraje para la fauna silvestre.

## 7 LITERATURA CITADA

- Anónimo. 1993. Residuos peligrosos. Diario Oficial de la Federación. 3ra. Sección. Anexo 5. Tabla 5. México. Fecha 22/10.
- Amorena, A. 1995. Plan integral de reutilización de lodos de depuradora en la comarca de Pamplona. En Gestión y utilización de residuos urbanos para la agricultura. Fundació Caixa. Edit. AEDOS. pp. 45-55.
- Angel, L. M. y R E. Vázquez. 1998. Interacción leguminosa - materia orgánica y su efecto en el suelo. Ciencia Agropecuaria FAUANL. México. 8(1):17-22.
- Bigeriego M y Walter I. 1984. Residuos sólidos municipales, n 8:201-211. Cit. en J. Reyes (1996) resultados preliminares de la aplicación de los lodos como fertilizante y su implicación en la migración de nitratos a través de la zona no saturada. Geogaceta. 20(6): 1285-1287.
- Bigeriego M. 1993. Notas del Curso sobre tratamiento de residuos urbanos. Aplicación agronómica de los lodos residuales. CIT - INIA. Madrid. España. 44 p.
- Black, A. S. *et al.* 1984. Manual for land application of treated municipal wastewater and sludge. Ontario, Canada. pp. 152-154.
- Boixandera, J.; C. Herrero y C. Rúbies. 1995. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos y recomendaciones para el abonado: estado de la cuestión en Cataluña. En Gestión y utilización de residuos urbanos para la agricultura. Fundació Caixa. Edit. AEDOS. pp. 147-159.
- Bontoux, L.; M. Vega y D. Papameletiou. 1998. Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: el problema de los lodos. IPTS report. Vol 23. <http://www.jrc.es/pages/f-report.es.html>.
- Braatz, S. y A. Kandiah. 1996. Utilización de aguas residuales urbanas para el reigo de árboles y bosques. UNASYLVA. FAO. Vol 47 (185): 45-50.
- Bribiesca P.,L. 1987. La preparación manual del terreno con fines forestales. U.A.Ch. México. pp. 8-20.
- BUC. 2000. Reciclaje de Biosólidos. Una solución práctica. Comité de uso de biosólidos (BUC; siglas en ingles). <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/environmental>.

- Burés, E. 1997. Sustratos. Control de procesos de compostaje. Madrid. edit. Agrotécnicas S.L. pp. 266-274.
- Canet, R.; E. Pomares.; M. Estela y E. Tarazona. 1996. Efecto de los lodos de depuradora en la producción de hortalizas y las propiedades químicas del suelo. Invest. Agr.: Prod. Prot. Vege. España. 11 (1): 83-99.
- Cunningham, J.D., D.R. Keeney and J. A. Ryan. 1975. Yield and metal composition of corn and rye grow on sewage sludge-amended soil. J. Environ. Qual. 4:448-454.
- Curiel B., A. *et al.* 1988. Plan de manejo del Bosque "La Primavera". Universidad de Guadalajara. Guadalajara. Jalisco.
- Daniel P., P. 1996. Métodos de plantación con *Pinus devoniana* Lindl. En el campo experimental Bosque-Escuela. Ing. Agr. Forestal. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. p. 1, 50 y 51.
- Díaz L., J. A. 1991. Depuración de aguas residuales. Edit. MOPT Unidades temáticas ambientales de la Secretaria del Estado para las políticas del agua y el Medio ambiente. p. 71, 101, 102, 103, 104, 128, 146.
- DMCyP. 1990. Bosque escuela. Folleto informativo. Universidad de Guadalajara. P.p. 1-4, Medina H., J. A. y J. M. García P. 1995. Evaluación de la adaptabilidad de dos especies de *Pinus*, bajo diferentes condiciones edáficas, en el Bosque-escuela. Ing. Agr. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. pp. 17-19.
- EPA. 1994. Biosolids recycling: Beneficial technology for a better environment. <http://www.epa.gov/ncepihom/catalog/EPA832-R-94-009.html>. pp. 9-10
- Epstei, E.; J. M. Taylor and R. I. Chaney. 1976. Effects of sewage sludge compost applied to soil and some soil physical and chemical properties. J. Environ. Qual. 5:422- 426.
- FAO. 1991. MANEJO DEL SUELO; Producción y uso del Composte en ambientes tropicales y subtropicales, FAO, Roma, pp. 14-16, 21-28. 87, 103.
- Farjon, A. y B. T. Styles. 1997. Flora neotropica monograph 75 *Pinus* (Pinaceae). Organization for flora neotropica. TheNew York Botanical Garden. pp.142-144.

- Felipó O., M. T. 1995. Reutilización de residuos urbanos y posible contaminación. En Gestión y utilización de residuos urbanos para la agricultura. Fundación Caixa. Edit. AEDOS. pp. 27-37.
- Flores, V., J. 1994. Evaluación de los herbicidas turbo 8 C.E y SENCOR 480 C.E para el control de malezas asociadas al cultivo del maíz de temporal en jalisco. Ing. Agr. Fitotecnista. Universidad de Guadalajara. Jalisco. p. 1.
- Gallegos R., A. 1988. Estudio preliminar para determinar la densidad de plantación "Método Nelder" con *Pinus michoacana* en el Bosque-escuela. Ing. Agr. Universidad de Guadalajara. Jalisco. p. 58.
- Gallegos R., A. 1997. Erfassung und Herleitung von planungsrelevanten Relief- und Vegetationsparametern mit Hilfe von terrestrischen und erophotogrammetrischen Methoden unter Verwendung eines Geographischen Informationssystem (GIS): Modellstudie am Beispiel des H.W.Dalzell. Lehrwaldes der Universität Guadalajara/Mexiko. Tesis doctoral. Universidad de Goettingen, Alemania
- Gallegos R., A. *et al.* 1992. Algunos resultados preliminares de la investigación forestal en el Bosque-Escuela. Universidad de Guadalajara. Tiempos de ciencia N°26. pp. 1-6.
- Gamrasni, M., A. 1985. Aprovechamiento agrícola de aguas negras urbanas. Limusa. México. p. 11-29, 90-97.
- Hilleboe E., H. 1976. Manual de tratamiento de aguas negras. 5ª reimpresión. Traducción Falcon, C. Limusa. México. D.F. pp. 19, 41-45.
- Janse J., F. 1998. Programa de biosólidos, presentado en el taller de biosólidos México. Ministerio del Medio Ambiente de Ontario, Canada. 6 p.
- Krishnamurthy, L. y J. A. Leos-Rodriguez. 1994. Agroforestería en Desarrollo. Educación, investigación y Extensión. Universidad Autónoma Chapingo. México D.F. pp. 83-103
- Krishnamurthy, L. y M. Ávila. 1999. Agroforestería Básica. Serie textos básicos para la formación ambiental n° 3. PNUMA. FAO. México, D.F. pp 29-30, 193-194.
- Labrador M., J. 1996. La materia orgánica en los Agrosistemas. Edit. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 14, 20, 27, 28, 67, 68, 77, 87, 89, 124, 126.

- Lovell, B. 1996. Aplicación en suelos de biosólidos de drenaje para la producción de cosechas. Factsheet. Orden Núm. 95-069. Ontario. 8 p.
- MacCaslin B., D.; J. Davis G.; L. Lihacek y L. Schuleter A. 1987. Sorghum yield and soil analysis from sludge-amended calcareous iron-deficient soil. *Agron. J.* 79:204-209.
- Martinez F., F. X. 1995. Posibles usos de los residuos urbanos en la agricultura: Abono, enmienda orgánica y sustrato de cultivo. En *Gestión y utilización de residuos urbanos para la agricultura*. Fundación Caixa. Edit. AEDOS. pp. 15-27.
- Medina V., J. H. 1991. Especies forestales de acuerdo a la ecología y grupos de manejo en el Bosque-escuela. Ing. Agr. Forestal. Universidad de Guadalajara. Jalisco. p. 58.
- Molina B., J.; M. Murillo; F. Cabrera y R. López. 1996. Respuesta de un raygras a la aplicación de Compost urbano y otros abonos. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Vege. España.* 11 (1): 69-81.
- Newman, P.; J. Bourden y A.V. Bruce. 1989. Production treatment and use of sewage sludge processing and use of organic sludge and liquid agricultural wastes. Elsevier. London.
- Olivares S., E. 1996. Diseños experimentales con aplicación a la experimentación agrícola y pecuaria. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León. México.
- Otero, J. L., M. L. Andrade y P. Marcet. 1996. Caracterización química y evaluación agronómica de dos tipos de lodos residuales. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Vege. España.* 11 (1): 117-131.
- Pere, B. 1995, jornadas técnicas sobre reutilización de residuos urbanos en agricultura, Planta de Compostaje de lodos de depuradoras y restos de poda: Utilización del sistema de túneles; edit. Aedos, Madrid - Barcelona - México. pp:91-95.
- Perry P., J. Jr. 1991. *The Pines of Mexico and Central America*. Portland, Oregon. Printed in Hong Kong. pp. 118-120.
- Pohris, H. 1985. Explicaciones básicas respecto a la planeación e investigación silvicultural y a la realización del plan proyecto "Bosque-escuela" en "La Primavera", Jalisco. Guadalajara. México. Universidad de Guadalajara. pp. 1-10.

- Pomares, E.; F. Tarazona y J. Roca. 1996. Crop response to sewage sludge and mineral as nitrogen sources. En: proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium of Agricultural Waste Management and Environmental Protection.
- Porcel, M. A., Walter, I. y Bigeriego, M. 1994 . Utilización del compost de lodo como abono orgánico mineral en maíz. En: Memorias de las Jornadas Internacionales sobre Aguas Residuales Urbanas e Industriales. Sevilla, España. 4 p.
- Quinteriro R. 1998. Efecto de la adición de un lodo residual sobre las propiedades del suelo: experiencia de campo. Edafología. no. 5. pp. 1-10. España.
- Reyes, J.; S. Martínez; A. Sastre.; M. Bigeriego y M. Porcel. 1996. Resultados preliminares de la aplicación de lodos de depuradora como fertilizante y su implicación en la migración de nitratos a través de la zona no saturada. Geogaceta. 20 (6): 1284-1288.
- Robusté, J. 1995. Producción y eliminación de lodos de depuradora en la comarca de Pamplona. En Gestión y utilización de residuos urbanos para la agricultura. Fundación Caixa. Edit. AEDOS. pp. 37-43.
- Rodarte A., S. 1993. Factibilidad de la utilización de un paquete tecnológico para el cultivo de maíz en el edo. de Jalisco. Ing. Agr. Fitotecnista. Universidad de Guadalajara. Jalisco. pp. 5-9.
- SARH. 1993. Primer simposium internacional y cuarto nacional. "El maíz en la década de los 90. Memorias. Zapopan Jal. 16-19 de Marzo. pp. 9,13,14.
- Soliva T., M. 1995. Presentación de las jornadas sobre la reutilización de residuos urbanos en la agricultura y estado actual del tema. En Gestión y utilización de residuos urbanos para la agricultura. Fundación Caixa. Edit. AEDOS. pp. 9-15.
- Villavicencio G., R. 1992. Implantación de sitios permanentes de investigación, medio indispensable para la ordenación ecológica forestal del Bosque-escuela. Ing. Agr. Forestal. Universidad de Guadalajara. Jalisco. p. 69.
- Walter I.; M. Bigeriego y R. Calvo. 1994. Efecto fertilizante y contaminante de lodos residuales en la producción de trigo en secano. Invest. Agr.: Prod. Prot. Vege. España. 9 (3):501-507.

## 8 ANEXOS

### ANEXO 1. INFORMACIÓN SOBRE EL ÁREA DE ESTUDIO

#### Ubicación bosque de La Primavera

La Primavera es el bosque más cercano a la ciudad de Guadalajara, al poniente de la misma y con una extensión territorial de 36,229 ha, de las cuales 30,500 fueron decretadas en 1980 como Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre.

La serranía es una elevación situada al centro de un conjunto de valles: Tala, Tesistán, Toluquilla, Atemajac y San Isidro Mazatepec.

Pertenece a cuatro municipios mismos que en orden proporcional dentro del bosque son: Zapopan (48%), Tala (37%), Tlajomulco (12.5%) y Arenal (2.5%).

Su localización geográfica corresponde a las siguientes coordenadas: longitud 103° 35' a 103° 28", y latitud entre 20° 37' y 20° 45'. Limita con las carreteras: Guadalajara- Tequila al norte, Tala -Ahuiculco al oeste, Guadalajara - Zacoalco de Torres al este, y San Isidro- Tlajomulco al sur. Curiel, (1988).

#### AREA DE INFLUENCIA

El Bosque la Primavera (BLP) presenta un área de influencia hídrica – ambiental de 150,000 ha, aproximadamente, que engloba a 8 municipios y 114 poblados. La proporción de estos municipios que dependen de BLP para mantener su equilibrio ambiental se incluye en el Cuadro 15.

**Cuadro 15. Proporción de los municipios que dependen de BLP**

<b>Municipios</b>	<b>Area de Influencia (AI) %</b>	<b>% del municipio dentro del AI</b>
Zapopan	36.6	55.61
Tala	30.8	66.58
Tlajomulco	15.2	33.75
Arenal	4.6	49.53
Guadalajara	4.1	40.06
Acatlan de Juárez	3.4	32.06
Tlaquepaque	3.2	36.62
Teuchitlan	2.1	15.64

#### USO ACTUAL DE LA TIERRA

El uso que se le da al suelo en el bosque La Primavera es en su mayor porcentaje forestal 69.5%, corresponde a una asociación vegetativa de encino y pino, el 5.6 % presenta un bosque puro de encino, y solo el 1.3 % es masa pura de pino. En cuanto a la extensión forestal modificada para uso agrícola esta es del 11.4%. El 6.2% representa otro tipo de composición florística y asociaciones secundarias, el 5.3% se encuentra sin vegetación por daños severos de erosión y el 0.5% del área se considera zona urbana.

#### AGRICULTURA

En el bosque la Primavera se practica la agricultura en el 7.1% del área, cuando en términos técnicos sólo el 5% es apta para ello, pero debido a la fragilidad de la zona, esta práctica debería de ser excluida Curiel, (1988).

#### GEOLOGÍA

Su formación se remonta a 130,000 años atrás con la formación de una caldera con un área aproximada de 78 km<sup>2</sup> presentándose la última erupción hace 28,000 años, cuando se originaron el Cerro Pelón y el Cerro del Colli.

El relieve presente en la serranía es de tipo irregular, por su origen y evolución, combinando formas volcánicas, denatorias fluviales y tectónicas. La fisiografía se manifiesta por un rango altitudinal de 1400 a 2200 msnm.

La sierra esta compuesta fundamentalmente de rocas ígneas extrusivas ácidas en la siguiente proporción: toba (46%), pómez (34%), riolita (10%), obsidiana (8%) y andesita basáltica (2%). Curiel, (1988).

Según el sistema de clasificación de recursos naturales del programa nacional de ecología urbana, elaborado por La Secretaría de desarrollo urbano y ecología (1981, SEDEUR), este bosque forma parte de dos tipos de reservas:

#### **I Reservas Naturales Estrictas:**

1. Refugio de fauna silvestre
2. Santuario de aves
3. Reservas forestales
4. Reservas ecológicas

#### **II Reservas Naturales Dirigidas**

1. Est. Experimentales de fauna silvestre
2. Estaciones piscícolas
3. Campos experimentales forestales
4. Estaciones experimentales de marismas
5. Estaciones biológicas
6. Zonas de protección forestal

El objetivo de las reservas naturales estrictas, es la conservación y libre evolución del medio natural con el propósito de realizar estudios de carácter científico en el área de las ciencias naturales.

El objetivo de las reservas naturales dirigidas, es la preservación, orientación y experimentación científica de especies bióticas tanto nativas como introducidas, a fin de obtener conocimientos respecto al posible y adecuado aprovechamiento de tales especies.

Los conocimientos adquiridos, deberán ser aplicados en otras regiones previamente definidas.

Las características de ambas son, áreas naturales donde no ha existido la intervención humana, o donde ésta no ha producido efectos irreversibles en la evolución de la naturaleza.

#### Refugio de fauna silvestre

Son reservas destinadas a la preservación de una o varias especies animales tanto acuáticas como terrestres. En este tipo de reservas se perseveran mamíferos, reptiles, peces y/o anfibios, así como la demás fauna (invertebrados) y flora propia del lugar, en el caso particular de la fauna acuática del área de protección podrá incluir superficies terrestres.

#### Zona de protección forestal

Son reservas que temporal o permanentemente se establecen para proteger el régimen geohidrológico y realizar las investigaciones pertinentes en apoyo a su conservación para impedir que los recursos forestales sean dañados, y desequilibrados los ecosistemas, afectados o destruidos. Estas zonas se localizan en las cabezas de las cuencas hidrológicas, montañas y en apoyo a obras como presas y vías de comunicación.

#### EL BOSQUE-ESCUELA

La creación del campo experimental Bosque-escuela, se logró gracias al apoyo de las autoridades del gobierno del estado de Jalisco, el 14 de Agosto de 1984, se obtuvo la concesión de un terreno de 672 hectáreas (ahora se sabe que en realidad el predio comprende aproximadamente 950 ha) para la realización de investigaciones encaminadas a la protección, conservación y restauración de los recursos existentes en el área (Cuadro 16) por un periodo de 25 años. Decreto 11599 publicado en el periódico oficial del Estado.

Las localidades más cercanas son por el norte Latillas a 1 km, al noreste Cuxpala a 8 km y noroeste la Villita a 4.5 km, en la misma dirección pero a 7 km. San Isidro Mazatepec y al sur-oeste se encuentra el cerro conocido como "San Miguel", el segundo más alto de la sierra después del de "Planillas".

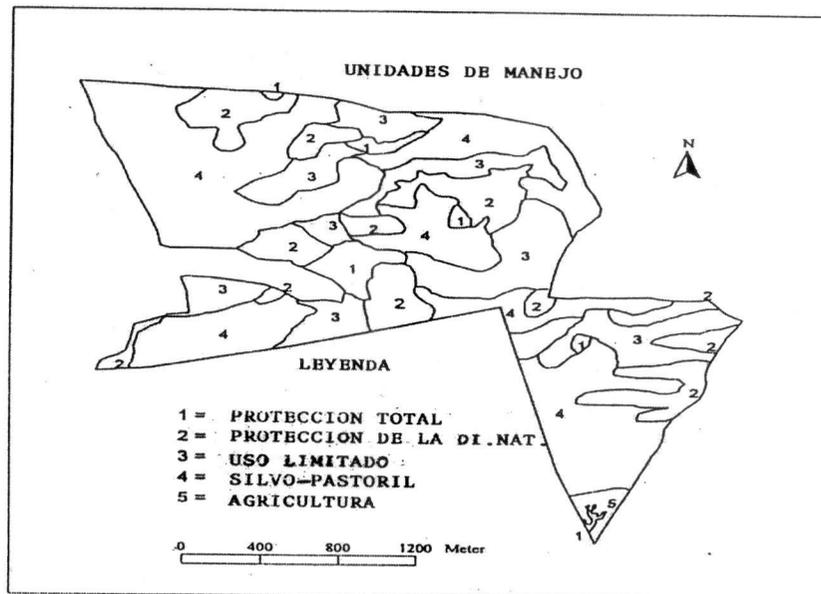


Fig. 10. Mapa del campo experimental "Bosque - Escuela".

Cuadro 16. Descripción del área de bosque-escuela

Factor	Características
Clima	Semicálido subhúmedo
Temperatura media anual	18° C
Geología	Origen volcánico (30 a 140 mil años de antigüedad) Rocas ígneas extrusivas ácidas, riolita, toba, pómez, obsidiana y andesita basáltica
Suelos	Regosol y Feozem
Altitud	1390 – 1570
Vegetación	Bosque de pino y encino Matorral subtropical Vegetación secundaria Pastizal Vegetación semiacuática y acuática
Topografía	Accidentada (de lomerío)

Fuente: D.M.C. y P. de la U. de G. 1990

## ANEXO 2. DESCRIPCIÓN DEL MAÍZ Y SU CULTIVO EN JALISCO

### DESCRIPCIÓN DEL MAÍZ

De acuerdo al resultado de las últimas investigaciones sitúan el origen geográfico del maíz, cuyo nombre científico en "*Zea mays* (L.)". En México y América Central 5,000 años a. C.

El "*Zea mays* (L.)", pertenece a la tribu "Maydae", y a la Subfamilia "panicoideae" de la familia de las gramíneas, siendo el teosinte "*Zea mexicana*", una posible forma ancestral del maíz.

El maíz es una gramínea anual, erecta, cuyo sistema radicular es fasciculado de gran potencia y de rápido desarrollo y constituyen la masa principal del aparato radicular.

El tallo es una caña robusta, de nudos bastante gruesos, rellenos en su interior de un tejido medular esponjoso y su altura ordinaria es de 2.0 a 3.0 metros, con un mínimo de 1.5 metros en ciertas variedades muy precoces y un máximo de 4.0 a 5.0 metros en algunas variedades tropicales.

El número de nudos es variable, así como también su longitud y va desde un mínimo de 12 a un máximo de 24, comúnmente oscila entre 15 y los 22 nudos.

Las hojas son anchas y abrasadoras, de disposición alterna, dotadas de una vaina amplexicaule con lígula bien desarrollada, la lamina foliar es alargada y acuminada con nervios paralelos y finos a cada lado del nervio central semirrigido.

La planta es monoica y las flores femeninas forman gruesos espádices que aparecen en las axilas de algunas hojas; las flores están agrupadas en una espiga rodeada de largas brácteas llamada mazorca.

La inflorescencia masculina es una panícula terminal y se le llama “penacho”, “plumero” o “pendón”.

El fruto es una cariósida en la que se distinguen las siguientes partes: corona (parte exterior, opuesta al punto de inserción en el elote), dos caras (una superior de cara al ápice de la espiga y otra inferior de cara a la base) y el escúdete con el embrión.

Todas las plantas de maíz tienen en general un patrón de crecimiento similar, pero el tiempo específico entre estadios y el número total de hojas a desarrollar variará entre los cultivares, fechas de siembra, épocas y localidades. En general, las plantas precoces suelen tener un número de hojas menor que las de ciclo más largo pueden pasar por los estadios más rápido.

La velocidad de desarrollo para un cultivar está ligada en forma directa a la temperatura (10° y 30°C.), haciendo que el tiempo de los estadios varíen con las temperaturas, tanto en la temporada de crecimiento como entre ellas.

Por otra parte, el número total de granos que se desarrollen por mazorca, el tamaño final de estas, velocidades de aumento de peso y la duración del periodo de crecimiento reproductivo (Nº, de días) varían con los cultivares y las condiciones del medio ambiente de crecimiento.

Tradicionalmente los estadios del desarrollo de una planta de maíz se han dividido en dos grandes categorías: vegetativo y reproductivo.

Vegetativo-. V1, V2, V3 etc., hasta Vn; en donde “n” representa la última hoja totalmente desarrollada, antes de VP (aparición de la panícula). El primer estadios vegetativos se denomina emergencia /VE) y el último, aparición de la panícula(VP).

Reproductivo-. Que se subdividen en forma numérica en:

R1= Aparición de estigmas (cabellos).

R2= Estadio de ampolla.

R3= Estadio lechoso.

R4= Estadio de masa o masoso.

R5= Estadio dentado.

R6= Madurez fisiológica (capa negra)

Cada estadio vegetativo se define de acuerdo a la última hoja que muestre su cuello, la primera manifestación de su presencia se encuentra en la parte posterior de ella, siendo está una línea descolorida entre la lamina y vaina de la hoja. La primera hoja se caracteriza por su ápice en forma ovalada, lo que sirve de punto de referencia para contar hasta la última hoja que presente cuello desarrollado.

Por lo general, comenzando alrededor de V6 el aumento del grosor del tallo, combinado con la aparición y desarrollo de las raíces nudales pueden destruir algunas de las hojas inferiores.

DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO DE MAÍZ (Tomado de Rodarte, 1993).

El maíz como cualquier otro cultivo, requiere para alcanzar su más óptima producción de prácticas de cultivo adecuadas, por eso, a continuación se mencionan las que se utilizan para su siembra y producción, las cuales son aplicables dependiendo de las condiciones agroclimáticas de cada región.

Preparación del terreno:

Subsuelo-. Esta práctica ha sido muy discutida pero la verdad es benéfica en alto grado al manejo del cultivo del Maíz, generalmente, el subsuelo se sugiere en terrenos que están muy compactados o que tienen una capa dura superficial(30-90 cm. , Dé profundidad), que puedan impedir un buen drenaje del suelo o la libre penetración de las raíces. Esta práctica se recomienda cuando menos cada 2 0 3 años.

Barbecho-. Con esta labor se afloja el terreno y facilita la penetración del aire, agua y raíces al suelo, además se incorporan al suelo los residuos orgánicos de la cosecha anterior, asimismo, se destruyen malas hierbas y se reducen las poblaciones de plagas del suelo. Esta labor debe de hacerse de 25 a 30 cm. , Dé profundidad.

Rastro-. Esta labor se realiza depues del barbecho y su intensidad esta en función del tipo de suelo y su contenido de humedad. Tiene como finalidad el destruir los terrones que se formaron durante el barbecho, reduciéndolos para que quede la cama de siembra y permita un buen contacto entre la semilla y el suelo, asegurando una buena distribución y nacencia de la semilla. Esta labor debe hacerse procurando que los discos de la rastra se entierren 15 cm. , Dé profundidad.

Nivelación-. Es una de las practicas más importantes en la preparación del suelo y esta en función de la topografía del terreno. Su finalidad es quitar encharcamientos, facilitando mejor aprovechamiento del agua tanto de riego como de lluvia, adicional a esto, la semilla como el fertilizante quedan mejor distribuidos. Esta practica se puede efectuar con niveladora tipo land- plan, Escrepa o Tablón.

Surcado-. Para el cultivo de maíz se trazan surcos de 80 a 92 cm. , Dé separación, lo que permite efectuar las labores culturales y la cosecha mecánica. Esta práctica determinará en un momento dado, la densidad de población que se quiera tener.

Bordeo-. Esta práctica de preparación de terreno, se realiza con la finalidad de facilitar la distribución del agua y se utiliza en siembras de riego.

Siembra:

Dependiendo de la región, la fecha de siembra estará regida por las condiciones agroclimaticas de temporada de siembra(Primavera – verano; Otoño – Invierno), así como el ciclo vegetativo del híbrido a utilizarse.

Método de siembra-. Se recomienda la siembra en hileras, ésta se puede realizar en forma manual o mecánica; en suelos arcillosos la semilla debe de depositarse entre 5 y 7 cm. , Dé profundidad, en los arenosos entre 7 y 10 cms. , De preferencia en suelo húmedo o cuando la tierra esta a “punto de siembra” o “tierra venida”.

Densidad de siembra, de población-. La población adecuada de maíz es de 50,000 a 52,000 plantas por hectárea, para lo cual se requiere de 20 a 22kgs. de semilla, dependiendo del tamaño. Estas densidades se obtienen sembrando de 54 5 plantas por metro lineal en surcadas de 80cms. una alta cantidad de plantas propiciará el acame, y por el contrario, una escasa población ocasionará un desarrollo de mazorcas grandes, pero debido a la menor cantidad de plantas se obtendrán bajos rendimientos.

Riegos:

El número de riegos que se debe aplicar al maíz dependerá de la cantidad de lluvias que ocurran durante el ciclo. A continuación se describen algunos aspectos importantes en el desarrollo de la planta relacionada con el momento de aplicación de los riegos y su aplicación en el rendimiento.

-Riego de presiembra y/o siembra, la finalidad es asegurar una buena nacencia y desarrollo de las plántulas.

-1°. Riego de auxilio-. Si el tiempo es seco y no se presentan lluvias, este riego debe efectuarse de 30 a 35 días, después de la siembra, cuando la planta tiene alrededor de 6 hojas.

2°. Riego de auxilio-. Este riego coincide con la etapa de máximo crecimiento de la planta y consecuentemente con la mayor demanda de nitrógeno y acumulación de materia seca. Al momento de este riego los híbridos y/o variedades intermedias, generalmente ya tienen sus hojas formadas.

3° Riego de auxilio-. Es el riego más importante pues provee la humedad necesaria durante la floración, fecundación y la primera parte del llenado del grano; en los híbridos y/o variedades intermedias, este riego coincide con la emergencia de las espigas.

4° y 5° riego de auxilio-. Estos riegos coinciden cuando la planta esta en la etapa de grano, estadio lechoso o masoso. Con estos riegos se logrará llegar a la madurez del cultivo.

Los riegos pueden ser sustituidos por las lluvias que ocurren durante el ciclo de desarrollo del cultivo, sin embargo, deben tomarse ciertos cuidados ya que en cualquiera de las etapas pueden presentarse lluvias, pero no en cantidad de agua suficiente que logre cubrir las necesidades de la planta. Para comprobar lo anterior, deberá aplicarse un riego ligero.

Fertilización:

La fertilidad del suelo es otro factor importante en la producción del maíz, para obtener rendimientos, previo análisis de fertilidad, se deben aplicar fertilizantes, principalmente de nitrógeno, y fósforo y en menores cantidades potasio.

Forma de aplicación-. Dependiendo del tipo de suelo(arenoso, "ligero", arcilloso "pesado"), y del cultivo anterior, serán los requerimientos de nitrógeno y fósforo. Las cantidades variarán y podrán determinarse previo análisis del suelo; aplicando la mitad del total de nitrógeno a la siembra, más todo el fósforo y el potasio; la restante cantidad de nitrógeno se recomienda aplicarlo en una 2° y/o 3° . , Práctica de fertilización.

El fertilizante aplicado debe quedar separado de la semilla o planta, de referencia a un lado(10cms. ) y abajo /cm) para evitar quemaduras, deben asegurarse de que el terreno este bien preparado para que no escape el gas amoniaco.

## Control de Maleza:

Las malas hierbas afectan el rendimiento del cultivo del maíz ya que compiten con él por la humedad, luz, y nutrientes, y si no se controlan oportunamente pueden reducir el rendimiento considerablemente, además de dificultar la cosecha. El cultivo de maíz, requiere que este limpio de hierbas por un periodo mínimo de 40 días después de la emergencia, con ello se obtiene el rendimiento óptimo pero no se logra la dificultad de cosecha si existieran algunas especies consideradas problemáticas y que se desarrollan después de este periodo de limpieza, tales como el chayotillo, correhuela o gloria de la mañana, es necesario prolongarlo de acuerdo a la incidencia de las especies antes señaladas.

Para tener un control eficiente de las malas hierbas es necesario utilizar un sistema de control integrado, (control cultural y control químico).

Control cultural-. Este método se basa, principalmente, en la ejecución de deshierbes mecánicos, los cuales se inician desde la preparación del terreno, al pasar el arado de discos y la rastra se empieza a competir con el cultivo.

1°. Escarda o deshierbe: de 12 a 15 días después de la emergencia de la raíz cuando la maleza aun se encuentre en plantula y fácilmente se deshidrata con el sol en un mínimo tiempo.

2°Escarda: Se recomienda hacerla antes de que la barra porta - herramientas doble y dañe el cultivo, más o menos 30 días después de la emergencia del maíz. Si se utiliza cultivadora de timones es necesario emplear escardillos de punta de lanza planos evitando profundizar demasiado para no dañar el sistema radicular del maíz.

Control químico -. Cuando se requiera combatir a la maleza con el uso de herbicidas, existen dos opciones: la 1ª para evitar que la maleza nazca y se desarrolle junto con el cultivo (preemergentes)

2ª. Cuando la maleza y el maíz estén emergidos(posemergente).

Control de plagas:

El maíz como cualquier otro cultivo es atacado por plagas y si no son controladas eficazmente puede causar daños económicos. Las plagas se dividen en dos grupos:

1º-. Plagas del suelo: Estos insectos dañan las raíces y el tallo de las plantas; la larva al alimentarse afecta el desarrollo radicular causando la muerte de la plantula.

2º-. Plagas del follaje: La característica principal de estos insectos es que dañan las hojas de las plantas disminuyendo los rendimientos.

Para el control de estas plagas se puede utilizar el método cultural, biológico, químico o integrado.

Control de enfermedades:

Otro de los factores que afectan el desarrollo del cultivo, propiciando la disminución de la producción, son las enfermedades las cuales atacan en diferentes etapas y partes de las plantas, raíz, tallo, hojas y frutos.

Cosecha:

Esta labor se efectúa cuando el grano ha alcanzado su madurez fisiológica, es decir, en la base del grano(cabeza) se presenta una capa negra, esto se detecta cuando las hojas de toda la planta comienzan a amarillarse y secarse.

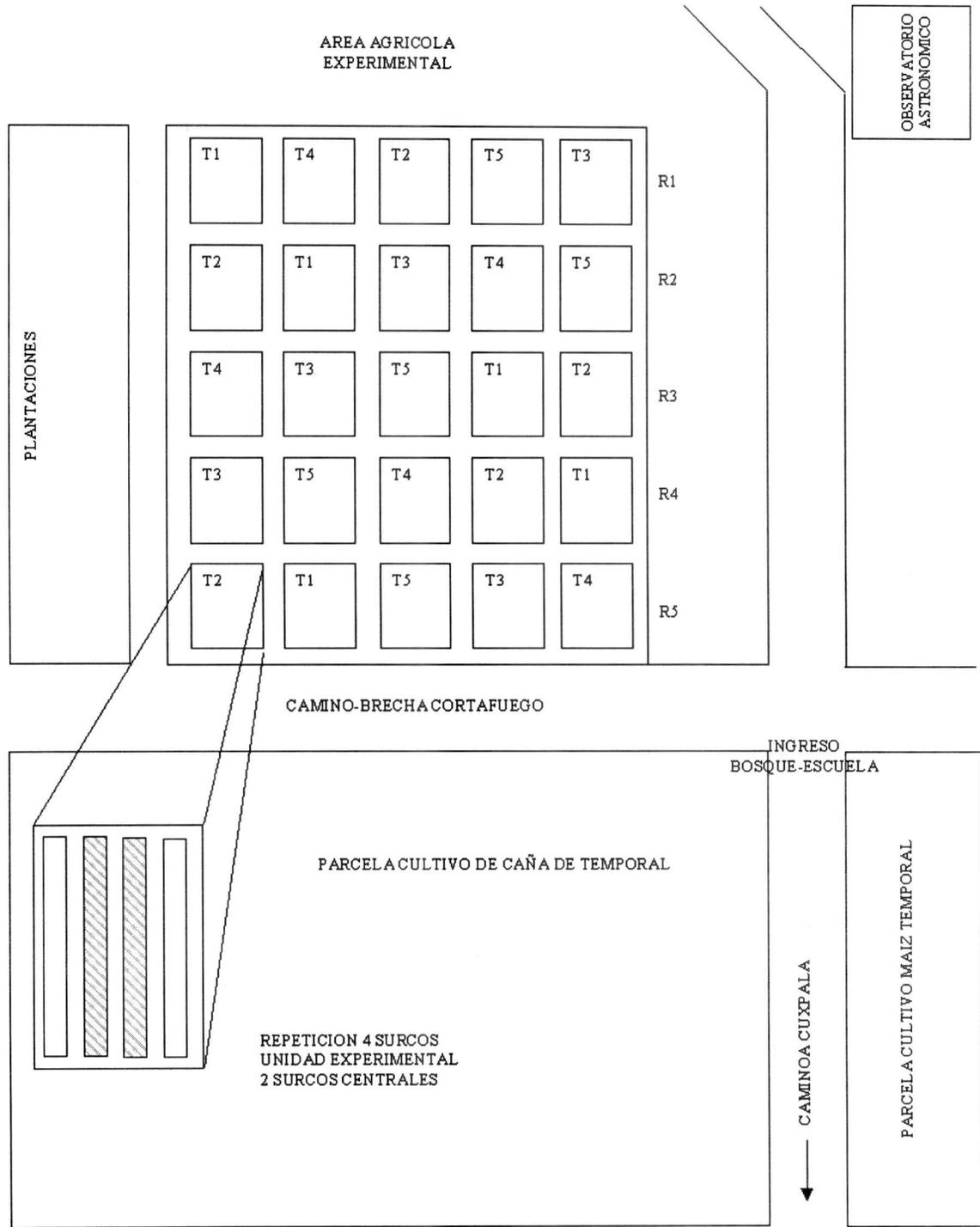
La cosecha puede realizarse en forma directa con trilladoras cuando el grano posee un 25% de humedad y para disminuir las perdidas de grano quebrado sé hacerse ajustes necesarios al cilindro y la separación del cóncavo siguiendo las indicaciones del fabricante.

Los cabezales están diseñados para trabajar a diferentes separaciones de surcos, según se marca y el modelo del equipo. Esto debe ser tomado en cuenta previa al surcado de la siembra con el fin de surcar a la misma separación del cabezal que se utilizará en la cosecha.

#### Almacenamiento:

Considerando que el grano húmedo del maíz es un producto perecedero y muy susceptible al daño por hongos e insectos es conveniente que los sitios de recepción y acopio de grano cuenten con equipo de secado eficiente y de gran capacidad por hora, se sugiere secar de un 14 a un 12% de humedad para facilitar su conservación.

ANEXO 3. CROQUIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA EVALUACIÓN DE MAÍZ



ANEXO 4. CUADROS DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA Y LA COMPARACIÓN DE PROMEDIOS PARA LAS VARIABLES CONSIDERADAS EN MAÍZ

CUADRO 1. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL RENDIMIENTO DE GRANO ESTIMADO EN KG/HA .....	102
CUADRO 2. COMPARACIÓN DE PROMEDIO PARA EL RENDIMIENTO DE GRANO ESTIMADO EN KG/HA.....	102
CUADRO 3. ANÁLISIS DE VARIANZA RENDIMIENTO DE FORRAJE DE PLANTA COMPLETA EN KG/HA .....	102
CUADRO 4. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS RENDIMIENTO DE FORRAJE DE PLANTA COMPLETA EN KG/HA.....	103
CUADRO 5. ANÁLISIS DE VARIANZA (PESO DEL RASTROJO POR PARCELA, INCLUYENDO LAS HOJAS DE LAS MAZORCAS Y EL OLOTE).....	103
CUADRO 6. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS (PESO DEL RASTROJO POR PARCELA, INCLUYENDO LAS HOJAS DE LAS MAZORCAS Y EL OLOTE).....	103
CUADRO 7. ANÁLISIS DE VARIANZA (PESO DE RASTROJO POR PARCELA SOLO TALLO Y HOJAS) .....	104
CUADRO 8. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS (PESO DE RASTROJO POR PARCELA SOLO TALLO Y HOJAS) .....	104
CUADRO 9. ANÁLISIS DE VARIANZA (PESO DE GRANO POR UNIDAD EXPERIMENTAL).....	104
CUADRO 10. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS(PESO DE GRANO POR UNIDAD EXPERIMENTAL).....	105
CUADRO 11. ANÁLISIS DE VARIANZA DE NUMERO DE MAZORCAS.....	105
CUADRO 12. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS DE NUMERO DE MAZORCAS .....	105
CUADRO 13. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PESO DE MAZORCAS.....	106
CUADRO 14. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS PARA PESO DE MAZORCAS.....	106
CUADRO 15. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE PLANTA.....	106
CUADRO 16. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS PARA ALTURA DE PLANTA.....	107

Cuadro 1. análisis de varianza para el rendimiento de grano estimado en kg/ha

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	4	27887360.000	6971840.0000	24.3771	0.000
S					
BLOQUES	4	1783680.0000	445920.00000	1.5592	0.233
ERROR	16	4576000.0000	286000.00000		
TOTAL	24	34247040.000			
C.V.=7.84%					

Cuadro 2. Comparación de promedio para el rendimiento de grano estimado en kg/ha

TRATAMIENTO	MEDIA
2	7796.8726 A
5	7656.2485 A
3	7187.4961 AB
4	6562.4985 B
1	4890.6201 C

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 1035.5853

VALORES DE TABLAS:

$q(0.05) = 4.33$

$q(0.05) = 5.49$

Cuadro 3. análisis de varianza rendimiento de forraje de planta completa en kg/ha

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	4	72131072.000	18032768.000	17.5624	0.000
BLOQUES	4	11437824.000	2859456.000	2.7849	0.062
ERROR	16	16428544.000	1926784.000		
TOTAL	24	99997440.000			
C.V. = 9.04%					

Cuadro 4. Comparación de promedios rendimiento de forraje de planta completa en kg/ha

TRATAMIENTOS	MEDIA
2	12796.8740 A
3	12156.2480 A
5	12062.3486 A
4	11031.1738 A
1	8007.7798 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 1962.1962

VALORES DE TABLAS:

q(0.05)= 4.33

q(0.01)= 5.49

Cuadro 5. análisis de varianza (Peso del rastrojo por parcela, incluyendo las hojas de las mazorcas y el olote)

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO S	4	121.035645	30.258911	17.7778	0.000
BLOQUES	4	19.482910	4.870728	2.8617	0.057
ERROR	16	27.232910	1.702057		
TOTAL	24	167.751465			

C.V.= 9.06%

Cuadro 6. Comparación de promedios (Peso del rastrojo por parcela, incluyendo las hojas de las mazorcas y el olote)

TRATAMIENTO	MEDIA
2	16.3800 A
3	15.7800 A
5	15.4400 A
4	14.1200 A
1	10.2500 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 2.5263

VALORES DE TABLAS:

Q(0.05)= 4.33

Q(0.01)= 5.49

Cuadro 7. análisis de varianza (peso de rastrojo por parcela solo tallo y hojas)

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	4	62.882813	15.720703	17.4513	0.000
BLOQUES	4	12.522705	3.130676	3.4753	0.031
ERROR	16	14.413330	0.900833		
TOTAL	24	89.818848			

C.V.=9.05%

Cuadro 8. Comparación de promedios (peso de rastrojo por parcela solo tallo y hojas)

TRATAMIENTO	MEDIA
2	11.7200 A
3	11.4800 A
5	11.3000 A
4	10.5400 A
1	7.4200 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA= 0.05

TUKEY= 1.8379

VALORES DE TABLAS:

q(0.05)= 4.33

q(0.01)= 5.49

Cuadro 9. análisis de varianza (peso de grano por unidad experimental)

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	4	46.348022	11.587006	23.4087	0.000
BLOQUES	4	2.692261	0.673065	1.3598	0.291
ERROR	16	7.919800	0.494987		
TOTAL	24	56.960083			

C. V.=8.05%

Cuadro10. Comparación de promedios(peso de grano por unidad experimental)

TRATAMIENTO	MEDIA
2	9.9800 A
5	9.8600 A
3	9.2000 AB
4	8.4000 B
1	6.2600 C

NIVEL DE SIGNIFICANCIA= 0.05

TUKEY= 1.3624

VALORES DE TABLAS:

Q(0.05)= 4.33

Q(0.01)= 5.49

Cuadro 11. Análisis de varianza de numero de mazorcas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	4	1355.593750	338.898438	7.3752	0.002
BLOQUES	4	575.187500	143.796875	3.1293	0.044
ERROR	16	735.218750	45.951172		
TOTAL	24	2666.0000000			

C.V.=6.52%

Cuadro 12. Comparación de promedios de numero de mazorcas

TRATAMIENTO	MEDIA
2	112.8000 A
3	108.2000 AB
5	107.8000 AB
4	98.8000 BC
1	92.4000 C

NIVEL DE SIGNIFICANCIA= 0.05

TUKEY= 13.1266

VALORES DE TABLAS:

q(0.05)= 4.33

q(0.01)= 5.49

Cuadro 13. análisis de varianza para peso de mazorcas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	4	67.954834	16.988708	23.9667	0.000
BLOQUES	4	5.550537	1.387634	1.9576	0.149
ERROR	16	11.341553	0.708847		
TOTAL	24	84.846924			

C.V.= 7.86%

Cuadro 14. Comparación de promedios para peso de mazorcas

TRATAMIENTO	MEDIA
2	12.3600 A
5	11.8400 AB
3	11.3800 AB
4	10.2600 B
1	7.7200 C

NIVEL DE SIGNIFICANCIA=0.05

TUKEY=1.6303

VALORES DE TABLAS:

q(0.05)=4.33

q(0.01)=5.49

Cuadro 15. Análisis de varianza para altura de planta

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	4	1.747467	0.436867	51.8375	0.000
BLOQUES	4	0.278671	0.069668	8.2666	0.001
ERROR	16	0.134842	0.008428		
TOTAL	24	2.160980			

C.V.=3.38%

Cuadro 16. Comparación de promedios para altura de planta

TRATAMIENTO	MEDIA
3	2.8780 A
5	2.8760 A
2	2.8460 A
4	2.7800 A
1	2.1900 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA= 0.05

TUKEY=0.1778

VALORES DE TABLAS.

$q(0.05)=4.33$

$q(0.01)=5.49$

ANEXO 5. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE DE *PINUS DOUGLASIANA* MART. TOMADA DE FARJON Y STYLES 1997.

Árbol de talla mediana hasta alta, altura de 20 – 45 m, con un diámetro a la altura de pecho de 80 – 100 cm. Tronco monopódico, recto, columnar, delgado y esbelto, usualmente limpio de ramas en dos terceras partes de su longitud. Corteza áspera, rugosa, seccionada longitudinalmente, presenta placas irregulares y con profundas fisuras, de color café rojizo oscuro.

Ramas de primer orden largas, delgadas, perpendiculares o ligeramente ascendentes hacia la parte superior de la copa; las de segundo o más ordenes perpendiculares o ascendentes de consistencia flexible.

Copa en árboles jóvenes piramidales, en árboles viejos generalmente redondeadas, densas o abiertas. Brotes uninodales, lisos o rugosos con prominentes, decurrentes, en su mayoría exfoliantes pulvulentos, café oscuro, no glaucos. Catafilis tubulado – caudado, extendidos o recurvados, con márgenes ciliado, cafés. Yemas vegetativas ovoide – cónicas, las terminales 15 – 25 x 10 – 15 mm, las laterales pequeñas, no resinosas, cafés; las escamas independientes, extendidas o recurvadas, subulado – linear, con márgenes ciliados.

Vainas de los fascículos persistentes, relativamente largas, (15-) 20 – 30 mm, con 7 a 10 brácteas imbricadas, escamas café brillante con márgenes ciliados.

Hojas en fascículos de 5, rara vez 4 o 6, extendidas y en densos mechones encorbados, persistiendo 2 a 2.5 años, delgadas, flexibles o algunas veces más rígidas, 22 – 35 cm x 0.7- 1.2 mm, márgenes serrados, ápice acuminado, verde ligeramente amarillento a verde glauco.

Estomas en todas las caras de las hojas, en 3 – 4 líneas de la cara abaxial y 3 – 4 líneas en cada una de las caras adaxiales.

Anatomía de la hoja: Corte de la sección triangular; hipodermis multicapas, con numerosas intrusiones dentro del mesofilos, algo conectadas con la endodermis (septal); ductos resiníferos (2-) 3, medianos, largos; cilindro central, engrosada hacia afuera de las paredes celulares de la endodermis; haces vasculares 2, pero distintivos.

Conos masculinos numerosos, cerca de la parte terminal de los nuevos brotes, con brácteas subuladas, formando grandes racimos cilíndricos espiculados, 20 – 25 x 4 – 5 mm, rosados y al madurar café. Microsporofilis distalmente peltadas, 1 mm de diámetro, con un margen-denticulado, ligeramente coloreado en los márgenes.

Conos femeninos subterminales, solitarios, en pares o en grupos de 3-4 sobre un robusto, recurvado y largo pedúnculo de 10-15 mm que cae junto con el cono. Brácteas pedunculares en conos inmaduros, ovoides, con umbos pungentes 15 x 10 mm, púrpuras o glaucos. En conos maduros ovoides a ovoide atenuados que cierran, después ligeramente curvo, más generalmente ovoide con una base aplanada que abre desde 7-10 x 5-7 cm.

Semillas ca. 110-130, las que deja libre el cono, excepto las de la base, (delgado) maderable, oblongo, recta o ligeramente encorvada, de color café claro a oscuro abaxialmente, café claro, con frecuentes marcas claras indistintas en la parte abaxial de la semilla. Apófisis cercana plana o alzada y transversalmente aquillada, radialmente estriada o ranurada, contorno rombico o pentagonal, simétricamente rodeando el cono, 11-17 mm de ancho, café claro, café rojizo o café oscuro Umbo dorsal, levantado, transversalmente rombico, 5-7 mm de ancho, marcado desde la Apofisis, aguja ausente. Semillas oblicuas ovoides, ligeramente aplanada, 4-5 x 3-3.5 mm, gris o café claro, frecuentemente con manchas oscuras.

Ala de la semilla articulada pero efectiva, unida a la semilla por dos uñas oblicuas, oblongas, con un lado recto y otro encorvado, 18-24 x 7-9 mm, café ligeramente amarillos, translúcida, algunas veces con una marca de tinte café. El número de cotiledones no observado.

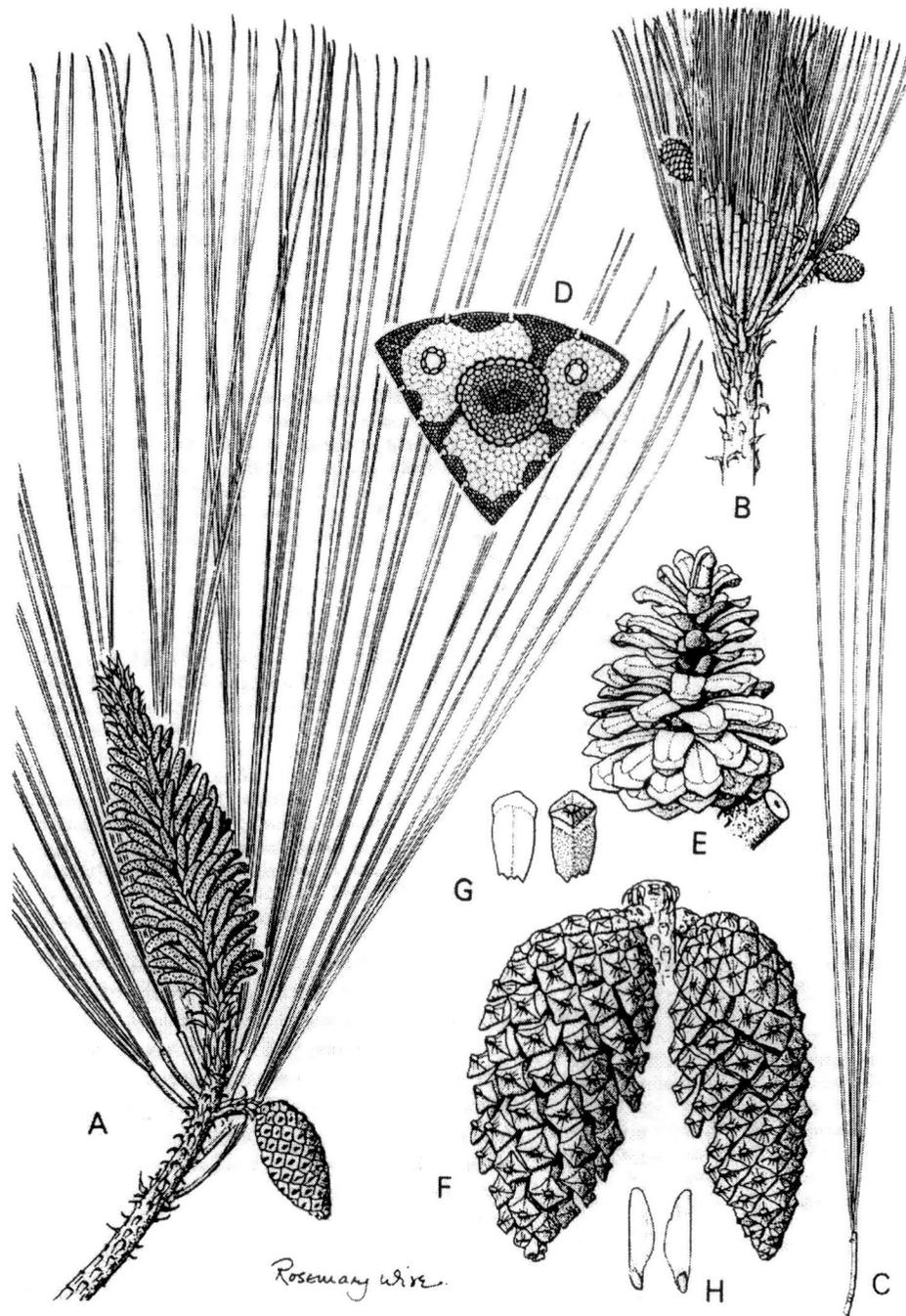


Fig.11. Dibujo de las características del *P. douglasiana* de acuerdo a Farjon y Styles, 1997.

### Distribución y ecología:

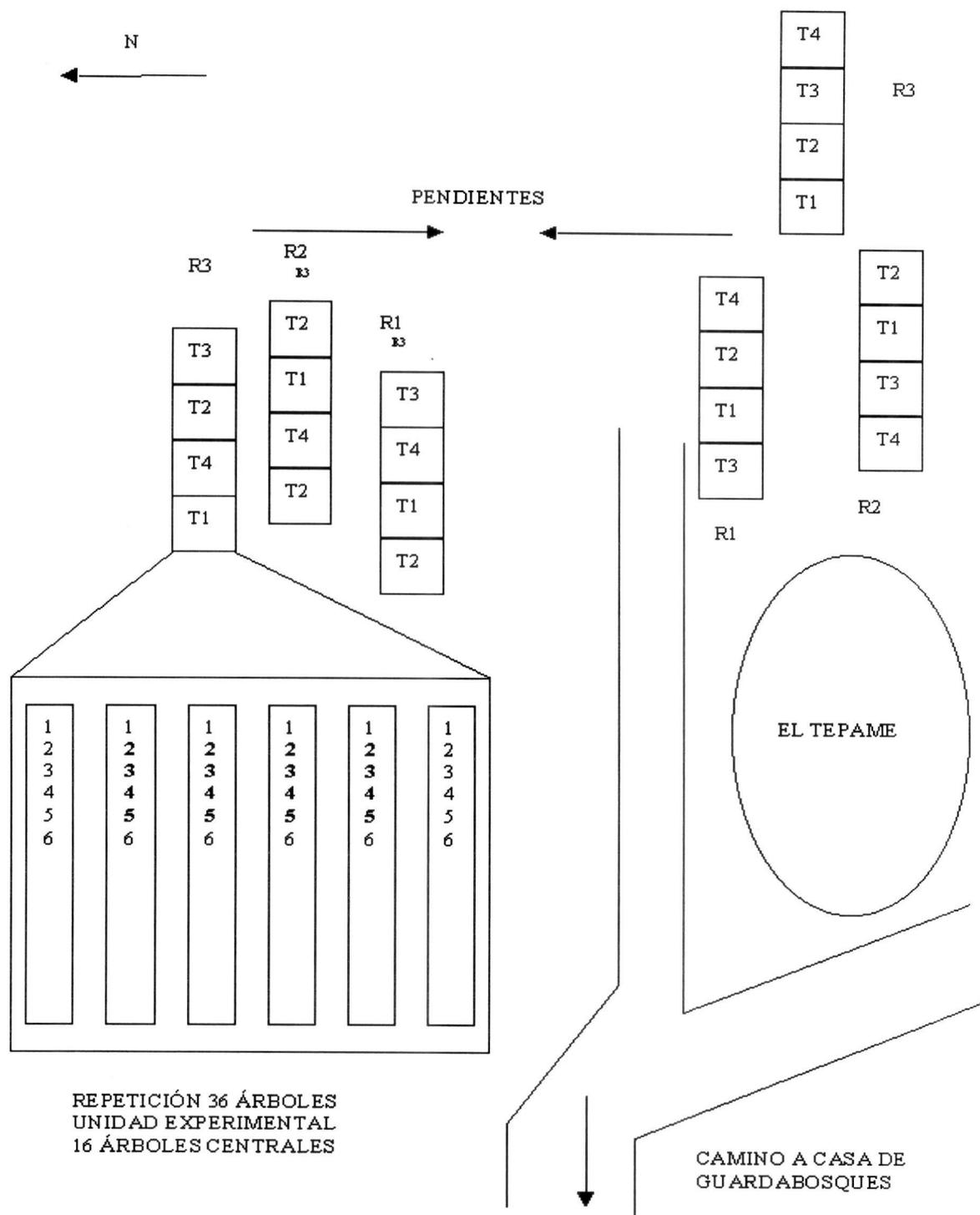
Principalmente Jalisco, Michoacán, México y norte de Morelos, pero extendiéndose hacia el norte en Nayarit y en la parte alta de la sierra Madre Occidental en los límites entre Sinaloa y Durango; hacia el sur se presenta en localidades en Guerrero y Oaxaca.

Se encuentra en su mayor parte en bosques mezclados de pino y de pino-encino de (1100-) 1400 – 2500 (-2700) m.s.n.m. en regiones de climas templados. La precipitación anual difiere con la altitud pero es aproximadamente de 1000 mm en la mayoría de las áreas. Comúnmente asociados con *Pinus pseudostrobus*, *P. herrerae*, *P. leiophylla*, *P. lawsonii*, *P. ayacahuite* hacia la parte sur, y algunas veces con *P. oocarpa* y *P. devoniana* en elevaciones bajas y sitios secos respectivamente.



Fig. 12. Mapa de distribución del *P. douglasiana* según Perry Jr. 1991.

ANEXO 6 .CROQUIS DEL EXPERIMENTO EVALUACIÓN CON *PINUS DOUGLASIANA*



ANEXO 7. CUADROS DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE VARIANZA Y LA COMPARACIÓN DE PROMEDIOS EN LA EVALUACIÓN DE *PINUS DOUGLASIANA*

CUADRO 1. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE ALTURA DE PLANTA, EXPOSICIÓN NORTE .....	114
CUADRO 2. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS PARA LA VARIABLE ALTURA DE PLANTA, EXPOSICIÓN NORTE.....	114
CUADRO 3. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE DIÁMETRO DE TALLO, EXPOSICIÓN NORTE .....	114
CUADRO 4. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS PARA LA VARIABLE DIÁMETRO DE TALLO EXP. NORTE.....	114
CUADRO 5. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE DIÁMETRO DE COPA EXP. NORTE .....	115
CUADRO 6. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS PARA LA VARIABLE DIÁMETRO DE COPA EXP. NORTE .....	115
CUADRO 7. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE ALTURA DE PLANTA, EXPOSICIÓN SUR .....	115
CUADRO 8. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS PARA LA VARIABLE ALTURA DE PLANTA, EXPOSICIÓN NORTE .....	115
CUADRO 9. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE DIÁMETRO DE TALLO, EXPOSICIÓN SUR .....	116
CUADRO 10. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE DIÁMETRO DE COPA EXP. SUR.....	116
CUADRO 11. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS PARA LA VARIABLE DIÁMETRO DE COPA EXP. NORTE .....	116

Cuadro 1 Análisis de varianza para la variable altura de planta, exposición norte

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	607.29	202.43	12.195	0.007
Bloques	2	0.46	0.23	0.014	0.987
Error	6	99.59	16.59		
Total	11	707.35			

C.V. = 3.57 %

Cuadro 2. Comparación de promedios para la variable altura de planta, exposición norte

Tratamientos	Medias
4	122.55 a
3	118.14 a
2	111.58 ab
1	103.69 b

Cuadro 3. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo, exposición norte

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamiento s	3	0.7054	0.2351	8.2822	0.016
Bloques	2	0.1653	0.0826	2.9115	0.130
Error	6	0.1703	0.0283		
Total	11	1.0411			

C.V. = 6.37 %

Cuadro 4. Comparación de promedios para la variable diámetro de tallo exp. norte

Tratamientos	Medias
4	2.92 a
3	2.84 ab
2	2.41 b
1	2.39 b

Cuadro 5. Análisis de varianza para la variable diámetro de copa exp. norte

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	721.62	640.54	10.2245	0.010
Bloques	2	96.46	48.23	2.0502	0.209
Error	6	141.15	23.52		
Total	11	959.24			

C.V. = 8.98 %

Cuadro 6. Comparación de promedios para la variable diámetro de copa exp. norte

Tratamientos	Medias
4	64.92 a
3	57.16 ab
2	49.53 b
1	44.44 b

Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable altura de planta, exposición sur

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	615.75	205.25	13.58	0.005
Bloques	2	119.01	59.50	3.93	0.081
Error	6	90.65	15.10		
Total	11	825.42			

C.V. = 3.56 %

Cuadro 8. Comparación de promedios para la variable altura de planta, exposición norte

Tratamientos	Medias
4	114.16 a
2	113.84 a
3	111.60 a
1	96.81 b

Cuadro 9. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo, exposición sur

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	0.4851	0.1617	2.6966	0.139
Bloques	2	0.4050	0.2025	3.3770	0.104
Error	6	0.3597	0.0599		
Total	11	1.2499			

C.V. = 8.67 %

Esta variable no presento diferencias entre los tratamientos.

Cuadro 10. Análisis de varianza para la variable diámetro de copa exp. sur

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	86.32	28.77	5.2766	0.041
Bloques	2	8.98	4.49	0.8236	0.514
Error	6	32.71	5.45		
Total	11	128.02			

C.V. = 4.53 %

Cuadro 11. Comparación de promedios para la variable diámetro de copa exp. norte

Tratamientos	Medias
4	53.81 a
3	53.41 ab
2	51.88 ab
1	47.07 b

**HUGO RAMÍREZ MALDONADO.** Ph. D. en Forest Management, Orientación en Biometría Forestal. The University of Georgia, estados Unidos, (1988).

Curso sus estudios profesionales en la Escuela Nacional de Agricultura hoy Universidad Autónoma Chapingo, como Ingeniero Agrónomo especialista en Bosques, (1977). Realizo estudios de Master of Science. Forestry, Orientación en Biometría Forestal. Iowa State University, (1980). Originario de Celaya, Guanajuato, el Dr. Ramírez, es un distinguido profesor de la División de ciencias forestales (DiCiFo) de la Universidad Autónoma Chapingo, en la que imparte diversas cátedras. Ha sido formador de numerosos profesionistas forestales, como maestro, director y asesor de tesis profesionales, de maestría y doctorado. Ha ocupado diversos cargos dentro de la misma Universidad, el mas reciente como Coordinador del programa de maestría en Agroforestería para el desarrollo sostenible.

**LAKSMY KRISHNAMURTHY.** Ph. D. en Ecología de la Universidad de Saurashtra, India.

Fundador y Director del Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México. Ha jugado un papel clave en el diseño curricular, e implementación de un nuevo Programa de Posgrado en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, dentro del marco del Sistema de Posgrado de la Red de Formación Ambiental del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en la UACH.

Coordinador general del curso Internacional de entrenamiento sobre Agroforestería para el Ecodesarrollo bajo el auspicio del PNUMA y de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) y la UACH.

Distinguido como miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) por el CONACyT desde 1985.

Autor de numerosas publicaciones internacionales, destacando la última "Agroforestería Básica", publicada en 1999, dentro de la Serie de Textos básicos para la formación ambiental n. 3 del PNUMA.

**ANTONIO VAZQUÉZ ALARCON.** Dr. en Ciencias por el Colegio de Postgraduados (1999).

Sus estudios de licenciatura los realizo en la Universidad Autónoma Chapingo, como Ingeniero Agrónomo especialista en Suelos, (1982). Los estudios de Maestría los realizo en Ciencias Agrícolas en el Colegio de Postgraduados, (1990). Ha sido Técnico en asistencia agrícola para la Secretaría de Desarrollo Agropecuario en el Edo. de México. Es profesor investigador de tiempo completo del Departamento de Suelos en la UACH. Impartiendo diversas cátedras entre las que destacan: Introducción a la ciencia del suelo, edafología general, química y fisicoquímica de suelos, análisis químico y contaminación de suelos y agua. Ha realizado diferentes investigaciones de diversos aspectos relacionados a la edafología. Ha ocupado diversos cargos dentro de esta Universidad, el más reciente es la Subdirección de Investigación del depto. de suelos. Ha publicado diversos manuales y documentos para la formación y capacitación de estudiantes en edafología. También ha sido candidato a investigador nacional por el SNI (1991-1994).