

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Evaluación del crecimiento inicial de cuatro especies forestales  
(*Azadirachta indica*, *Ziziphus thyrsoiflora*, *Prosopis juliflora*,  
*Leucaena leucocephala*) regadas con agua residual de las  
lagunas de oxidación de los cantones Santa Elena y La Libertad  
en la Prov. de Santa Elena.”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERA AGROPECUARIA**

Presentada por:

Johanna Rosaura Morales Naspud

GUAYAQUIL-ECUADOR

**Año: 2009**

## **AGRADECIMIENTO**

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron y fueron mi apoyo en el caminar, en especial a Magaly Naspud, mi madre, por la lucha constante, M. Sc. Kleber Morán por su voto de confianza, y al M. Sc. Edwin Jiménez Director de Tesis, por su invaluable ayuda.

# DEDICATORIA

MIS PADRES

MIS HERMANAS

MIS AMIGAS

MI AMIGO ANDRÉS

## **TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**

---

MSC. Miguel Quilambaqui J.  
DELEGADO DEL DECANO  
DE LA FIMCP

---

MSC. Edwin Jiménez R.  
DIRECTOR DE TESIS  
PRESIDENTE

---

Ing. Omar Ruiz B.  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio Intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

---

Johanna Rosaura Morales Naspud

## RESUMEN

El presente trabajo propone el uso de agua residual proveniente de las lagunas de oxidación del cantón Santa Elena para el riego en vivero de cuatro especies forestales (*Azadirachta indica*, *Ziziphus thyrsoiflora*, *Prosopis juliflora*, *Leucaena leucocephala*), las que fueron seleccionadas por su gran producción de materia orgánica y el interés de los habitantes peninsulares en su cultivo. Las pruebas se realizaron para los factores: especies y agua. Se consideraron dos tipos de aguas residuales tratadas por lagunas de oxidación; una proveniente de la laguna facultativa y otra de la de maduración, y se utilizó como testigo agua potable; teniendo como referencia estudios de otros países en los que se ha usado, sin inconvenientes, este tipo de agua para el riego de forestales. El efecto del riego con agua residual se midió en las variables de supervivencia, altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas evaluados durante doce semanas a partir del repique. Las especies forestales evaluadas en este experimento, resisten el riego con aguas residuales a pesar de los altos niveles de aceites y grasas; esto se evidenció en la igualdad estadística de las variables evaluadas. La cantidad de nitratos, nitritos, amoníaco y fosfatos que se encuentran en el agua no tuvo gran efecto en el desarrollo de los árboles; y, el riego con agua residual tampoco tuvo un efecto significativo en la mortalidad, ya que esta se encuentra dentro de parámetros normales (por debajo del 15%).

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	I
ÍNDICE GENERAL.....	II
ABREVIATURAS .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	VI
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	VII
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1.....	2
1. GENERALIDADES .....	2
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Justificación .....	6
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivo general .....	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	8
CAPITULO 2	
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	9
2.1. Agua Residual .....	9

2.1.1.	Tratamientos Naturales de Agua Residual .....	10
2.1.2.	Lagunas de Oxidación.....	11
2.1.3.	Reutilización de agua tratada por lagunas de oxidación .....	15
2.1.4.	Reutilización de agua de lagunas de oxidación en riego de especies forestales .....	17
2.2.	Especies forestales.....	20
2.2.1.	Características generales de las especies forestales.....	20
2.2.2.	Leucaena ( <i>Leucaena leucocephala</i> ).....	20
a)	Distribución e importancia .....	20
b)	Taxonomía y fisiología .....	21
2.2.3.	Ébano ( <i>Zizhiphus thyrsoiflora</i> ).....	23
a)	Distribución e importancia .....	23
b)	Taxonomía y fisiología .....	23
2.2.4.	Neem ( <i>Azadirachta indica</i> ) .....	24
a)	Distribución e importancia.....	24
b)	Taxonomía y fisiología .....	24
2.2.5.	Algarrobo ( <i>Prosopis juliflora</i> ) .....	25
a)	Distribución e importancia.....	25
b)	Taxonomía y fisiología .....	26
2.3.	Viveros forestales .....	27
2.3.1.	Labores importantes en la etapa de vivero.....	28
2.3.2.	Importancia del riego en etapa de vivero.....	38

## CAPÍTULO 3

3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
3.1. Área de estudio .....	40
3.1.1. Ubicación geográfica .....	40
3.1.2. Tipo de bosque.....	41
3.1.3. Datos climáticos .....	43
3.2. Metodología.....	43
3.2.1. Construcción del vivero .....	43
3.2.2. Análisis del agua de las lagunas de oxidación utilizada en el riego .....	44
3.2.3. Análisis de sustrato utilizado. ....	45
3.2.4. Seguimiento y control en vivero.....	46
3.3. Diseño experimental .....	47
3.4. Análisis estadístico .....	49
3.4.1. Hipótesis.....	49
3.4.2. Adeva .....	50
3.4.3. Resultados .....	51
3.4.4. Análisis de Resultados .....	58

## CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
--	----

## APÉNDICES

## BIBLIOGRAFÍAS

## **ABREVIATURAS**

HP	Horse Power o Caballos de fuerza.
SST	Sólidos suspendidos totales
DBO5	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de Oxígeno
Adeva	Análisis de varianza
T	Tratamientos
°C	Grados Celsius
m	Metros
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
AGUAPEN	Empresa de agua potable y alcantarillado de la Península de Santa Elena
CEDEGE	Comisión de estudios de la cuenca del río Guayas

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla1. Requerimientos de agua .....	19
Tabla2. ADEVA- Altura de planta (SC Tipo I) .....	52
Tabla3. Prueba de Tukey para especies en la variable altura .....	53
Tabla 4. Prueba de Tukey para tratamientos en la variable altura.....	54
Tabla 5. ADEVA- Diámetro de tallo (SC Tipo I) .....	55
Tabla 6. Prueba de Tukey para especies en la variable diámetro .....	55
Tabla 7. ADEVA- Número de hojas (SC Tipo I).....	56
Tabla 8. Prueba de Tukey para especies en la variable número de hojas .....	57
Tabla 9. Prueba de Tukey para tratamientos en la variable número de hojas .....	57

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Vista satelital de las lagunas de oxidación de Santa Elena ....	41
Gráfico 2. Mapa de diseño de campo .....	47
Gráfico 3. Porcentaje de supervivencia .....	53

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata de la evaluación del crecimiento inicial de cuatro especies forestales (*Azadirachta indica*, *Ziziphus thyrsoiflora*, *Prosopis juliflora*, *Leucaena leucocephala*) regadas con agua residual de las lagunas de oxidación de los cantones Santa Elena y La Libertad en la Prov. De Santa Elena, enfocado a la obtención de plantas saludables y vigorosas, que no presenten problemas fitosanitarios con la utilización de esta agua para el riego.

El riego con agua residual tratada en lagunas de oxidación no afecta el normal crecimiento de las especies forestales en etapa de vivero, ya que en estudios previos en agricultura se ha observado que están cargadas de nutrientes y el nivel de fitopatógenos es reducido por el tratamiento mismo.

Mediante el seguimiento del crecimiento de la altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y porcentaje de supervivencia, se determinó la efectividad del riego de dos fuentes de agua residual (laguna facultativa y laguna de maduración), frente a un testigo regado con agua potable.

# **CAPÍTULO 1.**

## **1.GENERALIDADES**

A nivel mundial es evidente el cambio climático que está ocurriendo. Factores como el crecimiento poblacional exagerado ha llevado consigo un sin número de efectos severos en los diferentes ecosistemas.

Cada día millones de hectáreas de bosque desaparecen para suplir las necesidades habitacionales y alimenticias de la población, o porque grandes empresas madereras se encargan de devastarlos como una manera rápida de enriquecer sus fábricas, sin preocuparse por resembrar lo que están extrayendo. Todas estas razones conducen al ser humano a

tomar medidas urgentes para contrarrestar efectos nefastos; aún queda tiempo.

Una de las alternativas más fáciles y ventajosas es la reforestación. Esta actividad trata de recuperar de manera artificial bosques enteros o en muchos casos incluir especies forestales entre los cultivos agrícolas formando sistemas agroforestales.

La Península de Santa Elena no es la excepción de la deforestación agresiva. De acuerdo al testimonio de los agricultores del sector, varias décadas atrás, los peninsulares comenzaron a acabar con los bosques para obtener principalmente leña o para la elaboración de lavacaras y embarcaciones, sin preocuparse hasta hoy por devolver al bosque los árboles extraídos. En consecuencia, en la actualidad la península padece de una gravísima escasez de agua y suelos pobres en materia orgánica. Para minimizar el problema ha sido necesario construir una infraestructura inmensa para llevar el líquido vital desde la represa ubicada en Parque El Lago, hasta la provincia de Santa Elena, y así poder desarrollar agricultura en este sector.

AGUAPEN (Empresa de agua potable y alcantarillado de la Península de Santa Elena) junto con CEDEGE, han establecido seis lugares donde se tratan aguas residuales en la península por medio de lagunas de

oxidación. Estas lagunas reciben la carga de aguas negras de toda la zona urbana peninsular, sin que se aprovechen de ninguna manera. El agua tratada va directamente a caudales de ríos desembocando finalmente en el mar.

Este proyecto de tesis pretende dejar un precedente científico en la zona, que sirve a la vez de guía para el manejo de los recursos en beneficio del ambiente y en mejora de la calidad de vida de los habitantes, mediante la aplicación de agua residual para el riego de especies forestales, como el neem, leucaena, algarrobo y ébano; estos dos últimos autóctonos de la zona.

### **1.1. Antecedentes**

En la zona no se han desarrollado pruebas anteriores de este tipo, y es muy poco el aprovechamiento que se le da a las aguas que son tratadas por medio de las lagunas de oxidación.

#### **Aspecto socio-económico:**

Los habitantes peninsulares en su mayoría no conocen de la existencia de las lagunas de oxidación, mucho menos acerca de su funcionamiento y utilidad. Tampoco respetan los límites de la zona de

amortiguamiento con asentamientos rurales dentro de los 500 metros del perímetro exigido por ley para el tratamiento de agua residual, incluso se observa familias que pasean por los linderos de las piscinas como una forma de recreación.

En un caso particular, el agua tratada está siendo utilizada en agricultura en el cultivo de caña de azúcar para la elaboración de puro. Este trabajo lo realiza un agricultor que aprovecha la gran cantidad de agua que sale del efluente para disminuir costos de riego, teniendo una propiedad dentro de la franja de amortiguamiento. El cultivo de caña aparentemente no se ve afectado; más no se ha realizado ningún tipo de análisis para evaluar parámetros de contaminación con bacterias nocivas para la salud.

**Aspecto ecológico:**

Al recorrer la zona de las lagunas de oxidación, se puede observar que en el perímetro se desarrollan especies vegetales como la totora principalmente. Es conocido que esta especie ayuda a la oxigenación del agua eliminando así bacterias anaerobias patógenas. Aunque la empresa encargada del mantenimiento de las lagunas, AGUAPEN, limpia la vegetación que crece en el talud de porque considera que

desluce el paisaje; sin tomar en cuenta los beneficios que esta proporciona al sistema.

Otro componente biótico presente son los patos silvestres que nadan en las lagunas con sus crías y también de gallinazos que se posan en los postes de la cerca que limita las lagunas.

## **1.2. Justificación**

Uno de los principales problemas que tienen los habitantes de la Península de Santa Elena es la falta de agua. Esto afecta en todos los sentidos a la población, especialmente en el área agrícola.

La deforestación agresiva que se ha dado en la península en los últimos años es uno de los principales causantes del déficit de agua, la tala indiscriminada rompe con su ciclo normal, ya que la cobertura forestal es la encargada de procesos como captación e interceptación, y del equilibrio de la evaporación y transpiración en los ecosistemas.

Además el incremento de la población, determina que aumente el consumo de agua potable y se genere mayor cantidad de aguas

residuales que no son reutilizables. Por tanto se ve la necesidad de crear proyectos encaminados a solucionar esta problemática.

El tratamiento que se da al agua residual mediante lagunas de oxidación, no la hace apta para el consumo humano; pero si es beneficiosa para especies vegetales, pudiendo ser usada en sistemas agrosilvícolas con ciertas precauciones para que estas no afecten a la salud de aquellos que la manipulan.

Para el presente trabajo se utilizó aguas residuales para regar especies forestales en la etapa de vivero como una opción aplicable a proyectos de reforestación.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar los efectos de dos tipos de agua residual de lagunas de oxidación sobre cuatro especies forestales de importancia en La Península de Santa Elena.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- ✓ Determinar el efecto del riego de agua residual en la supervivencia de las especies.
- ✓ Determinar el efecto del riego de agua residual sobre la altura de planta para cada especie.
- ✓ Determinar el efecto del riego de agua residual sobre el diámetro de tallo para cada especie.
- ✓ Determinar el efecto del riego de agua residual sobre el número de hojas para cada especie.

# **CAPITULO 2.**

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Agua Residual**

El término agua residual se refiere a un tipo de agua contaminada por las eses fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Son residuales, ya que se trata de agua que ha sido usada por lo que constituye un residuo que no sirve para el usuario directo; también se llaman negras por el color que habitualmente tienen, y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (alcantarillas) (6).

Están constituidas por todas las aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno. Las aguas residuales pueden estar contaminadas por desechos urbanos o bien proceder de los variados procesos industriales (6).

Las aguas servidas están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en inorgánicos (nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc) y orgánicos (nitrogenados: proteínas, ureas, aminas y aminoácidos; no nitrogenados: celulosa, grasas y jabones) (6).

Esta agua también está cargada por microorganismos patógenos como coleiformes totales, coleiformes fecales, salmonellas y virus (6).

### **2.1.1. Tratamientos Naturales de Agua Residual**

Se trata de aquellos procedimientos en los que el tratamiento principal es proporcionado por componentes del medio natural. En todos ellos, el efecto depurador se debe a la acción de animales superiores, sin la intervención de agentes artificiales (11).

Estos procedimientos se caracterizan por sus menores necesidades de personal de operaciones, menor consumo energético y menor producción de fangos. Sin embargo, requieren mayores superficies de terreno disponibles. Este

factor, a veces limitante, es el que determina que los llamados métodos naturales de depuración sean los apropiados y aconsejados para pequeños núcleos rurales (5).

### **2.1.2. Lagunas de Oxidación**

La tecnología de lagunas de oxidación o estabilización es uno de los métodos naturales más importantes para el tratamiento de aguas residuales. Las lagunas de oxidación o estabilización son fundamentalmente reservorios artificiales, que comprenden una o varias series de lagunas anaerobias, facultativas y de maduración. El tratamiento primario se lleva a cabo en la laguna anaerobia, la cual se diseña principalmente para la remoción de materia orgánica suspendida (SST) y parte de la fracción soluble de materia orgánica (DBO5). La etapa secundaria en la laguna facultativa remueve la mayoría de la fracción remanente de la DBO5 soluble por medio de la actividad coordinada de algas y bacterias heterotróficas. El principal objetivo de la etapa terciaria en lagunas de maduración es la remoción de patógenos y nutrientes (principalmente Nitrógeno) (7).

Las lagunas de estabilización constituyen la tecnología de tratamiento de aguas residuales más costo-efectiva para la remoción de microorganismos patógenos, por medio de mecanismos de desinfección natural. Las lagunas de oxidación o estabilización son particularmente adecuadas para países tropicales y subtropicales dado que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente son factores clave para la eficiencia de los procesos de degradación (7).

### **Laguna anaerobia**

Son las unidades más pequeñas de la serie. Por lo general tienen una profundidad de 2 a 5 metros. Funcionan como tanques sépticos abiertos y trabajan extremadamente bien en países calientes. Una laguna anaerobia bien diseñada puede alcanzar remociones de DBO5 alrededor del 60% a temperaturas de 20°C. La remoción de materia orgánica es gobernada por los mismos mecanismos que ocurren en cualquier reactor anaeróbico (6).

La serie de lagunas de Santa Elena no cuentan con laguna anaerobia.

### **Lagunas facultativas**

Estas lagunas pueden ser de dos tipos: primarias que reciben aguas residuales crudas y lagunas facultativas secundarias que reciben aguas sedimentadas de la etapa primaria (usualmente el efluente de una laguna anaerobia) (6).

En caso de Santa Elena la carga de agua cruda va directamente a la laguna facultativa por lo que se clasifica dentro del grupo de las primarias.

Las lagunas facultativas son diseñadas para la remoción de DBO5 con base en una carga orgánica superficial que permita el desarrollo de una población algal activa. De esta forma, las algas generan el oxígeno requerido por las bacterias heterotróficas para remover la DBO5 soluble, esto le confiere un color verde oscuro a la columna de agua. La concentración de algas en una laguna facultativa con funcionamiento óptimo depende de la carga orgánica y de la temperatura, pero frecuentemente se encuentra entre 500 a 2000 ug clorofila-a/l. La actividad fotosintética de las algas ocasiona una variación diurna de la concentración de oxígeno disuelto y los valores de pH. Variables como la velocidad del viento tienen efectos

importantes en el comportamiento de la laguna facultativa, ya que se genera mezcla del contenido de la laguna (6).

### **Lagunas de maduración**

Estas lagunas reciben el efluente de la laguna facultativa y su tamaño y número depende de la calidad bacteriológica requerida en el efluente final. Son unidades poco profundas y presentan menos estratificación vertical, al tiempo que exhiben una buena oxigenación a través del día en todo su volumen. La población de algas es mucho más diversa, por lo tanto la diversidad algal se incrementa de laguna en laguna a lo largo de la serie (6).

Los mecanismos de remoción de patógenos y de coleiformes fecales en particular son gobernados por la actividad algal en sinergia con la foto-oxidación. La remoción de nitrógeno y de fósforo es más significativa que la de DBO<sub>5</sub>. Reportan una remoción de nitrógeno total del 80% en todo el sistema de lagunas (laguna anaerobia+laguna facultativa+laguna de maduración) y de esta cifra el 95% corresponde a la remoción de amonio. Entre tanto, la remoción total de fósforo en los sistemas de lagunas es baja, alrededor del 50% (6).

### 2.1.3. Reutilización de agua tratada por lagunas de oxidación

El afluente de agua tratada por medio de lagunas de oxidación está sin duda enriquecido con un alto contenido de nutrientes además de una carga microbiana que no la hace apta para el consumo humano; es decir que el tratamiento elimina gran cantidad de microorganismos nocivos; pero no purifica el agua en su totalidad; aún debe pasar por un proceso de potabilización con parámetros más estrictos para que sea consumible y utilizada por los seres humanos. A pesar de esto, el agua puede ser descargada en ríos o en el mar sin causar contaminación, siempre y cuando el proceso de depuración se lleve a cabo eficientemente; y de la misma manera puede ser usada con otros fines, como la agricultura, acuicultura y silvicultura, tomando todas las precauciones necesarias para evitar afectar la salud humana.

En el vecino país de Perú, en Lima, se encuentran las lagunas de oxidación de San Juan, donde se realizan pruebas de utilización de aguas tratadas en varias disciplinas productivas. La **agricultura** es la principal actividad desarrollada con el reuso de las aguas residuales en el Perú. No se tiene referencias que la mejore la productividad, pero si

que se sustituye por completo la fertilización artificial. Un total de 3.950 has son utilizadas en el país para los cultivos de algodón, maíz, alfalfa, camote, caña de azúcar y hortalizas, los que son regados con aguas crudas, aguas tratadas y ambas. Se ha estimado que las 4.022 has de campos agrícolas regados con aguas residuales están produciendo más de 126.000 toneladas anuales de productos varios, correspondiendo al 92% hortalizas como cebolla, espinaca, albahaca, acelga, perejil, culantro, lechuga, col, coliflor, ají y tomate. En algunos lugares menos productivos se produce camote. Los cultivos industriales como el algodón y los forrajes como maíz y alfalfa no requieren efluentes de alta calidad, sin embargo están siendo regados con aguas tratadas. El riego de la caña de azúcar con aguas crudas puede ser de poco riesgo por tratarse de un producto industrializado, pero sí lo es para los trabajadores. El mayor riesgo está dado en los cultivos de hortalizas, que son regados con aguas sin tratamiento, como en el caso de las 3.078 has ubicadas en Lima. Por lo tanto, es urgente la restricción de estos cultivos, mientras no se implemente un sistema de tratamiento altamente eficiente (4).

En el caso de pruebas para **acuicultura** se ha cultivado tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y Carpa común (*Cyprinus carpio*) en lagunas cuaternarias teniendo como resultado:

- Las tilapias con un peso inicial de 60 g pueden ser cultivadas durante los cuatro meses de calor a densidades de 2 peces/m<sup>2</sup>, para alcanzar un peso comercial de 250 g.
- A partir de una biomasa inicial de 960 kg/ha, durante el período mencionado se obtiene producción final de 4.400 kg/ha, sin adicionar alimento artificial.
- No se detectó presencia de bacterias y virus patógenos en los peces cultivados en aguas tratadas con niveles inferiores a 10,000 coliformes fecales/100 ml (4).

#### **2.1.4. Reutilización de agua de lagunas de oxidación en riego de especies forestales**

Utilizar este tipo de agua en especies forestales es lo ideal; ya que no son especies de consumo directo por el ser humano, es decir que el producto forestal o frutal no estará en contacto con el agua de riego y por ende, no corre peligro de contaminación por bacterias patógenas para la salud. Sin embargo, este tipo de agua es más usada en agricultura que

en silvicultura. Los proyectos forestales desarrollados a partir de lagunas de oxidación son realmente pocos, limitándose muchas a veces al riego de la franja de amortiguamiento forestal de las lagunas, dejando a un lado otras oportunidades como la aplicación en viveros forestales, que es una muy buena alternativa de bajo costo que requiere poco espacio sin la necesidad de hacer grandes sistemas de riego que recorran largas distancias.

Las especies forestales no son exigentes en el agua de riego y no necesitan de grandes cantidades, a diferencia de otros sistemas (tabla 1). Esta agua cargada de nutrientes puede incrementar el grosor, altura y mejorar la calidad de la madera. Entre las alternativas de producción forestal con riego con agua residual se encuentran: franjas perimetrales, entornos ecológicos, producción de madera, protección de laderas y viveros forestales (4).

**Tabla 1.-** Requerimientos de agua

<b>REQUERIMIENTOS DE AGUA (l/s.ha)</b>	
Agricultura	1.10 l/s
Acuicultura	2.90 l/s
Forestación	0.42 l/s

(Proyecto Las Viñas de La Molina, Perú) OPS/CEPIS

Perú, México, Qatar, Arabia Saudita, son algunos de los países que han utilizado esta tecnología aplicándola en campos del golf, áreas verdes de calles y carreteras, entre otros. En las lagunas de San Juan en Lima Perú, la actividad forestal que actualmente ocupa 300 has se ha orientado a la formación de bosques con fines ecológicos y recreativos. En todos los proyectos de tratamiento y reuso de aguas residuales se cuenta con un área forestal perimétrica, utilizada como barrera de viento, que evita la difusión de malos olores, además de mejorar el ornato del lugar. La Universidad Nacional Agraria La Molina está implementando el Proyecto "Módulo Piloto de tratamiento y reuso de aguas residuales en agricultura, acuicultura y forestales en las Viñas de La Molina. En este caso, el componente forestal tiene un propósito productivo, además de conformar un cordón perimetral (4).

## **2.2. Especies forestales**

### **2.2.1. Características generales de las especies forestales**

Las especies escogidas para hacer las pruebas en este estudio están adaptadas a las condiciones climáticas de la península y son de gran interés para los agricultores de la región, por sus usos maderables, forrajeras, insecticidas o mejoradoras de suelo.

### **2.2.2. *Leucaena (Leucaena leucocephala)***

#### **a) Distribución e importancia**

Originaria de América tropical, aparentemente del sur de México (Yucatán). Se extiende de México hasta Nicaragua, incluyendo Guatemala, Honduras y El Salvador. Los españoles la llevaron a Filipinas y desde ahí fue introducida a Indonesia, Malasia, Papua Nueva Guinea y sureste de Asia. Naturalizada pantropical. Tiene una amplia distribución en las regiones tropicales y subtropicales del país por debajo de los 900 metros sobre el nivel del mar. Es característica de zonas de vegetación primaria y secundaria. Prospera en ambientes adversos. Se adapta muy bien a las tierras bajas, crece desde sitios secos con 350 mm/año hasta húmedos con 2.300 mm/año

y temperatura media anual de 22 a 30 °C. Necesita un período seco de 4 a 6 meses. Crece en una amplia variedad de suelos, desde neutros, hasta alcalinos, siempre y cuando sean suelos bien drenados, no compactados ni ácidos. Los mejores resultados se obtienen en suelos con pH de 6.5 a 7.5. Suelos inferiores a 5.5 de pH no son recomendables (13).

#### **b) Taxonomía y fisiología**

**Familia:** MIMOSACEAE

**Nombre científico:** *Leucaena leucocephala* (Lam)

Es un árbol de más o menos 10 metros de altura, con hojas bipinnadas, caducas y flores en racimos de cabezuelas blancas. El fruto son legumbres que radian en umbelas. Se propaga por semillas y esquejes.

Se usa como cerca viva y la madera se emplea en aglomerados, pulpa, leña y carbón. Las hojas de este árbol son un buen forrajes para el ganado si se mezclan con pastos (12).

Esta especie posee nódulos fijadores de nitrógeno en las raíces del simbiote: *Rhizobium* y/o *Bradyrhizobium*. Nodula espontáneamente con el rhizobium del lugar lo que

le permite buena adaptación aún en sitios con factores limitantes (nutrición y disponibilidad de agua). Sus nódulos grandes y prolíficos se encuentran en las raicillas de las capas superficiales y aireadas del suelo, esto le confiere la característica de ser una especie de fácil adaptación, con buena capacidad competitiva con otros cultivos y/o árboles nativos en situaciones de estrés (13).

La leucaena tiene un rápido crecimiento y longevidad de 50 años. Muestra un incremento medio anual de 2.8 m en altura y 2.4 cm en diámetro. El crecimiento es lento en las primeras etapas de desarrollo de la planta, y en sitios donde no hay estación seca bien definida y la precipitación es mayor a 2.500 mm. Es lenta para establecerse, pero una vez establecida, su productividad es alta aún bajo defoliación regular (13).

Es una buena productora de materia orgánica logrando producciones anuales de 23 toneladas/ha, en densidades de 66,600 árboles/ha y cosechas a intervalos de 60 días. La hojarasca es de fácil descomposición. Tiene capacidad para formar follaje fácilmente. Sus hojas tienen un alto contenido de nitrógeno (4.3 % peso seco). Alcanza su estado reproductivo y de producción en 1 ó 2 años, no

obstante, la semilla debe cosecharse de individuos de más de 3 años. Un árbol con copa bien desarrollada puede producir entre 500 y 1.500 g de semilla limpia. Se pueden llegar a cosechar hasta 50 toneladas/ha de hojas y vainas verdes, y una producción de leña 50 m<sup>3</sup>/ha/año. Sus rendimientos en madera varían de 24 a 100 m<sup>3</sup> ha/año, según resultados de plantaciones en Filipinas (13).

### **2.2.3. Ébano (*Ziziphus thyrsoiflora*)**

#### **a) Distribución e importancia**

Es una especie bien distribuida en la región tumbesina desde la costa del Ecuador hasta el noreste de Perú. Crece en bosques tropófitos secos y muy secos del Litoral ecuatoriano (12).

#### **b) Taxonomía y fisiología**

**Familia:** RHAMNACEAE

**Nombre científico:** *Ziziphus thyrsoiflora*

Es un árbol de hojas elípticas con 3 nervios principales que van desde el ápice. Posee inflorescencia cimosa con flores amarillo verdosa.

La madera no es aserrable y es utilizada para la elaboración de cabos de hacha, durmientes y carbón (12).

#### **2.2.4. Neem (*Azadirachta indica*)**

##### **a) Distribución e importancia**

Nativa del bosque seco de la India, Pakistan, Malaya, Indonesia, Tailandia. Es ampliamente cultivada en regiones áridas. En nuestro país se ha cultivado con profusión en la provincia de Manabí: Bahía de Caraquez, Chone, Calceta y otros cantones (12).

##### **b) Taxonomía y fisiología**

**Familia:** MELIACEAE

**Nombre científico:** *Azadirachta indica* Juss

Posee propiedades muy importantes como crecimiento rápido, buena madera, tronco recto, siempre verde, respuesta extraordinaria no solo a la poda sino al desmoche total; por lo que es una especie recomendada

especialmente para la recuperación de cuencas hidrológicas y reforestación de tierras áridas (8).

El neem es un árbol de tamaño mediano con raíces profundas madera rojiza durable y flores blancas en panículas (12).

Es conocido por ser un árbol productor de energía usado para leña y carbón. Las semillas y hojas tienen un compuesto que se usa como repelente de insectos, lo que hace de esta planta un repelente natural contra plagas y una excelente barrera viva en cultivos susceptibles (1).

#### **2.2.5. Algarrobo (*Prosopis juliflora*)**

##### **a) Distribución e importancia**

Especie originaria de México. Elemento característico de las zonas áridas de Norte América aunque su distribución se ha extendido hasta algunas regiones áridas y semiáridas de Centro y Sudamérica (hasta Perú). Se ha propagado en África y en Asia. Crece de manera silvestre en los bosques tropicales caducifolios (13).

Se desarrolla en zonas de precipitación muy escasa desde 150 a 250 mm/año y en ciertos lugares con 500 a 1.000 mm/año, temperatura alta, humedad atmosférica escasa,

insolación intensa. Crece en gran variedad de suelos, incluso en suelos muy pobres. Crece sin dificultad en suelos con un pH de 6,5 a 8,3 y es capaz de crecer en suelos sódicos con un pH de hasta 10,4.

Dentro del bosque es una especie secundaria, pionera, colonizadora, considerada para los procesos de regeneración, facilitando el establecimiento de otros elementos (13).

#### **b) Taxonomía y fisiología**

**Familia:** MIMOSACEAE

**Nombre científico:** *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.

Es una especie de fácil adaptación, cuyas raíces se asocian con bacterias nitrificantes (rhizobium), formando nódulos fijadores de nitrógeno, además de que el sistema radical es de crecimiento rápido (10 veces más rápido que el tallo) (12).

Al igual que la *Leucaena* es una buena productora de abono verde y materia orgánica. Varía de 300 kg/ha (cuando es podada y usada como forraje) hasta 8.000 kg/ha. *P. juliflora* produce 3.000 a 4.000 kg de fruto por hectárea y hasta 10,000 kg en sitios donde hay agua

subterránea. La edad de fructificación es temprana, comenzando a los 3 ó 4 años. Se producen 7.2 kg de vainas por árbol y 352 vainas/kg. Produce de 50 a 100 toneladas de leña por hectárea. Tiene una alta capacidad de competencia frente a las malezas cuando es adulto, y gran capacidad regenerativa por una producción abundante de semilla (13).

### **2.3. Viveros forestales**

Los viveros forestales son el punto de partida del cambio necesario para revertir la degradación de los recursos naturales y mejorar la calidad de vida de la población. Es el lugar en el que se cultivan árboles hasta que estén listos para ser plantados, proporcionando a las plántulas las condiciones necesarias para asegurar su supervivencia desde la etapa de semilla hasta que este lista para ser trasplantadas en sitio definitivo, obteniendo plantas fuertes y sanas de buena calidad (10).

Existen diferentes tipos de viveros forestales. Según la duración que tengan, pueden ser permanentes o temporales; según el tipo de producción, serán plantas en envase o a raíz desnuda y según el tamaño, pueden ser pequeños (menor a 50.000 plantas/año),

medianos o grandes. Cada uno de estos tipos de vivero tiene su propio diseño y manejo (10).

Para la ubicación del vivero se deben tomar en cuenta factores como la cercanía al área a reforestar, disponibilidad de mano de obra, caminos transitables con vehículos todo el año, terreno con buen drenaje, suficiente cantidad de agua de calidad durante el período seco, topografía, exposición a la luz y protección contra el viento (10).

En el presente proyecto se manejó un vivero temporal a pequeña escala con plantas que serán llevadas a campo en fundas de polietileno (10).

### **2.3.1. Labores importantes en la etapa de vivero**

La etapa de vivero es una de las más importantes en el desarrollo de una plantación forestal, ya que se define la calidad y el óptimo desarrollo posterior de las plantas, mediante diferentes labores llevadas a cabo de manera adecuada y en el momento preciso. Entre las principales labores dentro del vivero están:

### **Elección del material de propagación**

El material de propagación es la parte de la planta madre usado para hacer nuevas plantas. Hay dos tipos: de origen sexual (semillas) y de origen vegetativo (estacas, injertos, acodos, etc). Los árboles producidos por semilla son generalmente más altos, de raíz profunda y no son exactamente iguales, lo que es favorable ante enfermedades o plagas. Los árboles producidos en forma vegetativa repiten exactamente las características de la planta madre, lo cual es bueno en frutales, e inician la producción de fruta mucho antes que los de semilla. Para la elección del material de propagación es necesario tener en cuenta: selección de árboles padres, recolección, tratamiento y almacenamiento de semillas (10).

### Características de los árboles padres

Es recomendable trabajar con semilla certificada que garantice que los árboles proceden de parentales con excelentes características como buena altura, diámetro, crecimiento recto, autopoda, entre otras. Si no se cuenta con semilla certificada de la especie deseada, se debe recolectar la semilla directamente de los árboles que estén en edad

adecuada según la especie para la producción de semilla y que posean las características fenotípicas deseadas (10).

### Recolección

Las semillas deben recolectarse cuando los frutos están maduros. Algunas pueden juntarse directamente del suelo, pero no se tiene la seguridad de que pertenezcan al árbol elegido. Para otros, es necesario juntar los frutos del árbol, antes de que se abran y se dispersen todas las semillas (10).

### Tratamiento

Después de cosechar los frutos, deben separarse las semillas y ponerse a secar a la sombra antes de almacenarlas. Los frutos carnosos deben desarmarse para sacar las semillas (10).

### Almacenamiento

Si no se siembra inmediatamente, las semillas deben guardarse al cuidado del calor, humedad, luz y plagas. Algunas semillas no pueden guardarse mucho tiempo porque después no germinan (pierden la viabilidad) (10).

- El árbol padre debe tener buena forma (fuste)
- Debe producir cosechas abundantes y de calidad (frutos)
- Debe tener buen crecimiento y estar adaptado a la zona
- Debe estar libre de plagas y enfermedades.

## **Siembra**

### Pretratamientos de semillas

Antes de sembrar, algunas semillas necesitan un tratamiento para “despertar” y así dar una germinación más pareja. Algunos de los tratamientos más usados en vivero para esto son: remojo en agua tibia, dejándola enfriar y sacándolas a las 8 o 12 horas; o lijado (pasada rápida sobre un papel de lija medio). Todos estos tratamientos intentan apurar la entrada de agua en la semilla, para que se hinche y germine (10).

### La siembra

Hay dos modos de siembra: en almácigos y siembra directa. La siembra en almácigos se usa cuando la semilla es muy chica, o de mala calidad (mal conservada, vieja, etc.). Después de que las plántulas tienen cierta altura, son transplantadas a los envases.

En la siembra directa las semillas se colocan directamente en el envase, ahorrando el trabajo de transplante. Se usa cuando la germinación es buena y cuando las especies son delicadas para transplantar.

Para los dos tipos de siembra, el sustrato (del almácigo o el envase) debe estar humedecido. Las semillas se colocan y se tapan con el mismo sustrato, quedando como máximo a una profundidad del doble del tamaño de la semilla. Las semillas poco tapadas pueden quedar al aire con el riego y secarse; las semillas muy tapadas gastarán toda su energía tratando de salir y no podrán lograrlo. Para evitar que se haga una costra, se coloca una cobertura de pasto seco o bagazo de caña que además le brinda protección contra hongos patógenos (10).

### **Transplante**

Cuando las plántulas tienen unos 5 a 8 cm de alto, se transplantan a los envases, para que tengan buen espacio para crecer. Este trabajo es muy delicado y las plantitas sufren mucho. El almácigo debe regarse bien el día anterior para que las plantas “carguen” agua, y se ablande el terreno.

Es mejor transplantar al atardecer, o en momentos de poca insolación. Con una cuchara o cuchillo se saca la planta, tirándola despacio de las hojas. Si la raíz es muy larga (más que el envase) se poda con una tijera.

En el envase cargado se hace un hoyo del largo de la raíz, y se mete la plántula, hasta la misma profundidad que estaba en el almácigo, sin doblar la raíz. Se apisona desde los costados del hoyo para ceñir bien la raíz con el sustrato. Para tener éxito en el transplante se debe:

- Cuidar las raíces del sol y el viento.
- Colocar la raíz bien derecha en el hoyo.
- Ceñir bien la raíz, sin dejar huecos.
- Enterrar la raíz a la misma profundidad que tenía en el almácigo; ni más, ni menos.
- Dejar bien plano el sustrato en el envase sin un hoyo alrededor del tallo (10).

### **Envases**

El envase tiene la función de retener el sustrato hasta que la planta crezca. Tiene que tener agujeros en la base para dejar salir el agua, así no se pudren las raíces. Hay muchos tipos de envase, pero los más comunes en los viveros son las

fundas de polietileno. Vienen de diferentes tamaños y espesor. Los viveros de gran escala usan unas bandejas de plástico duro, que se pueden usar muchas veces (varios años). Cada bandeja tiene varios huecos, uno para cada planta. Las botellas descartables de gaseosa son una buena opción para envase. Muchos otros materiales pueden utilizarse para envases: fundas de leche o yogur, latas, cañas bambú, etc. Sea cual sea el que se elija, se debe asegurar que la planta tenga el espacio necesario para el desarrollo de sus raíces. Si el envase queda chico y las plantas van a seguir en el vivero, deben ser transplantadas a envases más grandes, porque si no la planta se debilita, y puede enfermarse (10).

### **Sustrato**

La tierra que se usa para llenar los envases y almácigos tiene que cumplir varias funciones: dejar entrar y retener el agua; ser rica en nutrientes; blanda para que la raíz pueda crecer y no desarmarse cuando se saque el envase. Como es difícil encontrar la tierra “perfecta”, se prepara un sustrato mezclando distintos materiales como arena, lombricompost, abono, tierra, etc. La mezcla debe pasarse por una zaranda

para que sea bien fina y no lleve piedras, basura o terrones. Amasando un poco de sustrato se prueba si la mezcla es buena para retener el agua y los nutrientes. La mezcla no debe ser demasiado arenosa (se escapa el agua) o demasiado arcillosa (absorbe el agua muy despacio) (10).

### **Crecimiento de las plántulas**

#### Riego

Las plántulas necesitan agua para transportar los nutrientes y alimentos. El riego se debe hacer al amanecer o cuando cae la tarde.

También ayuda cubrir los envases (y almácigos) con 2 cm de pasto seco o bagazo de caña. El riego por goteo con un tanque elevado y cintas ahorra mucha agua.

Cuando las plantas son muy chicas, se riegan con una lluvia muy fina. Si no hay una regadera, se puede mojar una rama y sacudirla sobre las plántulas (10).

#### Desmalezado

Se hace de forma manual retirando las malezas cuando estas están pequeñas y cortándolas cuando están grandes para evitar lastimar la raíz de las plantas (10).

### Poda de raíces

Si las plántula (sobre todo las que están en fundas) se dejan mucho tiempo en la tierra, la raíz principal “sale del envase” y empieza a crecer en el cantero. Para evitarlo, se ponen sobre alguna estructura que las separe del suelo. Las raíces no pueden vivir en el aire, y no se escaparán del envase (algunos llaman a esto auto-poda). Otra opción (la más común) es mover cada tiempo las plántulas de lugar, y podar las raíces que asoman del envase. Con esto se logra frenar el crecimiento de la raíz principal, y aumentar el crecimiento de las raíces más finas, para que se tramen bien y ocupen todo el sustrato del envase. La poda de raíces sirve también para eliminar las raíces acumuladas en el fondo de los envases (10).

### Fertilización

Para mejorar el crecimiento de las plantas, o ayudarlas a recuperarse de daños (como la poda de raíces, vientos fuertes, heladas) puede aplicarse lombricompost como fertilizante. Puede agregarse encima de los envases, para que con los riegos se transporte hacia las raíces; o disuelto en agua, aplicándolo con un rociador sobre las hojas. El

lombricompost contiene una importante cantidad y variedad de nutrientes para favorecer el crecimiento de las plantas. También se pueden aplicar abonos foliares que además de proporcionar nutrientes que fortalezcan a la planta, ayudan a que toda la población tenga un crecimiento más uniforme (10).

### **Endurecimiento**

En el vivero, las plantas reciben todos los cuidados para que crezcan bien: sombra, riegos, un sustrato fértil, protección contra los vientos, etc. Cuando se las saca del vivero y van a plantación, las plantas sufren un cambio muy fuerte, porque de golpe dejan de tener todos estos cuidados; y pueden entrar en un fuerte estrés que las vuelva susceptibles a plagas y enfermedades.

El endurecimiento, también llamado “rusticado” es la etapa final de producción del vivero y consiste en ir retirando de a poco todos los cuidados que se dan en el vivero, para que la planta se endurezca y soporte mejor el trasplante. Durante el endurecimiento, las plantas se sacan de la sombra, se les va reduciendo los riegos, se deja de aplicar fertilizante, y se las

coloca en lugares menos protegidos que en el vivero. Esta tarea debe realizarse durante los últimos 30 a 45 días de la planta en el vivero, antes de que salga a plantación. Durante el endurecimiento, la planta reduce el crecimiento en altura y refuerza el crecimiento de raíces y grosor del tallo, quedando en mejores condiciones para soportar el trasplante definitivo (10).

### **2.3.2. Importancia del riego en etapa de vivero**

El riego es de suma importancia en la etapa de vivero. El exceso o deficiencia de este puede causar graves problemas.

Cuando hay falta de agua las plantas no pueden captar los nutrientes del suelo, y al no tener nutrientes quedan desprotegidas ante plagas y enfermedades, también la falta de agua, causa que todo el contenido nutricional y de preferencia de crecimiento vaya hacia las raíces en busca del líquido vital, lo que ocasiona un crecimiento desproporcionado en la planta y disminuye la calidad de la plantación. Si por el contrario se riega en exceso, las plantas podrían presentar problemas de hongos patógenos. Otro factor que se debe tomar en cuenta es el momento del riego. Las mejores horas

para el riego son aquellas durante el día cuando el sol no está en su plenitud, de preferencia temprano en la mañana o por la tarde cuando el sol ha perdido fuerza.

Se debe cuidar que el agua no tenga un alto contenido de sales, o de sólidos suspendidos ya que desmejora la calidad y afecta la capacidad de absorción de nutrientes. De manera proporcional se cree que para regar 1.000 plántulas se necesitan entre 350 a 500 litros de agua (3).

# **CAPÍTULO 3**

## **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. Área de estudio**

#### **3.1.1. Ubicación geográfica**

El presente proyecto se desarrolló en los terrenos que se encuentran junto a las lagunas de oxidación del cantón Santa Elena, de la provincia del mismo nombre. Las coordenadas son: 2°14'27.75"Sur y 80°51'53.84"Oeste. A las lagunas las divide la línea limítrofe imaginaria de los cantones de La Libertad y Santa Elena.



**Gráfico 1.-** Vista satelital de las lagunas de oxidación de Santa Elena.

### 3.1.2. Tipo de bosque

Geográficamente la Península de Santa Elena corresponde a la clasificación de zona de vida de *desierto tropical* comprendiendo el triángulo: Salinas, Santa Elena y Anconcito. Es una llanura compuesta por capas horizontales de arenisca arcillosa.

En esta zona de vida la corriente de Humboldt tiene su marcada influencia tanto en la precipitación como en la temperatura. Los meses de mayor densidad de lluvias corresponden al período de enero a abril, que son los más nublados y los más calurosos. Entre mayo y diciembre la región está relativamente libre de nubes y la temperatura baja

dando la apariencia de que esta zona de vida, no es típica de la altitud en la que se encuentra.

Corresponden a una provincia de humedad super-árido en el sentido de Holdridge.

### Vegetación

Esta formación se compone en gran parte de pampas y colinas que tienen mucha semejanza con los desiertos o casi desiertos del norte del Perú. En las pampas la vegetación es escasa y de tipo xerofítica o halofita, solamente interrumpida por la presencia de árboles aislados o por las denominadas “mulas” utilizadas para bombeo de petróleo, mientras las colinas están cubiertas de grupos de árboles, arbustos, cactus rodeados de sabanas donde ramonea el ganado caprino.

### Uso actual y potencial

El territorio que incluye esta zona de vida es uno de los más inhóspitos, monótonos y desagradables de toda la Costa. No cuenta con agua de ningún río permanente y el agua subterránea que proviene de los cauces de los ríos de corrientes ocasionales (conocidos en el lugar como vegas) es tan escasa y profunda que, con pocas excepciones están al

margen del aprovechamiento del hombre o de los animales, razón por la cual, actividades agrícolas o ganaderas no se podrían desarrollar sin el riego con agua potable, lo que también está limitado por la existencia de suelos arenosos con drenaje excesivo. (2)

### **3.1.3. Datos climáticos**

La Península de Santa Elena se extiende en sentido altitudinal desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 300 metros, que se encuentra en los altos de Chanduy. Su temperatura promedio anual es de 24 °C y su precipitación media anual, oscila entre los 62, 5 y 125 milímetros (2).

## **3.2. Metodología**

### **3.2.1. Construcción del vivero**

El vivero se construyó junto a la segunda laguna facultativa.

Se construyó pequeños cuadrantes para colocar fundas de polietileno de 4" x 5", teniendo para cada tratamiento un total de 36 fundas. La parte más importante y la que más tiempo tomó fue la instalación del sistema de riego. El cual fue por gravedad colocando una serie de seis tanques interconectados entre sí, de los cuales tres recibían la carga

de agua de la laguna facultativa y los otros tres de la laguna de maduración. Para llenar los tanques se instaló una estación de bombeo con una bomba de 2 HP a gasolina. Llenar los tres tanques de 55 galones cada uno, tomaba 15 minutos a una velocidad media de la bomba de succión. Dentro del vivero el riego se realizó con mangueras de jardín, distribuidas de manera específica para cada fuente de agua. Para el riego del testigo (agua potable) se utilizó un tanque de 55 galones.

### **3.2.2. Análisis del agua de las lagunas de oxidación utilizada en el riego.**

Se realizó un análisis de agua tanto a la proveniente de la laguna facultativa como a la de maduración. Para el caso del agua potable el análisis de agua fue entregado por AGUAPEN. Se obtuvieron parámetros físicos, químicos y bacteriológicos: temperatura, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos, alcalinidad total, dureza total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno

(DQO5), nitritos, nitratos, amoníaco, fosfatos, carga orgánica, coleiformes totales, coleiformes fecales, aceites y grasas.

De los resultados de los análisis se observó que el nivel de aceites y grasas está por encima de lo permitido por la ley para el uso de aguas para riego agrícola al igual que el nivel de coleiformes totales y fecales; esto quiere decir que sin otro tipo de tratamiento este tipo de agua no puede ser utilizada para el riego en productos agrícolas porque pone en riesgo la salud humana; sin embargo puede ser utilizada en especies forestales que no serán consumidas por las personas.

De los tres tipos de agua analizados la que muestra un mayor contenido nutricional es el agua de la laguna de maduración, con el mayor contenido de nitratos, nitritos, fósforo y fosfatos aunque la diferencia es mínima en comparación con los otros tipos de agua analizados.

### **3.2.3. Análisis de sustrato utilizado.**

El sustrato utilizado para llenar las fundas estuvo compuesto por materiales recolectados en la zona en proporciones iguales de arcilla (20%), arena de río (20%), tierra de porotillo (20%), estiércol seco (20%) y aserrín (20%). Cada material

fue previamente tamizado e incorporado de manera uniforme. Además se añadió al sustrato un 0.033% de ceniza de caña de azúcar para control fúngico y como aporte nutricional de zinc.

El sustrato tenía un alto contenido nutricional por los materiales usados, además de ser bastante poroso y de buena retención de agua.

#### **3.2.4. Seguimiento y control en vivero**

Se ubicaró los tratamientos en campo, y se preparará las fundas de polietileno para el repique, regando las mismas de acuerdo a la fuente de agua correspondiente.

Para el repique se sumergió a las plántulas en una solución de agua potable con un desinfectante (captan 8) en cantidades de 2 gr por 500 ml de agua, por un lapso de 15 minutos antes de iniciar el repique.

El riego se realizó cada dos días en lo posible. No se aplicó ningún tipo de fertilizante.

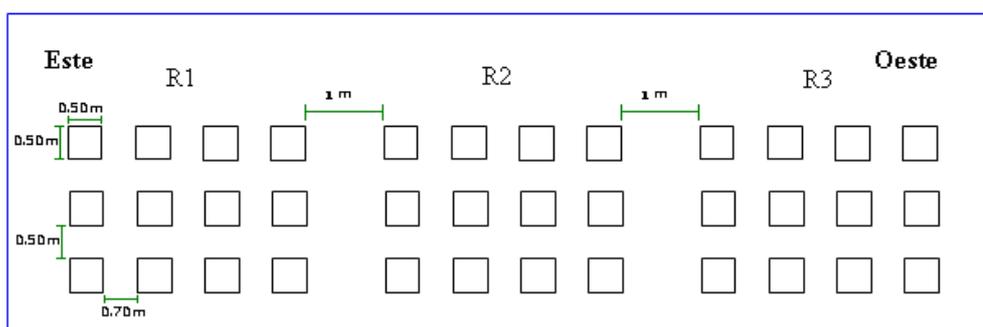
La toma de datos se realizó semanalmente desde el repique con las variables altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas.

### 3.3. Diseño experimental

La unidad experimental tiene de 36 fundas de polietileno que cubren un área de 0.25 m<sup>2</sup> (6 x 6 fundas), en un diseño de parcelas divididas, con 12 tratamientos y 3 repeticiones.

El factor principal del diseño fueron las 4 especies arbóreas y en las subparcelas se ubicó los tratamientos del riego con el agua de las dos lagunas además del testigo (agua potable) para un mejor análisis y exactitud de este subfactor.

La toma de datos se hizo a 16 plantas dentro de cada cuadrante eliminando de esta manera el efecto borde, que podría afectar el resultado del experimento.



**Gráfico 2.-** Mapa de diseño en campo

**Factor A: Especies forestales**

a1: Ébano (*Ziziphus trisiflora*)

a2: Neem (*Azadirachta indica*)

a3: Leucaena (*Leucaena leucocephala*)

a4: Algarrobo (*Prosopis juliflora*)

**Factor B: Concentración de agua**

b1: agua potable

b2: agua de piscina facultativa

b3: agua de piscina de maduración

**Tratamientos:**

T1: a1b1: Ébano, agua potable

T2: a1b2: Ébano, agua de piscina facultativa

T3: a1b3: Ébano, agua de piscina de maduración

T4: a2b1: Neem, agua potable

T5: a2b2: Neem, agua de piscina facultativa

T6: a2b3: Neem, agua de piscina de maduración

T7: a3b1: Leucaena, agua potable

T8: a3b2: Leucaena, agua de piscina facultativa

T9: a3b3: Leucaena, agua de piscina de maduración

T10: a4b1: Algarrobo, agua potable

T11: a4b2: Algarrobo, agua de piscina facultativa

T12: a4b3: Algarrobo, agua de piscina de maduración

### **Variables dependientes**

**Altura de planta.-** La medición se hizo con una regla de 60 cm, midiendo la altura desde el inicio del tallo hasta la inserción de la hoja terminal.

**Diámetro de talluelo.-** Para esta medición se utilizó un vernier, el que se colocaba a media pulgada desde el inicio del tallo.

**Número de hojas.-** Se contaban todas las hojas de la plántula incluyendo las hojas nuevas.

## **3.4. Análisis estadístico**

### **3.4.1. Hipótesis**

En este experimento se pretende contestar la pregunta ¿El riego con agua residual tiene un efecto en el desarrollo de las especies forestales evaluadas?

Para el análisis estadístico las hipótesis quedaron de la siguiente manera:

$H_0$ : Todos los tratamientos son iguales

$H_1$ : Existe diferencia entre los tratamientos

En la comparación de los diferentes tratamientos se utilizó el siguiente contraste de hipótesis para las variables de altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas:

$$H_0: \mu_{T1} = \mu_{T2} = \mu_{T3} \dots \dots \dots = \mu_{T12}$$

$H_1$ : Al menos un  $\mu_{Ti}$  difiere;  $i=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12$

### 3.4.2. Adeva

El análisis de variancia (ADEVA) es uno de los métodos estadísticos más importantes utilizados en la investigación agrícola. El empleo del ADEVA se ha generalizado extensamente para la interpretación de los resultados de los experimentos agrícolas y de diversos estudios biológicos y en otros campos de la investigación, por ser el método más preciso, más flexible y de más fácil aplicación de los que puedan utilizarse para este fin.

El ADEVA es la base de los Diseños Experimentales. La prueba de hipótesis que se plantea, es la igualdad entre las

medias de las muestras (Hipótesis nula) y la hipótesis alternativa es que son diferentes. Para esta prueba de hipótesis se utiliza la prueba de F.

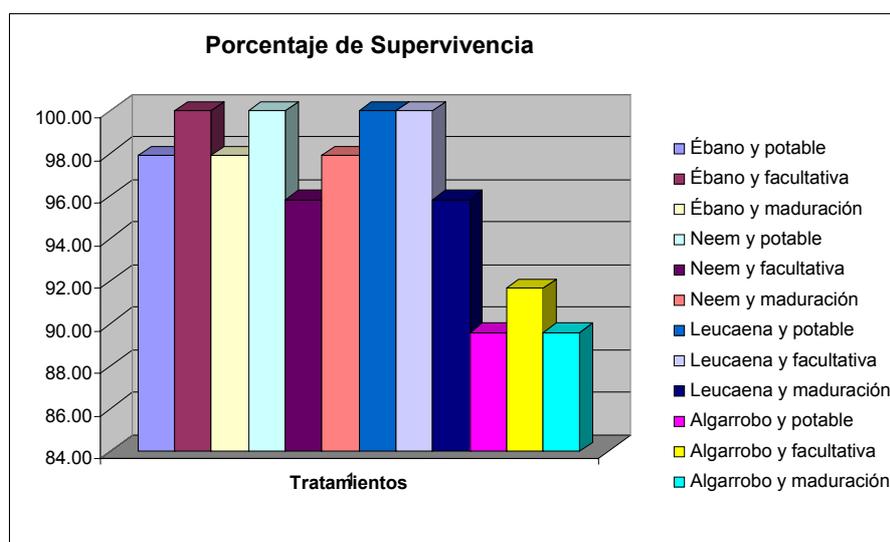
Para realizar el análisis de varianza se toma como supuesto que las observaciones son independientes, existe homogeneidad en las varianzas y normalidad en los datos.

En esta prueba para el análisis de los datos se utilizó el método de área bajo la curva para tener mayor exactitud con la evolución de los datos a través del tiempo. Y son estos valores a los que se les realiza el análisis de varianza. En esta última se compara la diferencia para cada factor y además la interacción entre estos, teniendo en cuenta que el factor más importante para el presente experimento es el tipo de agua para el riego.

### **3.4.3. Resultados**

#### **Porcentaje de supervivencia**

El porcentaje de supervivencia se encuentra para todos los tratamientos por encima del 85%. Los tratamientos 10 (Algarrobo con agua de laguna de maduración) y 12 (Algarrobo con agua potable) son los de los porcentajes más bajos con 89.58% en ambos casos.



**Gráfico 3.- Porcentaje de supervivencia**

### Variable Altura de planta

Con los datos tomados en campo y luego de aplicar el área bajo la curva para todas las plantas en cada tratamiento, se obtuvo la siguiente tabla de ADEVA:

**Tabla 2.- ADEVA- Altura de planta (SC Tipo I)**

F.V.	SC	GI	CM	F	Valor p
<b>Modelo</b>	8704,18	13	669,55	68,38	<0,0001
<b>Especie</b>	8222,19	3	2740,73	279,91	<0,0001
<b>Agua</b>	27,81	2	13,90	1,42	0,2426
<b>Especie*Agua</b>	222,14	6	37,02	3,78	0,0011
<b>Error</b>	5297,22	541	9,79		
<b>Total</b>	14001,40	554			

La significancia de los tratamientos ( $\text{sig}=0,0011$ ), indica que por lo menos una de las áreas bajo la curva de los tratamientos difiere significativamente del resto.

Aplicando la prueba Tukey para el tipo de especie se obtiene la siguiente tabla:

**Tabla 3.-** Prueba de Tukey para especies en la variable altura

<b>Especie</b>	<b>Medias</b>	
<b>Ébano</b>	5,99	A
<b>Algarrobo</b>	8,21	B
<b>Neem</b>	8,80	B
<b>Leucaena</b>	16,13	C

*Letras distintas reflejan diferencias estadísticas al 5%*

**Tabla 4.-** Prueba de Tukey para tratamientos en la variable  
altura

Tratamiento	Medias	
T3	5,65	A
T2	6,16	A
T1	6,16	A
T12	7,25	AB
T4	7,44	AB
T11	8,61	BC
T10	8,77	BC
T5	9,03	BC
T6	9,98	C
T7	15,63	D
T8	16,17	D
T9	16,63	D

*Letras distintas reflejan diferencias estadísticas al 5%*

### **Variable diámetro de tallo**

Con los datos tomados en campo y luego de aplicar el área bajo la curva para todas las plantas en cada tratamiento, se obtuvo la siguiente tabla de ADEVA:

**Tabla 5.- ADEVA- Diámetro de tallo (SC Tipo I)**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>Gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	354,74	13	27,29	161,83	<0,0001
<b>Especie</b>	341,56	3	113,85	675,21	<0,0001
<b>Agua</b>	0,41	2	0,20	1,21	0,2977
<b>Especie*Agua</b>	2,13	6	0,35	2,10	0,0516
<b>Error</b>	91,22	541	0,17		
<b>Total</b>	445,96	554			

De acuerdo a la tabla de ADEVA no existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $\text{sig}=0,0516$ ), lo que indica que las áreas bajo la curva de los tratamientos son iguales estadísticamente.

Aplicando la prueba Tukey para el tipo de especie se obtiene la siguiente tabla:

**Tabla 6.- Prueba de Tukey para especies en la variable diámetro**

<b>Especie</b>	<b>Medias</b>	
<b>Algarrobo</b>	1,82	A
<b>Ébano</b>	2,44	B
<b>Neem</b>	3,41	C
<b>Leucaena</b>	3,83	D

*Letras distintas reflejan diferencias estadísticas al 5%*

### Variable número de hojas

Con los datos tomados en campo y luego de obtener el área bajo la curva para todas las plantas en cada tratamiento, se obtuvo la siguiente tabla de ADEVA:

**Tabla 7.- ADEVA- Número de hojas (SC Tipo I)**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	1160,03	13	89,23	33,97	<0,0001
<b>Especie</b>	1035,43	3	345,14	131,39	<0,0001
<b>Agua</b>	5,96	2	2,98	1,13	0,3226
<b>Especie*Agua</b>	83,13	6	13,86	5,27	<0,0001
<b>Error</b>	1423,80	542	2,63		
<b>Total</b>	2583,83	555			

La significancia de los tratamientos (sig=0,000), indica que por lo menos una de las áreas bajo la curva de los tratamientos difiere significativamente del resto.

Aplicando la prueba Tukey para el tipo de especie se obtiene la siguiente tabla:

**Tabla 8.-** Prueba de Tukey para especies en la variable  
número de hojas

<b>Especie</b>	<b>Medias</b>	
<b>Algarrobo</b>	5,61	A
<b>Ébano</b>	6,73	B
<b>Neem</b>	7,32	C
<b>Leucaena</b>	9,35	D

*Letras distintas reflejan diferencias estadísticas al 5%*

**Tabla 9.-** Prueba de Tukey para tratamientos en la variable  
número de hojas

<b>Tratamiento</b>	<b>Medias</b>	
<b>T12</b>	5,12	A
<b>T10</b>	5,78	AB
<b>T11</b>	5,93	AB
<b>T3</b>	6,16	ABC
<b>T4</b>	6,86	BCD
<b>T2</b>	6,90	BCD
<b>T1</b>	7,11	CD
<b>T5</b>	7,14	CD
<b>T6</b>	7,97	DE
<b>T8</b>	8,92	EF
<b>T9</b>	9,33	F
<b>T7</b>	9,81	F

*Letras distintas reflejan diferencias estadísticas al 5%*

#### **3.4.4. Análisis de Resultados**

Los resultados obtenidos muestran que existe diferencia significativa para los tratamientos en las variables altura, altamente significativa para la variable número de hojas y no existe diferencia estadística para la variable diámetro de tallo.

Cabe resaltar que para todas las variables al analizar los factores de manera independiente se evidencia que el factor que afecta la significancia es la especie, y no tanto como el tipo de agua para riego que no tuvo significancia estadística.

En todas las variables no se encontró significancia estadística para el tipo de agua, por lo que se puede decir que las áreas bajo la curva de los tratamientos son iguales para los tres tipos de agua evaluados en este experimento.

Aplicando la prueba de Tukey para la variable altura se obtuvo que los mejores tratamientos fueron T9 (Leucaena con agua de laguna de maduración), T8 (Leucaena con agua facultativa) y T7 (Leucaena con agua potable) con los promedios más altos. Seguido de estos y diferentes a los tres primeros se encuentran T6, T5, T10 y T11 cuyos promedios son cercanos entre sí y los tres últimos de este grupo se asemejan a los tratamientos T4 y T12, y a la vez estos dos son iguales a los tratamientos T1, T2 y T3.

La especie con mejor altura en este caso fue la Leucaena. El Neem y el Algarrobo tuvieron promedios semejantes y el Ébano fue el de menor tamaño.

Para la variable diámetro de tallo no se encontró diferencia estadística para los tratamientos, y sólo se aplicó Tukey para el factor de las especies, siendo la de mayor diámetro la Leucaena, seguido del Neem, y por último están el Ébano y el Algarrobo que fue el que menor diámetro presentó.

Aplicando Tukey para el número de hojas muestra que los tratamientos T7 y T9 son los mejores, seguidos por los tratamientos T8 y T6, el tratamiento que mostró menor emisión foliar fue el T12.

En este caso también los tratamiento de mayor emisión foliar fueron los de la Leucaena y los de menor fueron los del Algarrobo.

En la supervivencia se puede observar que todos los valores son aceptables y están dentro de parámetros normales en vivero (supervivencia sobre el 85%). El tratamiento de menor supervivencia fue el T10 que es Algarrobo regado con agua potable.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La diferencia estadística entre los tratamientos se debe a las especies y no al tipo de agua con la que fueron regadas.

La Leucaena fue la especie que obtuvo los valores más altos en altura, diámetro de tallo y número de hojas, debido a que es una planta que tiene un rápido crecimiento y al ser una leguminosa aprovecha de mejor manera el nitrógeno atmosférico fijándolo en el suelo.

Las especies forestales evaluadas en este experimento, resisten el riego con aguas residuales a pesar de los altos niveles de aceites y grasas, esto se evidenció en la igualdad estadística de las variables evaluadas.

La cantidad de nitratos, nitritos, amoniacos y fosfatos que se encuentran en el agua no tuvo un significativo efecto en el desarrollo de los árboles.

El riego con agua residual tampoco tuvo un efecto significativo en la mortalidad, ya que esta se encuentra dentro de parámetros normales (por debajo del 15%).

## RECOMENDACIONES

Se deben realizar replicas de este experimento en otras localidades de la Península y con otras especies para que se confirmen los datos presentados en este proyecto, manteniendo en igualdad de condiciones los tratamientos y repeticiones.

Para ejercicios de programas de reforestación, el riego con agua procedente de lagunas de oxidación es igual de eficiente que el riego con agua potable, ya sea que provenga de lagunas facultativas o de maduración, por lo que no afectará su desarrollo de manera negativa, teniendo en cuenta que este tipo de agua no sustituye la fertilización.

Se deben continuar con la toma de datos en campo para evaluar si existe alguna diferencia una vez que las plantas están en terreno definitivo, ya que algunos nutrientes como el nitrógeno amoniacal en primera instancia no está disponible para la planta pero con bacterias del suelo luego de un tiempo, este puede transformarse en formas asimilables, y podría reemplazar la fertilización nitrogenada en campo.

El agua residual tratada mediante lagunas de oxidación debe ser aprovechada en programas de reforestación intensivos que le devuelvan a la Península de Santa Elena la cobertura forestal que se ha perdido por años y años de deforestación agresiva.

# APÉNDICES

**APÉNDICE A**

**SECUENCIA DE FOTOGRAFÍAS CONSTRUCCIÓN DEL**

**VIVERO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO**



**Zanja para manguera**



**Colocación de tubería**



**Colocación de tanque para medición de caudal**



**Mangueras para riego**



**Tanques y material para sustrato**



**Casa sombra para semillero**

## APÉNDICE B

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES

*lagunas*



*Investigación y desarrollo de proyectos comunitarios  
Asesoría-Consultoría.  
2295195*

#### REPORTE DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES

#	Parámetros	Muestra # 1	Muestra # 2	Muestra # 3	Unidades	Rangos	Metodo
1	Conductividad	1.100	1.200	650	umbos/cm	H 3.000	
2	Temperatura	24	24	28	°C	< 40	
3	P. H	8	8	9,5	U de P.H	6,5 - 9,0	
4	Cloruros	176	205	91	ppm	H 200	
5	Dureza total	375	268	218	mg/l CO <sub>2</sub> Ca	H 400	2340 C
6	Nitratos	4,4	4,4	2,2	ppm	< 1	NI-12 #14081-00
7	Nitritos	0,132	0,231	0,031	ppm	< 1	NI-12 #14081-00
8	Ortofosfatos	0,74	0,82	1,0	ppm		PO-19A # 2248-01
9	Fósforo Inorgánico	0,25	0,27	0,33	ppm	0,1-2,0	PO-19A # 2248-01
10	Fosfatos	10	10	20	ppm		4.500-PO <sub>4</sub>
11	Oxígeno Disuelto	2,4	16	6	ppm		Mod. OX-2P # 1469-00
12	Alcalinidad Total M CO <sub>2</sub> Ca	341	230	288	ppm	H 350	2320 B
13	Alcalinidad Parcial P Carbonatos	0	208	0	ppm		2320 B
14	Alcalinidad Parcial P Bicarbonatos	0	22	0	ppm		2320 B
15	Coliformes Totales	78 x 10 <sup>3</sup>	50 x 10	92 x 10 <sup>3</sup>	UFC/ ml		AOAC 966,24
16	Coliformes Fecales	Presencia	Ausencia	Ausencia		200-1000	AOAC 966,24

MUESTRA # 1 : corresponde a la piscina # 3 de los pozos de oxidación en la Provincia de Santa Elena

MUESTRA # 2: corresponde a la piscina # 4 de los pozos de oxidación en la Provincia de Santa Elena.

MUESTRA # 3: corresponde a la piscina del sector de Atahualpa en la Provincia de Santa Elena.

**Q.F TULIO ORELLANA LEON**  
Reg. Prof # 199

*Tulio Orellana Leon*

**APÉNDICE C**  
**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE**  
**AGUA POTABLE**



REGISTRO MENSUAL DE ANALISIS FÍSICO - QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO		
Jefe de Operación y Mantenimiento: Ing. Oswaldo Roca González.		Químico Responsable: Dr. Otto Córdova R.
FECHA DE MUESTREO: ENERO 2008		
CARACTERIZACIÓN DEL AGUA MES DE OCTUBRE DE 2008		
PARÁMETRO	UNIDAD	AGUA CRUDA
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	152
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	mg/l	0,03
Amonio, (N-NH <sub>3</sub> )	mg/l	0,11
Bario (Ba)	mg/l	0,00
Bióxido de Carbono Libre (CO <sub>2</sub> )	mg/l	0,5
Calcio (Ca <sup>++</sup> )	mg/l	36,87
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/l	0
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	16
Cobalto, (Co)	mg/l	0,000
Cobre, (Cu)	mg/l	0,01
Color Verdadero	Upt-Co	62
Conductividad Eléctrica	μS/cm	482
Cromo Hexavalente, (Cr)	mg/l	0,01
Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO <sub>5</sub> )	mg/l	8,8
Demanda Química de Oxígeno, (DQO)	mg/l	19,4
Dureza Total, (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	148
Fluor (F)	mg/l	0,14
Fósforo, (P-PO <sub>4</sub> )	mg/l	0,30
Hierro, (Fe)	mg/l	0,05
Magnesio, (Mg)	mg/l	13,36
Manganeso, (Mn)	mg/l	0,024
Níquel (Ni)	mg/l	0,000
Nitratos (NO <sub>3</sub> - N)	mg/l	0,8
Nitritos (NO <sub>2</sub> - N)	mg/l	0,005
Oxígeno Disuelto (O <sub>2</sub> )	mg/l	7,6
Oxígeno Disuelto %Saturación (O <sub>2</sub> )	%	92,00
pH	u	8,46
Plata (Ag)	mg/l	0,00
Potasio, (K)	mg/l	3,0
Salinidad	‰	0,2
Sodio, (Na)	mg/l	10,4
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	308
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	12
Sólidos Totales	mg/l	320
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/l	33,0
Sulfuros (S <sup>-</sup> )	mg/l	0,012
Temperatura	°C	26,0
Turbiedad	UNT	7,7
Zinc (Zn)	mg/l	0,12
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		
Coliformes Totales	NMP/100 ml	86
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1
Aerobios	UFC/ml	14000

Dr. Otto Córdova R.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Ahmed, Saleem; Bamefleh, Salem; Munshi, Ma'toug. 1989. Cultivation of neem (*Azadirachta indica*, Meliaceae) in Saudi Arabia. Economic botanic.
2. Cañadas, L. 1983. El Mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. MAG-PRONAREG. Quito. Ecuador.
3. CATIE. 1994. El árbol al servicio del agricultor-Manual de agroforestería para el desarrollo rural.
4. CEPIS. 1993. Memoria del taller regional para las Américas sobre aspectos de salud, agricultura y ambiente vinculados al uso de las aguas residuales. Jiutepec, Morelos. México.
5. Curtis, T. 1994. The effect of sunlight on mechanisms for the die-off faecal coliform bacteria in waste satabilization ponds. Ph. D. thesis. School of Civil Engineering, University of Leeds. Leeds. United Kingdom.

6. Mara, D. y Pearson, H. 1998. Design manual for waste stabilization ponds in Mediterranean countries. European Investment Bank. Lagoon Technology International. Leeds. United Kingdom.
7. Mara, D.; Alabaster, G.; Pearson, H. and Mills, M. 1992. Waste Stabilization Ponds: A Design Manual for Eastern Africa. Lagoon Technology International. Leeds, England.
8. Muñoz, L. 2007. Manejo de Cuencas Hidrográficas Tropicales. Editorial Gustavo A. Serrano de la CCE. Loja. Ecuador.
9. National Research Council. 1992. Neem: a tree for solving global problems. Washington, DC: National Academy Press.
10. Navall, M. 2004. El vivero forestal. Estación Experimental Agropecuario Santiago del Estero. Buenos Aires. Argentina.
11. Peña, M. 2002. Advanced primary treatment of domestic wastewater in tropical countries: development of high-rate anaerobic ponds. Ph. D thesis. School of Civil Engineering, University of Leeds. United Kingdom.

12. Valverde, F. M. 1998. Plantas útiles del litoral ecuatoriano. Ministerio del Ambiente. ECORAE. Ecociencia. Guayaquil.
13. Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis Muñoz, M. I. Alcocer Silva, M. Gual Díaz y C. Sánchez Dirzo. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM.