

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA  
LEON  
FACULTAD DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS**



**UTILIZACIÓN DE PLANTAS ACUATICAS EN LAGUNAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “EL COCAL”. LEON**

**PRESENTADO POR: Lic. Rolando Dolmus Blanco**

**REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO DE MASTER EN MANEJO  
INTEGRADO DE PLAGAS**

**TUTOR: Dr. Ricardo Rueda Pereira, Ph.D**

**Enero 2006**

**León – Nicaragua**

## RESUMEN

En la ciudad de León en el sitio conocido como Lagunas de “El Cocal”, se construyeron lagunas de estabilización de flujo superficial como complemento a las dos lagunas primarias existentes, para darle tratamiento a las aguas residuales de un cuarto de la población urbana, que equivale aproximadamente a 35.000 personas. El sistema fue diseñado para cumplir cuatro funciones: mejorar el sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de León, hacer posibles la investigación multidisciplinaria a nivel nacional e internacional que permitiera validar estos sistemas de tratamiento en condiciones semi-naturales, servir como un sitio de pruebas controladas para la introducción y evaluación de técnicas de medición en el campo, en dependencia del tipo de plantas que pueden operar en estos sistemas y para servir como una herramienta de enseñanza en la educación de estudiantes de ingeniería sanitaria e hidráulica, biólogos, ecólogos, científicos medioambientalistas, así como un sitio para entrenamiento de personal de apoyo en el monitoreo de tratamientos semi-naturales con plantas. En el proyecto se realizaron investigaciones sobre la efectividad de *Lemna sp* y *Phragmites australis* en la remoción de cargas contaminantes e investigaciones básicas sobre otras especies que pueden ser utilizadas en estos tipos de tratamiento. El sistema operó desde Mayo del 98, ha finales de 1999 cumplió año y medio de investigación continua. Como resultados con este tipo de tratamiento, se ha encontrado que las diferencias entre lagunas facultativas secundarias con algas y plancton y lagunas sembradas con cañas (*Phragmites*), o cubiertas con Lemnas es muy pequeña y difícil de detectar observándose diferencias de aproximadamente 15% -30%.

# INDICE

	Página
RESUMEN.....	i
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
3. MARCO REFERENCIAL.....	4
3.1 MACROFITAS.....	4
3.2 HUMEDALES.....	5
3.2.1 Suelo.....	6
3.3 HUMEDALES EN EL PACIFICO DE NICARAGUA.....	6
3.4 AGUAS RESIDUALES.....	7
3.4.1 Tratamiento de Aguas Residuales.....	7
3.5 IMPORTANCIA DE HUMEDALES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS.....	8
3.6 TRATAMIENTOS MEDIANTE SISTEMAS NATURALES.....	9
3.7 SISTEMAS ACUÁTICOS Y HUMEDALES.....	9
3.7.1 Lagunas de Estabilización.....	9
3.7.2 Sistemas con plantas acuáticas flotantes:.....	10
3.7.3 Sistemas de Humedales.....	10
3.8 FUNCIONES DE LAS PLANTAS ACUATICAS EN SISTEMAS DE TRATAMIENTOS.....	11
Elementos.....	12
3.9 TAXONOMIA Y DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES ACUATICAS UTILIZADAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	13
3.9.1 Araceae.....	13
3.9.2. Lemnaceae.....	13
3.9.3. Poaceae.....	16
4. METODOLOGÍA.....	17
4.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	17
4.1.1. Ubicación.....	17
4.1.2. Componentes del Sistema.....	17
4.2 EVALUACION DEL SISTEMA CON MACROFITAS.....	18
4.2.1 Lagunas Experimentales.....	18
4.2.2. Lagunas secundarias.....	19
4.3 Cronología y Operación del sistema.....	19
4.3.1. Control y Monitoreo de muestras.....	20
4.3.2. Control de cobertura vegetal.....	20
5. RESULTADOS.....	21
5.1. PHRAGMITES AUSTRALIS.....	21
5.1.1. Condiciones Naturales.....	21
5.1.2. Lagunas Experimentales.....	22
5.1.3. Siembra en Lagunas Secundarias.....	23
5.1.4. Análisis químico.....	30
5.2 LEMNA.....	31
5.2.1. Lagunas Experimentales.....	31
5.2.2. Siembra en Lagunas Secundarias.....	32
5.3. SPIRODELA POLIRHYZA.....	36
5.3.1. Aguas Residuales.....	37
5.3.2. Condiciones Naturales.....	38
5.3.2 Tamaño de las Plantas.....	38
5.3.3 Biomasa.....	39
5.3.4 Fauna asociada a Spirodela <i>polyrrhiza</i> .....	39
5.3.6. Análisis Químico.....	40
5.4 PISTIA STRATIOTES.....	40
5.4.1. Aguas Residuales.....	40
5.4.2. Condiciones Naturales.....	41

5.4.3. Tamaño de las plantas .....	41
5.4.4. Biomasa de Pistia <i>stratiotes</i> .....	42
5.4.5. Estructuras Reproductoras Sexuales .....	42
5.4.6. Estructuras Reproductoras Vegetativas .....	43
5.4.7 Fauna Asociada .....	43
5.4.6. Análisis Químico .....	43
5.5 ANALISIS DE CLOROFILA.....	44
5.6 FACTORES FISICOS-QUIMICOS EN LAS LAGUNAS SECUNDARIAS.....	46
5.6.1. Temperatura.....	46
5.6.2. pH.....	46
5.7 EFICIENCIA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE TRATAMIENTO EVALUADOS.....	46
5.7.1. Lagunas Secundarias en paralelo .....	46
5.7.2. Lagunas en Serie .....	49
6. CONCLUSIONES .....	51
7. RECOMENDACIONES.....	52
8.BIBLIOGRAFÍA.....	54
9. ANEXOS .....	55
9.1 Cuadros .....	55
9.2 Figuras.....	63

# 1. INTRODUCCIÓN

El conducir aguas residuales por sistemas de alcantarillas fuera de las ciudades y verterlas a los ríos o cuerpos de aguas cercanos a las ciudades, ha sido la manera más común de tratar las aguas residuales originadas por las ciudades, pero esta situación se vuelve insostenible debido al incremento poblacional que demanda mayores servicios y por consiguiente la cantidad de residuos que se vierten es mayor.

Los cuerpos de aguas y pantanos tienen la capacidad de recibir desechos domésticos, sin que los sistemas sufran alteraciones importantes por procesos propios de estos sistemas conocidos como autodepuración, pero a elevadas cargas contaminantes la capacidad de autopurificación de los sistemas se vuelve insostenible, surgen efectos dañinos al sistema y como resultado de ello el sistema de vuelve anóxico, lo que puede provocar malos olores y hasta originar enfermedades en poblaciones aledañas a los cuerpos de agua.

En lugares donde la única opción es descargar directamente las aguas residuales directamente a los cuerpos de agua, se han aplicado tratamientos mediante el almacenamiento temporal de las aguas en lagunas, antes de ser descargadas al ambiente, en estas lagunas muchos procesos como sedimentación, digestión anaerobia, oxidación y ciclos de nitrógeno y azufre contribuyen a los procesos de purificación.

En regiones tropicales, las lagunas de oxidación o tratamientos primarios son las técnicas más factibles de aplicar, debido a que otros sistemas de purificación son caros y difícil de mantener. Los sistemas de lagunajes son diseñados y construidos simulando las condiciones naturales para intensificar los procesos de purificación.

En la ciudad de León antes de la década de los 70, todas las aguas residuales originadas por la ciudad eran vertidas directamente sin ningún tratamiento al Río Chiquito que atraviesa a la ciudad por la parte sur, las aguas de este río desembocan en una zona pantanosa aledaña al sector del balneario Las Peñitas, dichas áreas pantanosas han sido tradicionalmente utilizadas por pobladores locales para la extracción de punches (*Ucides occidentalis*) y conchas (*Anadara spp*), por lo que es de suponer el impacto que sobre dicha fauna pueden tener las aguas residuales, si el sistema no es capaz de depurar las aguas contaminadas que le están llegando, además de esta situación, en la medida que la población de la ciudad de León aumentaba, también se incrementaba la cantidad de aguas residuales, los desechos vertidos por las tenerías, jaboneras y granjas porcinas, los despales en la cuenca natural y la sobreexplotación de los acuíferos entre otros, hicieron insostenible la capacidad de autodepuración del río enfermándolo al punto de ser convertido en una cloaca.

Ante la grave situación de deterioro ocasionado al sistema ribereño se han venido implementando una serie de acciones tendientes a limpiar el río tales como: programas de reforestación, limpieza permanente, reubicación de pequeños teneros fuera del área urbana, aplicación de normas de vertidos para las grandes tenerías y aumento en la red de alcantarillado sanitario que permita verter las aguas residuales en lagunas de tratamientos ubicadas fuera de la ciudad, para posteriormente ser descargadas al río.

Luego de una valoración sobre la efectividad de las lagunas de oxidación que actualmente se encuentran en funcionamiento se llegó a la conclusión de que las aguas que descargaban al río no cumplían con las normas de vertidos, por lo que se hicieron algunos estudios para aumentar el área de lagunaje e implementar un sistema de tratamiento utilizando plantas acuáticas (Macrófitas) y determinar el sistema apropiado que permita bajar la carga contaminante. Es bajo esta perspectiva que se implementa en la ciudad de León el proyecto Aplicación de plantas macrofitas en el tratamiento de aguas residuales en las instalaciones de El Cocal, bajo el financiamiento de la alcaldía de Utrecht Holanda y en el que participaron la Universidad de Delft, Holanda, la Universidad de Ingeniería de Managua, la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua – León, la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado de León (ENACAL) y la Alcaldía de León. Este proyecto contempló el diseño y construcción del sistema de lagunaje, el monitoreo sobre los sistemas de estudio y la investigación sobre especies vegetales locales que potencialmente pueden ser utilizadas en el proyecto.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la efectividad de los sistemas de tratamientos de aguas residuales en la remoción de carga académica, nutrientes y Coliformes fecales, utilizando plantas acuáticas emergentes y flotantes.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

#### **Lemna minor y Phragmites australis**

Establecer plantaciones de Lemnáceas y Phragmites en lagunas de tratamiento

Evaluar densidades óptimas de siembra en condiciones de aguas residuales.

Valorar la efectividad de Lemnáceas y Phragmites en la remoción de carga orgánica, Coliformes fecales y contaminantes.

#### **Pistia striatiotes y Spirodela Polyrhiza**

Estimar el incremento en porcentaje de cobertura de las especies en condiciones de aguas residuales.

Estimar biomasa y fijación de elementos en condiciones de aguas residuales

Conocer la biodiversidad asociada a Spirodela y Pistia en condiciones de aguas residuales.

### 3. MARCO REFERENCIAL

#### 3.1 MACROFITAS

Bajo el concepto Macrofitas o plantas acuáticas se designan a todas aquellas plantas herbáceas que crecen en sitios con agua o humedad permanente durante gran parte del año, siendo esta condición indispensable para llevar a cabo todas las actividades relacionadas con su crecimiento y reproducción. De acuerdo a la condición de humedad presente en el sistema podemos encontrar algunos tipos o formas biológicas adaptadas a esas condiciones.

**Plantas Emergentes:** Son aquellas plantas que crecen en sitios con alta humedad, pero la profundidad del agua les permite anclarse al sustrato y emerger el sistema de vástagos por arriba de la superficie del agua, el carácter más importante en este tipo de plantas es la situación de enraizamiento. Dentro de este tipo de plantas es común encontrar algunas especies de malezas conocidas como: calíguates, juncos, carrizos, platanillos, ninfas y hasta el bambú.

**Plantas Flotantes.** En esta categoría se incluyen aquellas especies que generalmente se encuentran creciendo sobre la superficie del agua, pero que también ocasionalmente pueden sus raíces anclarse al sustrato, sobre todo cuando los niveles de agua pueden bajar drásticamente, dentro de esta categoría se incluyen especies bien conocidas por ser consideradas verdaderos problemas en sistemas acuáticos, como son: lirios de agua, lechugas, lentejas y helechos entre otras.

**Plantas sumergidas:** Este grupo de plantas dentro de las plantas acuáticas tal vez sean las menos conocidas, ya que la mayor parte del tiempo pasan sumergidas y no son perceptibles mientras no crezcan en abundancia o sus estructuras reproductoras las delaten, dentro de este grupo de plantas podemos mencionar algunas especies comunes en nuestros sistemas acuáticos como son las elodeas y algunas otras plantas menos comunes como representantes de la familia Hydrocharitaceae y Lentibulariaceae. Estas especies desde el punto de vista de la dominancia que pueden presentar en los cuerpos de agua, se ven en desventajas en aquellos cuerpos de agua que tienen muchos sedimentos en suspensión o por la presencia de plantas flotantes y emergentes que interceptan la mayor parte de radiación solar que es necesaria para los procesos fotosintéticos, siendo estas plantas comunes en aguas someras o aguas muy limpia desde el punto de vista de la presencia de plantas o sedimentos.

Algunas adaptaciones morfológicas de las plantas acuáticas son la reducción de cutícula, estomas, y tejidos de sostén y por otro lado han aumentado la cantidad de tejido esponjoso (aerenquima), que les permite mantenerse flotando y transportar los gases desde las raíces a través del tejido vascular hacia la atmósfera, proveyendo una zona radicular aireada, se ha estimado que el 70% de las plantas acuáticas está ocupado por aire (Roldan, 1992).

Las lenticelas o pequeñas aberturas en los tallos de las plantas sobre el agua, provocan un punto de entrada de oxígeno atmosférico dentro del aerenquima, según Brix 1990 (en Kadlec, 1996) en algunos casos este oxígeno puede ser suficiente solamente para el sistema radicular y no resulta en una aireación adicional del sedimento, mientras que en otros casos parece haber sobrante de oxígeno, el que es liberado para las poblaciones microbianas que se encuentran en la zona radicular.

Otra adaptación es la formación de raíces adventicias a partir del tejido de tallos sumergidos, según Koxlowski, 1984 (en Kadlec, 1996), estas raíces tienen el potencial de extraer oxígeno y nutrientes del agua donde los gases y nutrientes pueden estar más disponible que en las zonas de suelo anóxicas. Muchas hidrófitas pueden resistir niveles bajos de anoxia en la zona radicular. Las plantas enraizadas toman los nutrientes del suelo, pero la mayoría de las flotantes y sumergidas los toman de la columna de agua.

Debido al rápido crecimiento de las plantas acuáticas, acumulan gran cantidad de biomasa que al descomponerse liberan iones que a su vez reutilizados para producir más biomasa (Roldan, 1992).

Importancia. Las plantas acuáticas en nuestro medio revisten importancia en actividades agrícola sobre todo en lo referente al cultivo de arroz, en embalses que son utilizados para la generación de energía eléctrica, como el lago de Apanás, en sistemas lacustrinos afectando las vías de navegación y hasta en la actividad camaronera interfiriendo en las actividades de cosecha.

### **3.2 HUMEDALES**

Los humedales son áreas terrestres que pasan durante una parte del año inundadas, debido a su posición en el terreno. Los humedales también son llamados suampos, marismas, ciénagas, pantanos o ñangas dependiendo de la existencia de agua, de plantas y de las condiciones geográficas locales. Los humedales son considerados zonas de transición entre sistemas terrestres y sistemas acuáticos, se pueden encontrar en depresiones geográficas, en suelos de baja permeabilidad y en terrenos pobremente drenados. Un aspecto importante es de que el agua altera las propiedades del suelo por los cambios físico-químicos y biológicos que ocurren durante la inundación y que excluye a plantas que no pueden crecer en otros suelos (Kadlec, 1996).

El término describe un espectro diverso de sistemas ecológicos que van desde áreas que no están inundadas a áreas inundadas todo el tiempo. Áreas no inundadas pueden ser clasificadas como humedal por las condiciones saturadas del suelo, donde el agua bajo la superficie está presente durante una parte de la estación típica de crecimiento de las plantas.

Los humedales que están inundados profundamente tienen una relación imperceptible con los sistemas acuáticos, donde en estos la profundidad del agua excede los límites de crecimiento de la vegetación emergente o sub-emergente. El

rango de profundidad del agua excede los límites de crecimiento de la vegetación emergente o sub-emergente. El rango de profundidad que separa a los humedales de los ambientes acuáticos es de 1-2 m. El atributo más consistente de un humedal es la presencia de agua durante algún período o todo el año. Los humedales están en suelos saturados de agua o donde la profundidad del agua no permiten la presencia de plantas que dependen de suelos aeróbicos para su establecimiento, están dominados por plantas adaptadas a crecer en inundaciones estacionales o permanentes con condiciones anaerobias o bajas en oxígeno, suelos saturado por al menos 7-30 días al año, período en que el oxígeno y otras condiciones del suelo no limitan el crecimiento de las plantas (Kadlec, 1996).

### 3.2.1 Suelo

De acuerdo con Armstrong 1978 (en Kadlec.1996) los suelos de los humedales se caracterizan por la ausencia de oxígeno y la difusión de este elemento en suelos inundados es 10000 veces más bajos que en suelos aeróbicos. Las inundaciones continuas o estacionales, combinadas con grandes cantidades de materia orgánica originada en estos sistemas acumulados por la baja actividad de descomposición, resultan en una anaerobiosis perpetua en muchos humedales.

La acumulación de materia mineral que llega a los humedales producto de las lluvias, agua de río o agua residuales es a menudo baja, el agua proveniente de tratamiento con plantas pueden tener menos de 10 mg/l de materia en suspensión, si todo es inorgánico y no degradable puede representar unos pocos milímetros de grosor en décadas. La acumulación de turba y basura en estos sistemas es un proceso originado por la caída de hojas y muerte de tallos de macrofitas emergentes y flotantes, la cantidad puede ser variable y dependerá de las especies de plantas y el sitio geográfico en que se encuentre el humedal (Kadlec, 1996).

## 3.3 HUMEDALES EN EL PACIFICO DE NICARAGUA

Aunque la región del Pacífico de Nicaragua es una de las más secas, es bastante común encontrar humedales o sitios de inundación debido a la topografía plana de la región y al poco caudal que tienen los ríos que desembocan en el litoral, dando lugar a la formación de: Manglares en los que sobresalen especies arbóreas conocidas comúnmente como mangle rojo (*Rhizophora spp*), palo de sal (*Avicennia spp*), conito (*Conocarpus erecta*) ajelí o mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), humedales en las cercanías de los grandes lagos en los que se puede encontrar una flora muy variada conformada con especies arbóreas y muchas herbáceas entre las que sobresalen gramíneas y ciperáceas y también se pueden formar algunos humedales por el desborde de ríos, que pueden dar lugar a la formación de lagunetas que pueden permanecer con agua hasta bien entrada la estación seca o volverse permanentes, en estos sitios es común encontrar especies arbóreas como los mangles de río, coyolitos entre otras.

### **3.4 AGUAS RESIDUALES**

Las aguas de desechos municipales consisten en la combinación de aguas de uso doméstico que proceden de oficinas, restaurantes, uso doméstico y pequeñas industrias. Las aguas residuales domésticas incluyen una mezcla del 33% de jabones y sólidos, 20% de orina, 18% de desechos de comida, 16% de heces fecales y el 7% de papel (Metcalf y Heddy, 1991) y el remanente 6% de sólidos en las aguas domésticas se origina en el suministro de papel.

Las aguas de tormenta o lluvias son intermitentes, las concentraciones dependen de la duración y frecuencia de las lluvias y normalmente son mezclas de sólidos, nutrientes, minerales y sales disueltas (Kadlec, 1996).

#### **3.4.1 Tratamiento de Aguas Residuales**

##### **3.4.1.1. Tratamiento convencional**

Los tratamientos convencionales son una combinación de procesos químicos y biológicos. Muchos de estos procesos se encuentran en la naturaleza y pueden funcionar dentro de una variedad de esquemas de tratamientos.

##### **3.4.1.2. Tratamiento primario**

Este tratamiento es considerado como el más importante ya que prepara las condiciones para la aplicación de técnicas de tratamiento que incluyen tratamientos biológicos. Este tratamiento consiste de filtrado, remoción de arena y sedimentación primaria.

El filtrado y la remoción de arena pueden ser considerados como tratamiento preliminar, porque remueve sólidos y partículas minerales, también remueve el filtrado de grandes partículas de sólidos que pueden interferir con otros procesos o técnicas, el filtrado puede hacerse mediante rejillas o rejas, que pueden retener sólidos orgánicos e inorgánicos en suspensión, como semillas, telas, pedazos de madera, etc y las partículas minerales se pueden remover mediante desarenadores.

La sedimentación primaria es usada para reducir la alta concentración de sólidos totales suspendidos. La sedimentación primaria incorpora típicamente diques para la remoción de materiales flotantes llamadas natas (papel, pelo, aceite, plástico, etc.) estos son sacados fuera e incinerados.

##### **3.4.1.3 Tratamiento secundario**

Consiste en la remoción de sólidos y materia orgánica disuelta a través de la actividad microbiológica, este es esencialmente un proceso biológico en el que bacterias y hongos son estimulados para crecer en lagunas, estanques, pilas o sobre superficies determinadas. La principal tecnología para el tratamiento

secundario son lagunas facultativas, lagunas aeróbicas, fosas de aireación con reciclamiento de sólidos (lodos activados), filtros trampas y reactores biológicos (Roldan, 1992).

### **3.5 IMPORTANCIA DE HUMEDALES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS**

Los humedales dadas las características tienen propiedades especiales que los hacen importantes y son considerados como uno de los ecosistemas de mayor productividad. Estos ecosistemas tienen la capacidad de transformar muchos de los contaminantes comunes que se encuentran en desechos de aguas convencionales, y transformarlos en productos inofensivos o nutrientes esenciales que pueden ser usados para la actividad biológica. Estas transformaciones son hechas en virtud de la energía del sol, viento, plantas y animales (Kadlec, 1996). Estos beneficios de los humedales pueden ser aprovechados para dar tratamiento a las aguas residuales que se vierten producto de las actividades domésticas y en caso de la no existencia de este tipo de ecosistema, se pueden simular mediante construcción a bajo costo, humedales artificiales que puedan dar respuesta a las necesidades de tratamientos.

Los pantanos naturales son efectivos como proceso de tratamiento de aguas residuales por varias razones: 1) Soportan una población grande y diversa de bacterias que crecen en raíces y/o tallos sumergidos y tienen una importancia especial en la eliminación de DBO<sub>5</sub> en las aguas residuales, 2) Las condiciones tranquilas propician la sedimentación de sólidos de aguas residuales 3) El potencial de absorción y filtración de raíces y tallos de las plantas acuáticas. 4) La capacidad de intercambio absorción de iones de los sedimentos naturales de los pantanos y 5) El efecto mitigante que las plantas mismas tienen en las fuerzas climáticas (EPA, 1988).

Los humedales son sistemas de tratamiento en que los gastos de operación y mantenimiento no son tan costosos ya que en estos sistemas el gasto de energía es mínimo y además pueden servir como un filtro verde entre las aguas residuales y aguas superficiales receptoras, además de que las aguas que son filtradas pueden servir para usos múltiples. En sistemas acuáticos las aguas residuales son tratadas mediante el metabolismo bacteriano y la sedimentación física. Las plantas acuáticas propician en realidad poco tratamiento efectivo a las aguas residuales. Su función es generalmente soportar componentes del ambiente acuático que mejoran la capacidad y/o confiabilidad del tratamiento de aguas residuales de ese ambiente (EPA, 1988).

Se han desarrollado una multitud de tecnologías para tratar y purificar el agua antes de que estas sean descargadas a los cuerpos receptores, pero muchas de estas tecnologías requieren de altos costos por los materiales e insumos que se requieren para su construcción. Los ambientalistas actualmente velan por la preservación de los humedales sobre la base de la estética y los valores de vida silvestre, esto resulta en la protección de algunas áreas significativas de humedales, los humedales pueden ser usados a bajo costo para tratamiento de aguas de pequeñas y grandes ciudades y el agua tratada por medio

de ellos puede ser reutilizada para el riego de plantaciones forestales. Los humedales que son usados para mejorar la calidad de agua, cuando se hacen tomando en consideración la conservación del medio ambiente, constituyen una forma de conservación (Kadlec, 1996).

### **3.6 TRATAMIENTOS MEDIANTE SISTEMAS NATURALES**

En estos sistemas ocurren naturalmente las transformaciones de los polucionantes. En los tratamientos convencionales ocurren encerrados en concreto, plástico o pilas, en las que pueden condicionarles aireación, mezcla de compuestos químicos, todo esto porque el espacio físico es reducido comparado con los sistemas naturales. Los sistemas naturales requieren la misma energía para degradar un Kg de polucionante que los sistemas convencionales, sin embargo la fuente de energía es diferente: sol, viento, energía química libre, agua superficial y energía potencial almacenada en biomasa y el suelo.

Sistema de infiltración local. Son sistemas que necesitan bastante áreas para su implementación, necesitan suelo con buen drenaje, insaturados para infiltración directa y la asimilación de polucionantes o un medio para enraizar plantas que pueden filtrar sólidos y absorber contaminantes, que luego son removidos mediante cosechas de las plantas.

Sistemas de flujo superficial. Es aplicable en suelos con baja permeabilidad para restringir infiltración y tener una superficie para descarga, antes debe de ser aplicado un tratamiento primarios o secundarios, son necesarias terrazas o tuberías que permitan la descarga por gravedad, el agua es absorbida por plantas y suelo (Kadlec, 1996).

### **3.7 SISTEMAS ACUÁTICOS Y HUMEDALES**

#### **3.7.1 Lagunas de Estabilización**

En este tipo de tratamiento, el oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica, es suministrado por la actividad fotosintética de las algas, estos sistemas requieren de grandes áreas, ya que el período de retención es largo, para que exista el tiempo necesario para la acción descomponedora de los microorganismos (Roldan, 1992).

Son diseñados para mantener una capa superficial aeróbica sobre una capa anaeróbica. La aireación natural ocurre por la combinación de agentes atmosféricos, la concentración de oxígeno puede ser altamente variable en el día y en períodos estacionales las excesivas condiciones anaeróbicas son controladas por la limitación de DBO. Con un buen diseño y manejo cuidadoso son efectivas para reducir la DBO, sin embargo la dependencia de crecimiento de algas tiene una limitante fundamental como es bajar la concentración de sólidos suspendidos. Tienen potencialidad para remover nitrógeno total pero tienen limitaciones para remover concentraciones de fósforo.

### 3.7.2 Sistemas con plantas acuáticas flotantes:

Son sistemas de lagunas que pueden ser inoculados con plantas acuáticas flotantes, las especies que más ampliamente se han usado, pertenecen a los géneros Eichhornia, Lemna, Spirodela y Wolffiella. Estos sistemas funcionan diferentes que las facultativas ya que reducen la difusión de oxígeno atmosférico y los procesos aeróbicos están restringidos a la zona radicular de las plantas, la mayor parte de la columna de agua es anaeróbica, la reducción de la concentración de oxígeno depende de la carga orgánica.

En estos sistemas ocurren tres mecanismos básicos 1) Metabolismo de microbios facultativos sobre el sistema radicular y detritos en el fondo de la laguna. 2) Sedimentación de sólidos presentes en el agua y por muerte de plantas 3) Incorporación de nutrientes en las plantas vivas y la cosecha subsecuente de las plantas. Estos sistemas son efectivos en reducir la DBO y sólidos suspendidos, los nitratos pueden ser removidos por desnitrificación.

La profundidad típica de las lagunas es de 0.4 – 1.8 m estos sistemas pueden ser usados para mejorar el tratamiento secundario con carga de DBO por debajo de 100 kg/ha/día. Cuando son usadas para mejorar el tratamiento y remover nutrientes orgánicos, la carga puede ser menor de 35 Kg/ha/día. La carga hidráulica está en el rango de 2 a 15 cm/día (0.7 a 5 ha/ 1000 m<sup>3</sup> / día).

Limitantes: Dependen de pocas especies y son susceptibles a catástrofes, Lemna es sensible a plagas, pero también puede morir en condiciones de verano (altas temperaturas), cuando la cobertura es afectada el sistema puede ser restablecido en pocas semanas o meses, dependiendo de la severidad de la afectación (Kadlec, 1996).

### 3.7.3 Sistemas de Humedales

Utilizan plantas enraizadas tolerantes al agua y suelos saturados, los tres tipos básicos son: Humedales naturales, Humedales de flujo superficial y humedales de flujo subsuperficial. Los humedales artificiales imitan las condiciones de humedad natural, pueden ser usados para tratamientos primarios o secundarios y para varios tipos de aguas residuales.

Los de flujo superficial están plantados por una variedad de especies y tienen profundidades de menos de 0.4 m, áreas abiertas con agua pueden ser incorporadas en el diseño para optimizar la hidráulica y permitir el hábitat de vida silvestre, la carga orgánica está entre 0.4 cm/día (2.5 –25 ha/1000m<sup>3</sup>/día) en humedales naturales y 0.7-5.0 cm/día (2-14 ha/1000 m<sup>3</sup>/ día) en sistemas de flujo superficial construidos (Kadlec, 1996).

El sistema de flujos subsuperficial usa una cama de grava como sustrato para el enraizamiento de plantas, el agua pretratada fluye por gravedad horizontalmente sobre la grava, entrando en contacto con una mezcla de microorganismos facultativos que viven en asociación con el sustrato y las raíces

de las plantas, la cama de grava tiene una altura de menos de 0.6 m (Kadlec, 1996) (Este tipo de tratamiento actualmente se está implementando de manera limitada en la ciudad de Masaya). Las especies comúnmente usadas pertenecen a los géneros Phragmites, Typha, Scirpus. Algo de oxígeno entra al sustrato por difusión atmosférica y a través de las plantas (raíces) resultando una mezcla de zona aerobia y anaerobia. La carga orgánica está en el rango de 2-20 cm/día (0.5 ha/1000 m<sup>3</sup>/día).

Los humedales son exitosos en la DBO, sólidos suspendidos, N y P, metales, orgánicos y patógenos, dependiendo de los pretratamientos y carga orgánica. La principal dificultad es mantener las condiciones de suelo parcialmente aireados.

Las macrofitas emergentes modifican la textura del suelo y conductividad hidráulica por el crecimiento de raíces y rizomas, estas estructuras sirven inicialmente para incrementar la difusión gaseosa dentro y fuera de los sedimentos. Sulfato de hidrógeno, CO<sub>2</sub> y metano regresan a la atmósfera a través de las plantas. La capa de suelo que soporta a las macrofitas es de 20-30 cm, el rango de biomasa es de 1000-2000 gr/m<sup>2</sup>, esto es de menos del 1% de la superficie del suelo, pero muy importante para las condiciones físico químicas del suelo.

Se estiman para los humedales aproximadamente 6700 especies obligadas y facultativas, ubicadas en 42 familias de dicotiledóneas, 30 de monocotiledóneas y 6 de pteridofitas. Las especies que se reportan como utilizadas en los diferentes sistemas de humedales y que se describen para la flora nacional se resumen en el Cuadro 1 (Anexos) reportado por (Kadlec, 1996).

El interés de los sistemas acuáticos en los tratamientos de aguas residuales, puede atribuirse a tres factores básicos. 1) Reconocimiento de las funciones de tratamientos naturales de los sistemas de plantas acuáticas y pantanos como de amortiguamiento de nutrientes y zonas reguladoras. 2) En el caso de pantanos, beneficios estéticos, fauna silvestre y otros beneficios ambientales relacionados con la preservación y mejoramiento de pantanos 3) Los altos costos de construcción y operación de los sistemas convencionales (EPA 1988).

### **3.8 FUNCIONES DE LAS PLANTAS ACUATICAS EN SISTEMAS DE TRATAMIENTOS**

Las raíces y/o tallos en la columna de agua proporcionan superficie en la que crecen las bacterias y son medios para filtración y absorción de sólidos. Los tallos y hojas en o arriba de la superficie del agua permiten atenuar la luz del sol y así poder prevenir el crecimiento de algas, además de reducir los efectos del viento en el agua (EPA, 1998).

La composición mineral de las plantas es importante conocerla ya que la fijación y liberación de compuestos químicos por la planta pueden cambiar la

calidad del agua. Reddy y DeBusk (1987, citado por Kadlec, 1998), muestran un resumen de la capacidad de remoción y fijación de elementos e incorporación de biomasa de algunas especies utilizadas en los sistemas de tratamientos.

Cuadro 1. Biomasa y fijación de elementos en tres macrofitas utilizadas en tratamientos de aguas residuales en sistemas de humedales. (Kadlec. 1998).

Especies de	Biomasa		Nitrógeno		Fósforo	
	Producción (Kg/ha)	Productividad (Kg/ha/año)	Producción (Kg/ha)	Fijación (kg/ha/año)	Producción (Kg/ha)	Fijación (Kg/ha/año)
Phragmites	6000-35000	10000-60000	140-430	225	14-53	35
Lemna	1300	6000-26000	4-50	350-1200	1-16	116-400
Pistia	6000-10500	50000-80000	90-250	1350-5110	20-57	300-1110

Kvet 1995. Reporta los siguientes resultados promedios sobre la fijación de elementos por parte de Phragmites en cuatro lagunas.

Cuadro 2. Porcentaje de elementos en diferentes estructuras de *Phragmites australis* creciendo a la entrada y salida de lagunas de tratamiento de aguas (Kvet, 1995).

Elementos	Entrada		Salida	
	Hojas	Tallos	Hojas	Tallos
Nitrógeno	3.75	2.01	3.63	1.75
Fósforo	0.24	0.22	0.26	0.21
Potasio	0.20	1.92	2.30	2.30

Apaza (1994), reporta para Lemnáceas porcentajes de remoción de nutrientes de entre 93-96% para nitratos y nitritos y entre 69 y 87% de fosfatos, con reporte de 15 a 25% de proteína en peso seco.

La identificación de algas es raramente requerida para el diseño de los tratamientos, en términos de volumen, las diatomeas son muy importantes en los humedales al igual que las clorofitas y cianofitas. Las euglenofitas son importantes cuando aumentan las concentraciones de carbono orgánico, son importantes en la fijación de elementos, inmovilización y liberación gradual de los mismos. El contenido de clorofila es comúnmente utilizado como una medida de densidad y la medida de feofitina es una medida sobre el remanente de algas. Cuando las algas son sombreadas por macrofitas juegan un papel menos importante en el flujo de energía (Margalef, 1983).

### 3.9 TAXONOMIA Y DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES ACUATICAS UTILIZADAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

#### 3.9.1 Araceae

##### 3.9.1.1. *Pistia stratiotes* L.

Acuáticas flotantes, acaulescentes; tallos produciendo estolones con nuevas rosetas de hojas en el ápice; plantas monoicas. Hojas arrosetadas, más o menos abovadas, 5-17 cm de largo y 2-7 cm de ancho, redondeadas o emarginadas en el ápice, cuneadas en la base, gruesas y esponjosas, pubescentes en ambas superficies con tricomas cortos y de pocas células, nervios 5-15 pares, paralelos, pecíolos cortos. Inflorescencias pequeñas, inconspicuas, subsésiles, dispuestas entre las hojas; espata blanca, contraída en el medio, los márgenes laterales connados hasta la mitad; espádice más corto que la espata y adnado a ésta 2/3 partes de su longitud, con 1 flor pistilada y 2-8 flores estaminadas, ambas desnudas y dispuestas en verticilos. Semillas cilíndricas, diminutas.

#### 3.9.2. Lemnaceae

##### 3.9.2.1. Descripción

Anuales taloides y reducidas, flotando libremente en la superficie del agua o ligeramente debajo de ésta, las plantas jóvenes permaneciendo inicialmente unidas al progenitor mediante estípites cortos; monoicas. Frondes carnosas a membranáceas, subglobulares a planas, orbiculares a lineares, simétricas o asimétricas, 0.5-8 mm de largo y 0.54 mm de ancho, redondeada a puntiagudas en los ápices, con 0-numerosos nervios y con 0-3 pápulas en la haz, con o sin puntos prominentes; raíces 0- numerosas, no ramificadas, envainadas , las vainas aladas o lisas; profilo (escama ventral) presente o ausente, si presente entonces penetrado por 1-5 raíces. Reproducción mayormente vegetativa mediante germinación desde 1-2 marsupios pero más abundantes y diversas en los trópicos; 3 géneros y 6 especies conocidos de Nicaragua; un cuarto género, *Wolffia*, se encuentra en países vecinos y es muy probable que se encuentre en Nicaragua (Davenport, en preparación).

Las hojas de las Lemnáceas son llamadas frondes, con tejidos poco diferenciados, se puede observar una reducción en el nivel de organización dentro de la familia (*Spirodela*- *Lemna* *Wolffiella*- *Wolffia*) (Landolt, 1986).

En la interpretación del fronde se han propuesto algunas teorías.

- 1) Corresponde a una hoja. Esto contradice el hecho de que las hojas en general no son capaces de originar nuevas hojas y flores.
- 2) Corresponde a una raíz de forma similar a hoja, sin embargo no hay tejidos meristemáticos al final del fronde.

- 3) Consiste de una yema en sección basal y en la selección distal de una hoja. El fronde corresponde a un filodium con la sección basal formando un eje ancho (plano) y en la sección distal formando un pecíolo (Landolt, 1986).

### 3.9.2.2. Crecimiento

El crecimiento de las Lemnáceas ocurre por gemación dentro de cavidades en la base del fronde. Los frondes hijos de Lemna son formados en cada saco cuando el fronde madre alcanza de 0.05 mm de longitud, son formados por tejidos meristemáticos en el nudo o por arriba del fronde madre. Sin embargo en Spirodela los hijos se originan lateralmente.

*Lemna minor* puede producir hasta 15 hijos, se han reportado 17-20 en *L. aequinoctialis*, los frondes hijos se separan de la planta madre tan pronto han madurado o pueden permanecer unidos por varias generaciones y formar pequeños grupos en Lemna y Spirodela. El tamaño de los frondes en Spirodela puede llegar a 1cm, el tamaño y forma son dependiente de las condiciones externas, pero también pueden haber diferencias genéticas entre clones.

Las raíces están restringidas a Lemna y Spirodela, no hay ramificaciones y no existen los pelos absorbentes, el número de raíces en Spirodela depende de factores externos y características genéticas, pueden haber hasta 21, en ciertas condiciones se han observado hasta 12. Lemna solo tiene 1. *L. aequinoctialis* puede llegar a tener 2. el diámetro en *L. minor* fue medido a 0.15-0.2 mm. Las raíces de Lemna y Spirodela pueden tener entre 2.5 - 4 cm de largo, la longitud también depende de factores externos.

Las raíces de Lemna y Spirodela tienen cloroplastos y granos de almidón, expuestas a la luz pueden fotosintetizar. Las raíces de las Lemnáceas no son esencialmente para la absorción de nutrientes y agua, según Landolt (1986), esto fue demostrado tempranamente por Gasparrini, las raíces de Spirodela son más eficientes absorbiendo y transportando nutrientes que las de Lemna.

Probablemente la función más importante de las raíces de Lemnáceas sea como órgano de estabilización. Uno de los peligros para las Lemnáceas es la posibilidad de estar a la deriva por el viento o movimientos del agua, los frondes también pueden enredarse o sobreponerse entre ellos mismos y bloquear la luz, si un fronde es volteado, se le dificultará obtener CO<sub>2</sub> para la asimilación. Para estos problemas hay estrategias para estabilizar el fronde, en ese sentido las raíces evitan que los frondes se vuelquen, también la cutícula hidrofóbica de Spirodela y Lemna dificultan que los frondes se vuelquen.

Encontrar flores es difícil por el tamaño de los frondes y más raro encontrarla en Spirodela. La ocurrencia de la floración no puede ser explicada satisfactoriamente, ya que intervienen muchos factores ecológicos, no se reportan individuos con flores en el material centroamericano de Spirodela y Lemna minor (Landolft, 1986).

### 3.9.2.3. Distribución

Spirodela está distribuida por todo el mundo, excepto este y parte sur de América del Sur y algunas islas. En Nicaragua reportada de Jinotega aunque sin localidad exacta.

*L. minor*. nativa posiblemente de zonas frías, puede ser de Norteamérica, Europa, África, Este de Asia, es fácilmente confundida con *L. aequinoctialis*. Esta última se distribuye en zonas calientes, introducida en zonas templadas. El género más primitivo es Spirodela, el menos primitivo Wolffia, aunque algunos otros autores opinan lo contrario.

### 3.9.2.4. Taxonomía

Para las Lemnáceas se consideran dos subfamilias: Lemnoidea y Wolfoidea, con 4 géneros y 34 especies (Landolt, 1986).

- 1. Frondes con 2 numerosas raíces..... Spirodela
- 1. Frondes con 0-1 raíz.....
- 2. Frondes con 1 raíz..... Lemna
- 2. Frondes sin raíces
- 3. Frondes carnosos, subglobulares.....Wolffia
- 3. Frondes membranazas, planas.....Wolffiella

En el presente trabajo se considera a Lemna minor como objeto de estudio, en la flora de Nicaragua no aparece reportada, pero dada las características del material vegetal con el que se trabajó nos inclina a considerarla, en el trabajo de Landolt (1986) se ubican a *L. minor* y *L. aequinoctialis* en dos secciones diferentes en base a las características de las raíces, y también señala que pueden ser fácilmente confundidas. *L. minor* en la sección Lemna y a *L. aequinoctialis* en la sección Alatae. Siendo posible la coexistencia de las dos especies.

- Vaina de la raíz no alada, punta de la raíz redondeado, raíces a menudo con más de 3 cm de diámetro, frondes con manchas rojas o puntos de antocianinas.

Sección Lemna

- Vaina de la raíz alada en la base, punta de la raíz generalmente aguda, raíces menos de 3 cm de largo, fronde sin puntos rojos.

Sección Alatae

*Spirodela polyrhiza* (L) Schleid

Fronde 3-5 mm de largo y 3-4 mm de ancho, con puntos prominentes en la superficie dorsal; raíces 5-10 , perfilo penetrado por 1 raíz.

Poco común, en lagunas poco profundas y áreas pantanosas, en el Lago de Apanás, Jinotega; 1000 m , cosmopolita (Croat, en preparación).

3.9.3. Poaceae

3.9.3.1. *Phragmites australis*

*Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steud.

Perennes rizomatosas, coloniales. Rizomas 1-2 cm de ancho, abundantes, longitudinalmente estriados, fistulosos; tallos altos, 2-8 m de largo y 1-2 cm de ancho, fistulosos, robustos, sin ramificar excepto cuando lesionados; plantas hermafroditas o polígamas. Hojas caulinares; vainas generalmente traslapadas, glabras excepto por los tricomas auriculares; la lígula es una membrana ciliada; láminas anchamente lineares, 30-50 cm de largo y 1.5 – 2.5 cm de ancho, numerosas, glabras. Inflorescencia una panícula grande, terminal, solitaria, hasta 45 cm de largo, más bien densa, piramidal.

Común en estuarios marinos, costas de lagos, zona pacífica, 0-160 m; florece y fructifica en enero-agosto; se encuentra en regiones templadas del mundo, poco frecuente en los trópicos. Numerosas plantas mesoamericanas de esta especie raramente florecen, o producen sólo espiguillas estériles o rudimentarias. Género con 4 especies, ampliamente distribuido en las zonas templadas y cálidas del mundo (Pohl, en preparación).

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

#### 4.1.1. Ubicación

La ciudad de León está ubicada en la zona Nor-Occidental del país a una altura de 110 msnm, en las coordenadas geográficas 86°52'46" de longitud Oeste y 12°26'01" de latitud norte. El terreno de la ciudad es regularmente plano, bordeado al sur por el Río Chiquito y al noreste por los ríos Plantanar y Pochote.

Las lagunas de Estabilización de "El Cocal", León, se encuentran ubicadas en las coordenadas 86°53'20" de longitud Oeste y a los 12° 26'33" de latitud norte con una elevación de 75 msnm, al sureste del barrio de Sutiava, en el barrio las Brisas de Acosasco. Están bordeadas al norte y oeste por el Río Chiquito (anexo figura 1) y dan tratamiento a las aguas residuales domésticas de aproximadamente de 35,000 habitantes, que aportan a la fecha un caudal promedio de aproximadamente 55 litros por segundo.

El sistema de tratamiento fue construido por el INAA, actualmente ENACAL de León, bajo la supervisión de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Este sistema consiste en tres lagunas secundarias (A, B y C) en paralelo de 20,000 m<sup>2</sup>, las que están ubicadas en el sector sur con respecto a las lagunas existentes (anexas figura 1).

#### 4.1.2. Componentes del Sistema

El sistema de tratamiento consiste en dos lagunas facultativas primarias de 1.0 ha cada una de flujo continuo, dispuestas en serie con tres lagunas secundarias en paralelo de iguales dimensiones (nuevas), con un área total de 2.0 ha, identificadas como lagunas "A", "B" y "C" (anexas figura 1).

Las características más importantes de estas unidades de tratamiento se resumen en el cuadro 3.

Cuadro 3. Características estructurales de las lagunas de tratamiento de aguas residuales de El Cocal.

Características	Lagunas Primarias	Lagunas Secundarias
Profundidad (m)	2.5	1.5
Longitud (m)	150	130
Ancho (m)	70	53

Las lagunas “A” y “B” se subdividieron cada una en el centro por dos diques de tierra, para formar tres celdas cada una, la laguna “C” no tiene divisiones. Los diques tienen un ancho de corona de 4.0 m y la base 10 m. En los diques interiores existen compuertas, que pueden permitir o impedir el paso del agua de cada una celda a otro.

El sistema cuenta con un pretratamiento, que consiste en dos rejillas de limpieza manual ubicadas en los canales de aproximación de las lagunas primarias y una rejilla fina en canal de aproximación de las secundarias.

Las lagunas secundarias “A” y “B” se sembraron con macrofitas, con el objetivo de reducir los niveles de carga orgánica (DBO, DQO), nutrientes y coliformes fecales, para satisfacer las normas para tratamientos estándares de estas aguas a ser vertidas al cuerpo receptor y determinar la eficiencia de remoción de los diferentes sistemas de lagunas con y sin plantas.

## **4.2 EVALUACION DEL SISTEMA CON MACROFITAS**

### **4.2.1 Lagunas Experimentales**

Los primeros ensayos se realizaron en dos lagunas experimentales con las siguientes dimensiones: ancho 2 m, largo 3 m y profundidad 1.5 m (ver anexos). Estas lagunas se alimentaron con el efluente de las lagunas primarias. Para el estudio de evaluación se adaptaron dos tipos de plantas acuáticas: Lemna o lenteja de agua (planta flotante) y *Phragmites australis* o caña común (planta emergente).

#### **4.2.1.1. Phragmites:**

La siembra se realizó con diferentes estructuras vegetativas (plantas juveniles, rizomas, segmentos de cañas con dos o tres nudos), probando dos sistemas de siembra: a humedad de campo y con una lámina permanente de agua, las estructuras vegetativas fueron sembradas a una distancia de 40 cm entre plantas y 30 cm entre filas, y se evaluó sobrevivencia y crecimiento de las estructuras sembradas.

A nivel de campo en el Río Tamarindo se realizaron algunos estudios relacionados con crecimiento, condiciones en las que se desarrolla. En el Río Tamarindo León, fueron seleccionados sitios que permitieran llevar registros semanales del crecimiento en altura y producción de nudos, los sitios estaban ubicadas entre rocas, en bancos de sedimentos y dentro del agua en el sector norte del puente de dicho río, para determinar cuales eran las mejores condiciones para el crecimiento.

#### 4.2.1.2 Lemnáceas

Para estas plantas el espejo de agua de las lagunetas experimentales fue dividido en tres sectores o compartimentos de 5m<sup>2</sup> c/u (anexos), en los que se sembraron las plantas a diferentes densidades de siembra de 5,10, 15, 20, 30 y 40% respectivamente, estableciéndose 10 repeticiones para cada densidad, evaluando la velocidad de propagación en base al porcentaje del área ocupado por las plantas.

La semilla obtenida para estos ensayos provenía de la presa El Brazuelo ubicada en el camino a Salinas Grandes. El material obtenido en este sitio fue puesto a reproducirse en cubetas plásticas hasta obtener la cantidad de plantas necesarias para la siembra a las densidades previstas.

A nivel de experimentación también se realizaron estudios con otras especies flotantes como *Pistia striatiotes* y *Spirodela polirhyza* en los mismos estanques que sirvieron para los ensayos de Lemna y en condiciones naturales.

#### 4.2.2. Lagunas secundarias

El período de evaluación fue entre Mayo de 1998 a Diciembre de 1999 (aproximadamente 1 ½ años) en el que se analizaron: eficiencia de remoción de contaminantes como carga orgánica (DBO, DQO), nutrientes y Coliformes fecales, se estableció controlar el caudal afluente a las lagunas secundarias para obtener un tiempo de retención de 3, 5 y 7 días y alturas de agua de 0.60 , 0.90 y 1.20 m.

### 4.3 Cronología y Operación del sistema

De mayo de 1998 a julio de 1999, el sistema de lagunas se operó como se describe a continuación: en la laguna “A”, en las tres celdas se utilizaron tratamientos diferentes. La celda “A1” con plantas flotantes de la familia Lemnáceas, en la celda “A2” como plantas emergentes (Phragmites) y la celda “A3” funcionó como testigo. (Sin plantas) Las celdas “B1”, “B2” y B3”, en serie entre sí, con plantas emergentes.

En el período de julio – diciembre de 1999, sobre la base de los primeros resultados , el sistema fue operado de la siguiente forma: las celdas “A1”, “A2” y “A3” funcionaron como testigo, (sin plantas). Las celdas “B1”, “B2” y “B3” , en serie entre sí , como un sistema de flujo disperso (semejándolo al flujo pistón) sin plantas, para establecer comparaciones con la laguna “B” donde las celdas “B1” , “B2” y “B3”. Funcionaron también en serie entre sí con plantas emergentes . Para todos los sistemas se estableció mantener una densidad de cobertura del 80-100%.

#### 4.3.1. Control y Monitoreo de muestras

Una vez puesto en operación el sistema se ejecutó un programa de mediciones, captación y análisis de muestras, control de la cobertura vegetal, seguimiento y control de las plantas (Lemna y Phragmites), medición de caudales, análisis de la calidad del agua, mediciones in situ de oxígeno disuelto, temperatura y pH a diferentes profundidades y análisis de clorofila.

#### 4.3.2. Control de cobertura vegetal

En el sistema con plantas flotantes dada la velocidad de propagación de las mismas, se realizaron observaciones continuas sobre la evolución de la cobertura vegetal, ejecutándose cosechas de dos a tres veces por semana, para mantener la cobertura propuesta. En el sistema con plantas emergentes, dado el crecimiento lento no fue necesario ejecutar monitoreos continuos, pero si se efectuaron registros mensuales de la altura alcanzada por la plantación sobre el nivel de agua, al igual que la cobertura a intervalos de 10 metros en cada una de las celdas.

Los estudios de concentración de clorofila, se efectuaron semanalmente con muestras puntuales entre las 7.00 y 8.00 am, por un período de 5 meses continuos. La cuantificación se llevó a cabo mediante extracción, filtración y lectura espectrofotométrica de los efluentes de las lagunas primarias y secundarias.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. PHRAGMITES AUSTRALIS

#### 5.1.1. Condiciones Naturales

En los sitios en que las plantas se desarrollaban bajo el agua estas manifestaron el siguiente comportamiento: las plantas originadas por rizomas tuvieron un incremento medio de altura semanal de 19 cm con una producción media de 1.6 nudos por semana. En los rebrotes el incremento semanal en altura es de 23 cm, con una producción promedio de 2 nudos por semana (en cañas juveniles con altura inicial de 44 cm). En las plantas que se originan a partir de cañas aéreas se estima un crecimiento semanal de 21 cm con una producción promedio de 1.5 nudos por semana.

En sitios de alta humedad la situación es la siguiente: se hicieron mediciones en cañas adultas con altura inicial promedio de 143 cm, que se encontraban creciendo en las márgenes del río y las plantas experimentaron un incremento promedio semanal en altura de 11cm, con una producción de 1.5 nudos por semana, (menos crecimiento con relación a las cañas juveniles).

De acuerdo a observaciones realizadas en estos sitios las plantas pueden originar rebrotes desde una profundidad de hasta 40 cm , mostrando una alta capacidad de rebrote. En sitios en que las plantas están en contacto con el agua producen cañas con una alta capacidad de producción de yemas (semejante a estolones) , las que al entrar en contacto con el agua producen rebrotes que al ser fracturados por las corrientes originan nuevas plantas, siendo este un medio muy eficaz para la dispersión.

En una segunda etapa se continuaron con las observaciones en el sector del Río Tamarindo, se seleccionaron tres sitios para darle seguimiento al crecimiento de las plantas y se obtuvieron los siguientes resultados (Cuadro 4)

Cuadro 4. Ritmo de crecimiento en altura (cm) de *Phragmites australis* en el Río Tamarindo , León 1998-1999.

	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Incremento
Sitio 1	52.7	84.75	147.4	156.4	131.3	140.6	87.9
Sitio 2	45.9	89.25	143.8	143.8	137.1	169.8	123.9
Sitio 3	52.8	101.5	125.6	125.6	143.5	152.2	99.4
Promedio	50.5	91.8	138.9	138.9	137.3	154.2	103.7

El incremento medio mensual fue de 20.7 cm en el período seco y aunque se muestran algunos descensos en cuanto a los meses de marzo esto fue debido a problemas de herviboría. (Figura 1).

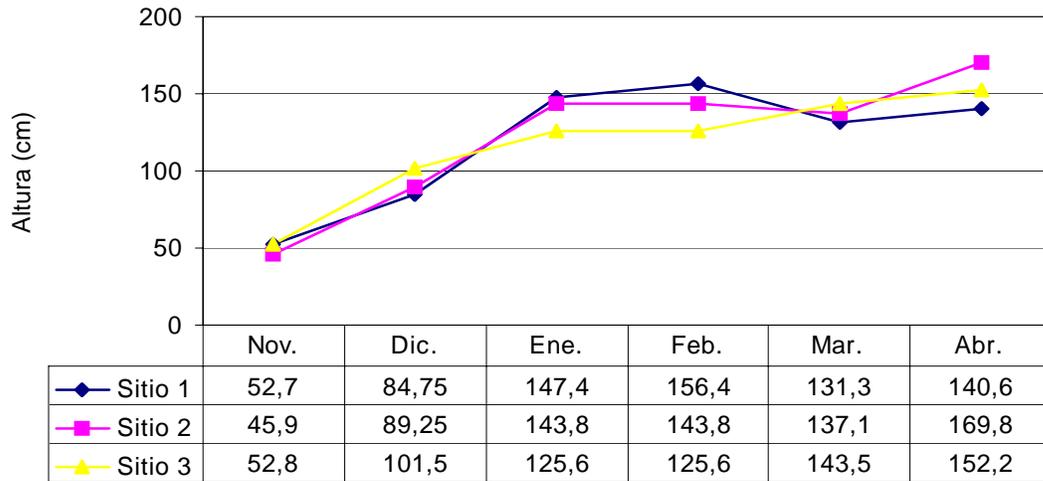


Fig. 1 Crecimiento de *Phragmites australis* en condiciones naturales.  
Río tamarinso. León 1998-99

### 5.1.2. Lagunas Experimentales

Según resultados obtenidos, a los 7 días después de la siembra de las diferentes estructuras comienzan los rebrotes, con un porcentaje de éxito de mas del 70% , alcanzando una altura promedio de 15 cm en los primeros 15 días y de aproximadamente 32 cm a los 45 días después de la siembra.

Las plantas juveniles presentan mayor éxito de sobrevivencia, en cinco semanas de observación las plantas experimentaron incrementos en altura de entre 4 y 12 cm semanal, en las plantas juveniles en 6 semanas se tiene un incremento de 66 cm con una producción de nudos de 1-2 , el proceso de formación de rebrotes se inició en la segunda semana. Las yemas sembradas se activaron a los 7 días después de la siembra.

Posterior a la emergencia de los rebrotes de las cañas se le adicionó a un sector del ensayo una lámina de agua con la finalidad de controlar la proliferación de malezas y analizar el comportamiento de las plantas, de acuerdo a ello todas las cañas que quedan sumergidas junto con sus rebrotes mueren por ahogamiento, por lo que se requiere de mucho cuidado esta operación para evitar que los rebrotes queden sumergidos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta etapa podemos considerar lo siguiente:

Las cañas utilizadas para la siembra deben de contener 2-3 nudos de tal manera que un nudo queda enterrado y dos quedan fuera para dar lugar a la formación de rebrotes, a la vez esto permite poder mantener una lámina de agua de manera permanente que impida la proliferación de malezas.

Puede ejecutarse siembra a humedad de campo después de una buena preparación de suelo, y mantener el suelo con suficiente humedad, lo que se puede lograr mediante riego con agua limpia (aspersión o por inundación) o bien con aguas residuales, esta última consideración aunque es la más barata implica algunos riesgos para el personal que estará a cargo de estas labores. Este sistema de siembra puede presentar el inconveniente de la proliferación de malezas, cuando la siembra no se ejecuta en el tiempo previsto.

Se puede ejecutar la siembra y posteriormente adicionarle una lámina permanente de agua que no cubra el último nudo de las cañas o no más de la mitad de la altura de las plantas que recién han emergido. Este sistema de siembra es muy efectivo para el control de malezas.

Cualquiera que sea el procedimiento para la siembra, el material vegetal a ser utilizado debe provenir de cañas desarrolladas de aproximadamente un año de edad y con dos o tres nudos para permitir el desarrollo del sistema radicular en el primer nudo y los restantes nudos permitirán el desarrollo de las yemas vegetativas, es de señalar que los primeros rebrotes para que sean exitosos deberán de emerger fuera del agua para evitar que se pudran y afecten la densidad de plantas.

La siembra con plantas juveniles (con sistema radicular en desarrollo) es muy efectiva pero tiene el inconveniente de la dificultad de obtención de estas plantas, lo que aumenta los costos de plantación.

### 5.1.3. Siembra en Lagunas Secundarias

Se definieron las celdas "A2", "B1", B2" y "B3" para ser sembradas con Phragmites, considerando para la siembra cañas con 2-3 nudos y en una capa de suelo de aproximadamente 20 cm, la distancia de siembra considerada para esta etapa fueron de 30 cm entre plantas y 50 cm entre filas.

Se tuvieron algunos inconvenientes durante el proceso de siembra tales como: problemas con la topografía de las celdas que no permitían mantener la humedad de campo adecuada, la utilización de agua no residual (agua de cañería) y la proliferación de malezas, (anexos, cuadro 2) como resultado de esa situación, se trató de controlar a las malezas mediante chapodas pero no fue una medida eficaz debido a que Phragmites no competía eficientemente con las malezas, se

trató de eliminarlas aplicando láminas de aguas para ahogarlas pero las ciperáceas y gramíneas dieron muestras de soportar inmersión por largos períodos.

Una vez superados los inconvenientes se procedió a la resiembra en algunas celdas, se procedió a la irrigación con aguas residuales provenientes de las lagunas primarias mediante canales de distribución, pero al final también fue notorio que los niveles no eran los adecuados para este proceso, lo que provocó el ahogamiento en algunos sectores de las celdas y la deficiencia de humedad en otros sectores, lo que no permitió un crecimiento uniforme en la plantación, en la medida que las plantas aumentaban en altura se le incrementaba el nivel de agua ya que se tenía determinado llevar la altura de agua a 60 cm.

En las lagunas de tratamiento se le dio seguimiento a la plantación cuando las plantas tenían aproximadamente 23-25 cm de altura, se seleccionaron tres sitios dentro de una de las celdas que contenía cañas. El incremento promedio en altura que pueden presentar las cañas en las lagunas de tratamiento en los meses secos noviembre – mayo, es de aproximadamente 30 cm mensual, pudiendo ser mayor en el período lluvioso, la plantación ya establecida con un sistema radicular bien desarrollado y con un buen sustrato puede incrementar el ritmo de crecimiento a situaciones parecidas en los ambientes naturales.

Cuadro 5. Incremento mensual de altura (cm) de Phragmites en las lagunas de tratamiento El Cocal, León 1998-1999

	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Incremento (cm)
Sitio 1	23	42	65	121	148	189	192	169
Sitio 2	25	43	62	106	120	193	182	156
Sitio 3	24	45	62	89	109	174	164	140
Promedio	24	43	63	105	125	185	179	155

Uno de los problemas presentados durante los primeros estados de desarrollo de la plantación es la proliferación de natas formadas por floraciones de algas (Anexos) y el desarrollo de malezas en sitios donde la lámina de agua no cubre completamente la superficie de la celda que contiene a las plantas.

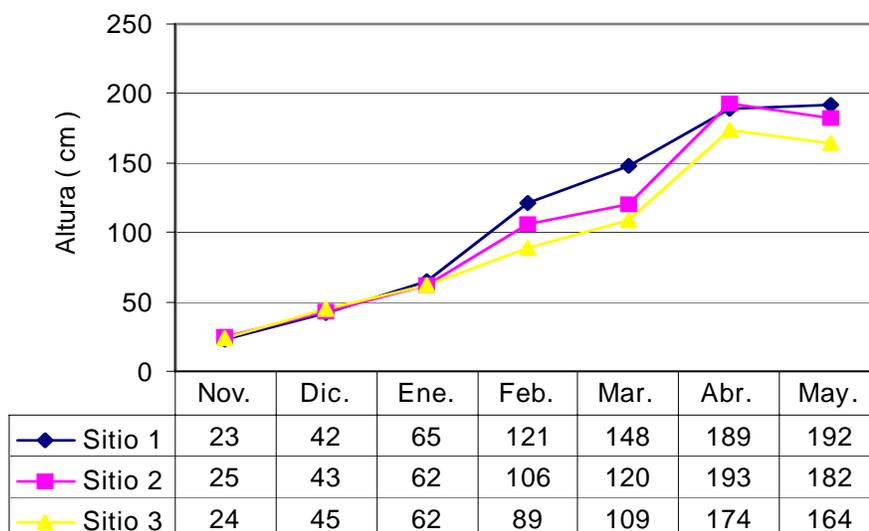


Figura 2. Crecimiento de *Phragmites australis* en lagunas de tratamientos de aguas residuales. El Cocal. León 1998-99

De acuerdo a la figura 2 podemos observar que las plantas en el período de mayores temperaturas e insolación baja el ritmo de crecimiento.

#### 5.1.3.1. Seguimiento

Para dar inicio a las valoraciones de la población de *Phragmites* para analizar su capacidad de depurar las aguas residuales provenientes de las lagunas primarias, se procedió a establecer el nivel mínimo de agua requerido (60 cm), en las celdas que contenían *Phragmites* se eliminaron las cañas que estaban creciendo sobre los taludes y se procedió a resembrar con el material procedente de la limpieza los sitios que no tenían la suficiente cobertura, posteriormente se procedió a establecer puntos de observaciones a lo largo de la celda ubicados a cada 10 cm en dirección Norte-Sur, para llevar registros sobre crecimiento de las plantas.

La celda A2 ocupada con *Phragmites* estaba funcionando como un sistema de plantas flotantes ya que la profundidad de la celda no permitió que la plantación se desarrollara con un sistema subterráneo fuerte que diera origen a cañas de buen desarrollo, sino más bien permitió que en los entrenudos que se encontraban sumergidos se desarrolla a un sistema radicular y originará yemas vegetativas, que más tarde llegarían a formar un sistema de cañas flotantes.

Las plantaciones de *Phragmites* en las lagunas de tratamiento cuando el nivel de agua es mas allá de los 60 cm y la plantación no se encuentra muy desarrollada tienden a formar todo su sistema radicular en la lámina de agua, comportándose de esa manera como una planta acuática flotante y todo los rebrotes y la formación de nuevas cañas se dan en ese sistema, no jugando de esa manera un papel muy importante el sistema radicular subterráneo en el tratamiento de las aguas, ya que la mayor parte del oxígeno traslocado por la parte

aérea se queda en la trama del sistema radicular formado en la lámina de agua. Ante esa situación se procedió a bajar el nivel de agua a 20 cm. , para permitir que el sistema radicular sumergido que se había desarrollado pudiera hacer contacto con el sustrato y las cañas tuvieran mejor desarrollo.

Como resultado de la bajada del nivel de agua, muchas cañas quedaron sobre el talud con el sistema radicular desprotegido, que se ve expuesto a condiciones desfavorables (desección), por lo que se procedió a eliminar el material que quedó sobre el talud, además de esa situación, la plantación quedo un poco sujeta a la acción del viento que provocó de que gran parte de las cañas sufrieran el efecto de “acame” , sobre todo de las cañas que se encontraban en el sector este de la celda.

Se resembró sectores de la celda que estaban un poco desprovistos de cañas con macollas de plantas obtenidas de las mismas celdas pero no dio los resultados esperados, ya que debido a la profundidad de la celda, los plantones que se dispusieron en dichos sitios no establecían contacto con el sustrato y quedaban flotando y al poco tiempo se morían, por lo que se suspendió esa replantación y se removió el material vegetal que se había depositado en dichos sitios.

Luego de haber estabilizado el nivel de agua a 60 cm y eliminado las cañas que quedaron sobre el talud se midió la altura de las cañas cada 10 m obteniéndose diferencia de alturas de entre 0.4 m en la parte más bajas y 1.5 m en las partes más altas, con un promedio de 0.9 m de altura para toda la celda, luego se tomaron registros mensuales del crecimiento y en tres meses de registros la plantación solamente tuvo un incremento promedio de 0.4 m , con alturas mínimas en Mayo de 0.4 m y máximas de 2.1 m (Figura 3).

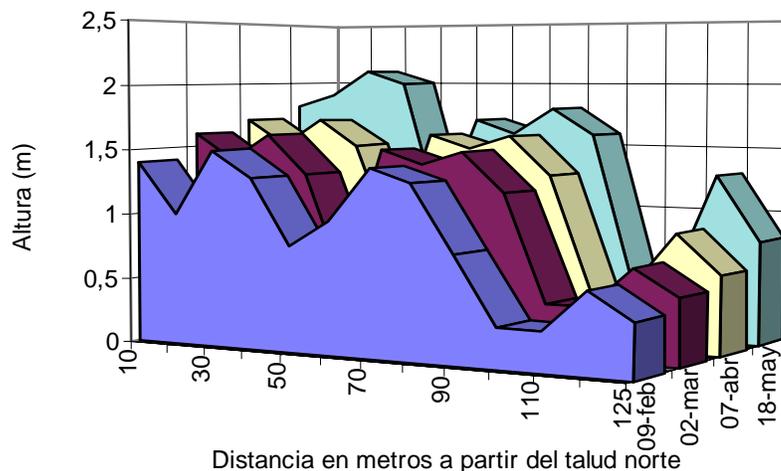


Figura 3. Incremento de altura de Phragmites en la celda A2 (Febrero-Mayo) de 1999

El mejor crecimiento de las cañas se observa en el sector oeste de la celda donde las cañas se encuentran protegidas de los efectos del viento y en aquellos sitios donde la profundidad del agua no es muy grande. Los sitios que están con poca densidad de cañas no experimentan recuperación producto de la profundidad al igual que por efecto de la actividad de forrajeo de tortugas y aves acuáticas (anexos cuadro 3) que también ocupan los sitios para descanso, esto provoca doblamiento y fractura de las cañas jóvenes que terminan por morir ahogadas.

La plantación de Phragmites una vez establecida no experimenta cambios significativos en su aspecto general, existen momentos en la estación seca en que las plantas se ven atacadas por áfidos que provocan secreciones en las plantas y posteriormente se desarrollan fumaginas pero esa situación parece ser circunstancial ya que posterior a la aparición de los áfidos, aparecen mariquitas (Coccinelidos) que son eficaces controladores biológicos. El ataque de fumaginas le imprime un aspecto oscuro a la plantación, posterior al ataque de las fumaginas la coloración característica de las plantas se restablece.

Otros cambios que pueden ser observables en la plantación son el color amarillento que puede presentarse en algunos sectores, sobre todo en aquellos sectores de mayor profundidad, esto puede ser adjudicado a la falta de oxígeno o a la edad de las cañas, las que al momento tienen (las más viejas) tres años de edad, esto último puede llevarnos a la consideración de que si ya es tiempo de efectuar alguna poda para eliminar material vegetativo muy viejo, pero aun no se ha determinado en que momento considerar que la plantación se volvió madura.

Otra de las situaciones presentadas en las plantaciones es el efecto de las tortugas que se alimentan del sistema radicular y de los rebrotes, lo que provoca baja en las densidades de cobertura de las plantas y en la densidad de las cañas.

La estructura de la plantación es un aspecto muy importante a la hora de hacer la valoración sobre la efectividad de las plantas ya que la efectividad de las mismas en la remoción de contaminantes será directamente proporcional a la cobertura y edad de las mismas.

En las plantaciones de Phragmites es notoria la presencia de numerosas especies de aves acuáticas y otras que han encontrado en las plantaciones lugar propicio para anidar y alimentarse, también podemos observar de manera muy abundante tortugas rayadas al igual que numerosas especies de insectos que pasan parte de su ciclo en el agua y pueden permanecer posteriormente entre la vegetación (anexos cuadro 3).

#### 5.1.3.2. Crecimiento en Laguna "B"

La celda B1 se caracterizó por presentar las mejores condiciones en cuanto a la altura de la plantación y la cobertura de la misma. Al inicio de las observaciones esta celda presentaba una altura promedio en el mes de Agosto de 1,35 m y una cobertura promedio de 74%, logrando al mes de noviembre incrementar la altura promedio de 74%, logrando al mes de noviembre

incrementar la altura promedio en 40 cm . De acuerdo al ritmo de crecimiento mostrado por esta celda tuvo incrementos medio mensual de 13 cm, experimentando el mayor crecimiento entre el mes de septiembre y octubre, coincidiendo esto con los meses de mayor precipitación( figura 4).

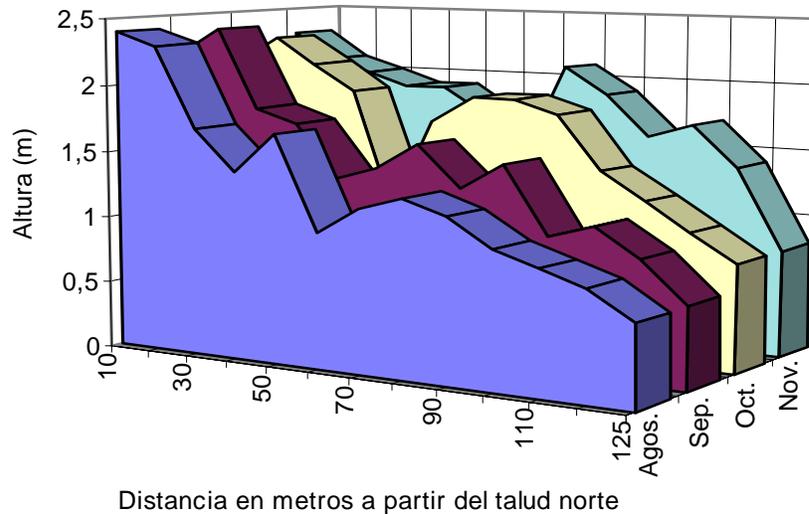


Figura 4. Incremento en altura de Phragmites. Celda B1. Agosto - Noviembre de 1999

La celda “B2” tuvo un comportamiento intermedio, con relación a la altura de las plantas y a la cobertura de las mismas, después de la eliminación de la plantación en la celda “A2” en el mes de Julio, se procedió a efectuar replantación, para aumentar la cobertura de la celda “B2”. Al inicio de las observaciones la celda “B2” tenía una altura promedio de 80 cm, mostrando un incremento al mes de noviembre de 54 cm , presentándose el mayor incremento (26 cm) entre los meses de septiembre y octubre, experimentando una baja en el crecimiento (9 cm) entre los meses de octubre y noviembre (figura 5). La baja experimentada en cuanto altura de las plantas en esta celda se debió en gran parte al volcamiento que experimentaron los plantones con el incremento de altura lo que se debió a que el sistema radicular de las mismas no se ancló al sustrato, además del efecto causado por las tortugas que empleaban los plantones para asolearse. (Figura 5)

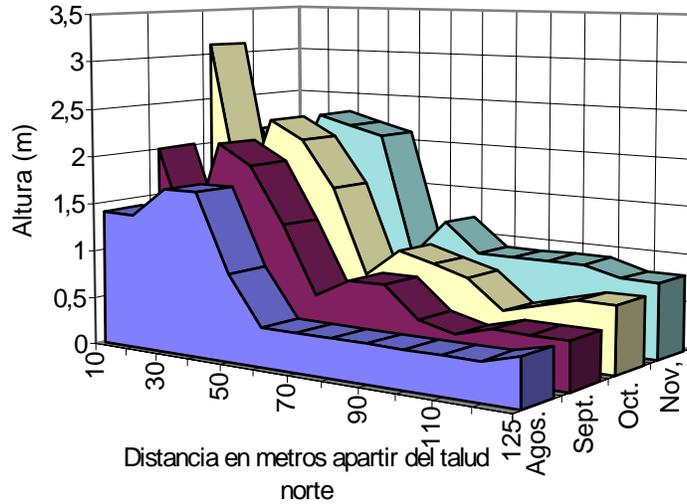


Figura 5. Incremento en altura de Phragmites en celda B2. Agosto- Noviembre. 1999

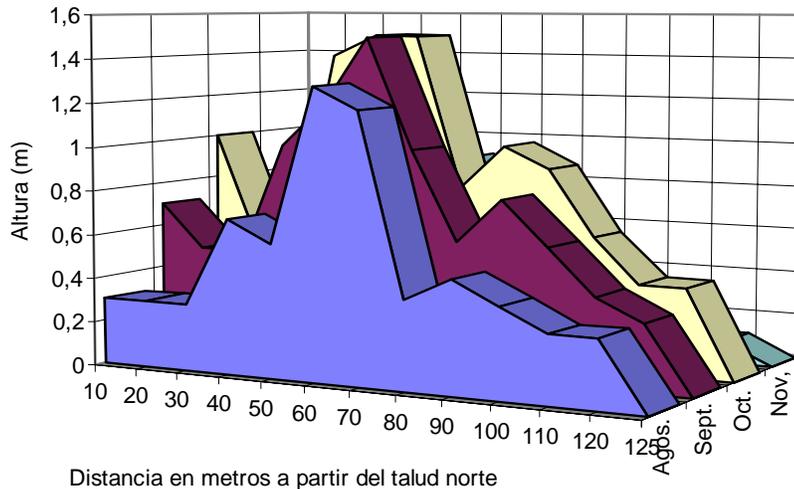


Figura 6. Incremento de altura de Phragmites en celda B3. Agosto - Noviembre. 1999

La celda “B3” es la que presentó las alturas promedio más bajas, esto tuvo relación con las condiciones en que se realizó la plantación , esta celda no tuvo la suficiente capa de suelo para la siembra, por consiguiente la plantación no presentó buen desarrollo. En el mes de agosto la celda presentaba una altura promedio de 51 cm, para el mes de septiembre se incrementó en 19 cm, y en el mes de octubre se incrementa en 11 cm, pero para el mes de noviembre la población presentó una pérdida de 50 cm en altura promedio, considerándose que

esta pérdida se debe a la poca densidad de las mismas además del efecto de la fauna (tortugas y aves) presente en dicha celda que provocan un doblamiento en las cañas, haciendo que estas se sumerjan en el agua (figura 6).

#### 5.1.3.4. Cobertura en laguna “B”

La cobertura total promedio de la celda B1 se incrementó en 8% en el período de agosto-noviembre su mayor incremento (5%) fue entre los meses de agosto y septiembre, teniendo luego un decaimiento en la cobertura del 3% en el siguiente, y no mostrando ningún incremento en la cobertura (0%) en el mes de noviembre.

En el mes de agosto la celda “B2” presentaba una cobertura promedio del 46%, incrementándose en 3% para el mes de septiembre, entre septiembre y octubre, el aumento en la cobertura es de apenas el 1%, incrementándose para el mes de noviembre en 4%, en esta celda se muestra una baja en la cobertura, esto se debe a que las tortugas, aves acuáticas y otras que utilizan la vegetación para anidar o alimentarse, provocan algún daño en los rebrotes, el incremento en cobertura para la celda fue de 6% para el período agosto-noviembre.

La cobertura promedio de la celda “B3” ha sido la más baja. En el mes de agosto presentó una cobertura promedio de 43% experimentando una baja del 6% para el mes de septiembre, decreciendo para el mes de octubre en el mismo porcentaje manteniendo su cobertura en el mes de noviembre. En términos globales la celda entre el período de agosto-noviembre mostró una pérdida en la cobertura del 12%, producto de varios factores entre los que podemos señalar la baja sobrevivencia de las plantas posterior a la siembra producto de las malas condiciones de suelo y a la actividad de las tortugas y aves que en determinadas épocas del año manifiestan mucha actividad sobre las plantas.

#### 5.1.4. Análisis químico

De acuerdo a análisis químico realizado en las plantas provenientes de sistemas naturales y de las lagunas de tratamiento se tienen los siguientes resultados que dan una idea de la efectividad de estas plantas en cuanto a la fijación de elementos.

Cuadro 6. Fijación de elementos en tallos y hojas de *Phragmites australis* en condiciones de aguas residuales y en ambiente natural.

Estructura	Localidad	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
Hojas	El cocal	3.00	0.22	1.87
Hojas	Río Tamarindo	2.30	0.19	1.73
Tallos	El Cocal	1.05	0.17	1.86
Tallos	Río Tamarindo	0.34	0.07	1.02

\* Laboratorios LAQUISA

En el cuadro puede observarse que el nitrógeno y el fósforo se fija en mayor proporción en las hojas, no así el potasio que parece acumularse de manera similar en tallos y hojas en las plantas que se encuentran en los sistemas de tratamiento, pero mayor en las hojas de las plantas que se encuentran creciendo en los sistemas naturales, incorporando el 35% más de nitrógeno, el 49% más de fósforo y el 26% más de potasio en los sistemas de aguas residuales que en los sistemas naturales.

## 5.2 LEMNA

### 5.2.1. Lagunas Experimentales

Los resultados obtenidos muestran que siembras a densidades de 5% se tiene 100% de cobertura en un tiempo promedio de 5.6 días, resultados muy parecidos a los obtenidos a densidades de 20 y 30% y a las densidades de 10, 30 y 40% los resultados también son muy similares.

De acuerdo a los resultados se alcanza la cobertura de 100% entre 4.2 y 5.7 días, no existiendo diferencia estadística entre las diferentes densidades de siembra en condiciones de aguas residuales, en condiciones naturales la diferencia entre las diferentes densidades no es muy clara puesto que no se establecen diferencias entre densidades de 10, 15, 30 y 40% , pero si se establecen diferencias entre estas densidades con la densidad de 5 y 20%, esto nos demuestra que el crecimiento y propagación de las plantaciones es muy variable y puede depender de muchos factores (anexos cuadro 4,5).

Tomando en consideración ensayos realizados con poblaciones de Lemna en condiciones controladas (agua potable) el tiempo en que la especie duplica su población es de aproximadamente 3 días.

Según Landolt (1986), bajo óptimas condiciones de nutrientes el crecimiento es exponencial. El número de frondes se puede duplicar en 24 horas, y el tiempo de vida es de pocas semanas, esto dependerá de la temperatura a 30°C es la mitad que a 20°C.

En virtud de este comportamiento la cosecha en las lagunas no debe ser mas allá de los diez días, tiempo en que la población empieza a morir y por consiguiente a liberar dentro del sistema los elementos que habían sido incorporados dentro de la planta.

Se realizó un estimado de peso seco de la especie en condiciones naturales, para tener un estimado del volumen de material que podría incorporarse a los sistemas de tratamiento, ya que son plantas de ciclo corto. Se realizó un muestreo en un manantial ubicado en la finca El Ojoche de la UNAN-León, mediante la toma de 16 unidades muestrales de 465 cm<sup>2</sup> que totalizaron una muestra de 1m<sup>2</sup> de acuerdo a esto se tiene un estimado de 24.6 gr de peso seco por m<sup>2</sup> equivalente a 246 kg/ha.

### 5.2.2. Siembra en Lagunas Secundarias

La siembra en las lagunas secundarias para evaluar la efectividad de estos sistemas se realizó en dos períodos. El primero entre los meses de mayo-octubre de 1998 y la segunda entre los meses de febrero-mayo de 1999.

Se realizó una primera siembra a una densidad de 15-20% en mayo, alcanzando el 50% a los 5-6 días, llegando al 80% a 100% 15 días posteriores a la siembra, luego la densidad de la población empezó a bajar por problemas de competencia con natas de algas, materiales en suspensión y deriva provocada por el viento. Al llegar a los 25 días después de la siembra la población experimentó un bajón de hasta más o menos 5%.

Cuando la cobertura de Lemnáceas es menos del 20-30% existe proliferación de algas que dan lugar a la formación de natas, impidiendo la proliferación exitosa de las plantas.

En los meses de julio-agosto de 1998 se efectuó una resiembra hasta alcanzar mas o menos el 20% de cobertura con material proveniente de la Finca "El Ojoche" pero el material proveniente no solamente era Lemna , ya que se encontraba mezclado con Spirodela , para el 15 de agosto la población llega al 80% pero compuesta principalmente por Spirodela y llega a ocupar el 100% del área 20 días después, posteriormente la población de Lemna empezó a manifestarse hasta llegar a desplazar casi por completo a Spirodela en el mes de septiembre.

Después de realizada la siembra se pudo observar que la población de Lemna experimentó una drástica caída en lo que se refiere al ritmo de crecimiento que se esperaba tener ya que la población de Spirodela que venía junto con las plantas de Lemna mostró un crecimiento muy acelerado y desplazó a la población de Lemna, llegando esta última casi a desaparecer, este fenómeno se puede atribuir a las condiciones en que se encontraban las aguas al momento de la siembra, las aguas en ese momento no presentaba las condiciones mínimas (presencia de natas) para que las Lemnas se desarrollaran y entonces las Spirodelas pudieron competir exitosamente contra las Lemnas y desplazarlas, luego de un período de 15 días en que la cobertura de flotantes era casi exclusivamente de Spirodela, las condiciones del agua fueron mejores para que las Lemnas prosperaran y empezaran a desplazar a las Spirodelas llegando estas últimas casi a desaparecer por el empuje de la plantación de Lemnas llegaron a ser la población dominante, la situación se mantuvo hasta los problemas provocados por el huracán Micht.

El tiempo estimado para cada cosecha fue de 7 días, tomando como punto de referencia para ello, el tiempo de duplicación de la población (3 días) y la densidad de siembra. Para efectuar la cosecha, la población debe de ocupar entre el 90-100% de cobertura. Para esta evaluación se presentan dificultades en la estimación del 100% de cobertura, debido a que el efecto del viento sobre la plantación puede provocar acumulaciones masivas de las plantas, impidiendo

precisar la cobertura real. Cuando esto sucede ocurre a corto plazo mortalidad de la población esta mortalidad puede ser debida a la sobreposición de las plantas que provocan densidades excesivas en pequeñas áreas lo que dificulta el libre intercambio gaseoso e interfieren en la captación de radiación solar.

La mortalidad de las plantas se manifiesta por cambios en la coloración de las mismas por pérdida de clorofila (se toman pálidas), debiéndose en ese momento hacer cosecha selectivas sobre esos sectores y/o efectuar una redistribución del material por toda la celda o si ya la densidad está cercana al 100% (90%) proceder a la cosecha de las mismas.

En esta fase de siembra masivas se realizó un análisis bromatológico en los laboratorios de Tecnología de alimentos de la UNAN-León sobre material vegetal obtenido en las lagunas de tratamiento y se obtuvo el siguiente resultado: Humedad 95.11% Proteínas 2.63% . Grasas 0.26% , Cenizas 0.93% . Que al ser comparado con algunos otros estudios resultan muy bajos en el contenido de proteínas. Algunos valores referenciales reportados para dicha especie sobre la base de material seco son los siguientes: Proteína: 38.7% , Grasas 4.9% , Cenizas 0.15%.

La segunda siembra masiva de Lemnáceas (2da fase) dieron inicio en Febrero de 1999 con plantas provenientes del Río Chiquito y de la finca El Ojoche situada en las inmediaciones de la ciudad de León. Las Lemnáceas sembradas consistían en poblaciones mezcladas de Spirodela y Lemna siendo predominante la población de Spirodela ya que esta formaba el 90% del material sembrado.

Para el establecimiento de la plantación se tuvo que recurrir a una plantación a gran escala lo que significó realizar una siembra mínima del 20% para poder tener éxito en el desarrollo de la misma, esta plantación de Lemnáceas fue protegida por 8 barreras que disminuirían el efecto del viento sobre la plantación. (Anexos) dejando en el primer sector de la celda una pequeña población de Pistia que sirviera para retener sólidos en suspensión, dicha población fue eliminada una vez que la plantación de Lemnáceas ocupó la totalidad de la celda.

Luego de la siembra se le dio seguimiento a las dos especies presentes en los diversos sectores de la celda . Al inicio la población dominante fue de Spirodela (Figura 7) posteriormente la población de Lemna empezó a incrementarse dominando sobre la población de Spirodela (Figura 8).

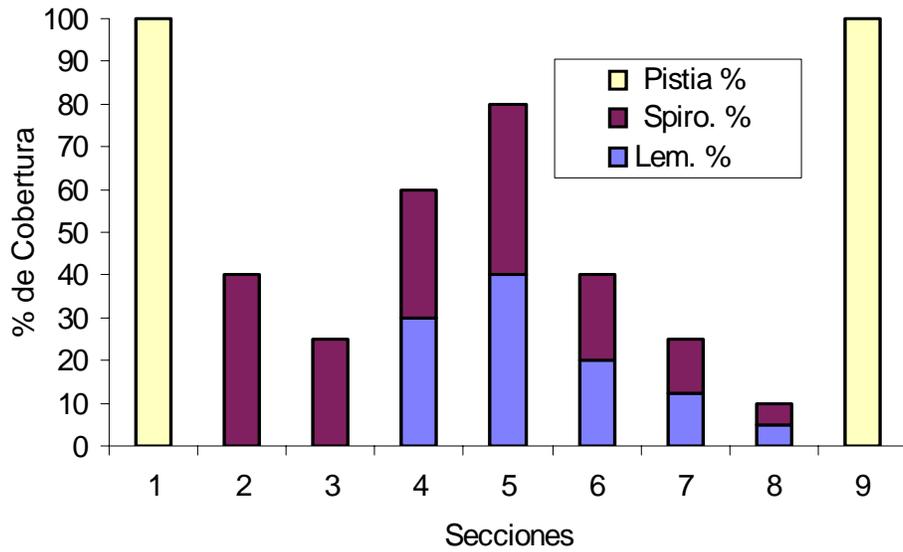


Figura 7. Porcentajes de cobertura para especies flotantes en la Laguna A1 el 1 /03/99

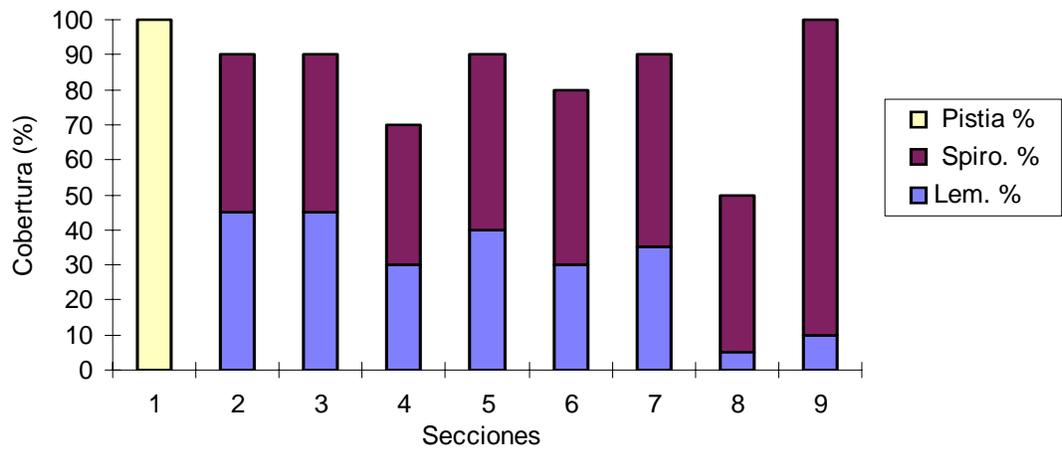


Figura 8. Porcentajes de cobertura para especies flotantes en la celda A1. 18/03/99

De acuerdo a estos gráficos podemos observar que el aumento en las proporciones de Lemna parece estar en función de la distancia del vertedero de entrada de agua a esa celda, ya que en los primeros sectores el predominio es de Spirodela, posteriormente la proporción de Lemnas baja y las proporciones de Spirodela van aumentando en las secciones que están más distantes del vertedero de entrada (figura9).

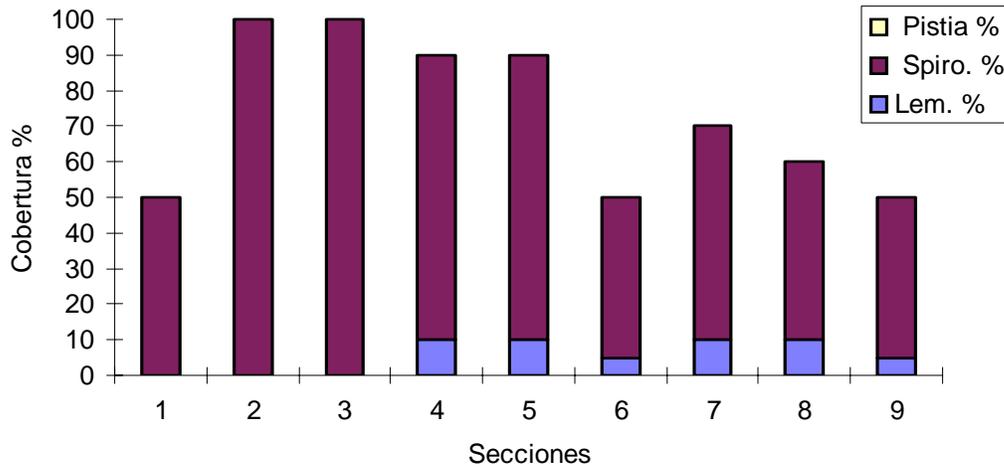


Figura 9. Porcentajes de cobertura para especies flotantes en la laguna A1 el 30/03/99

Posiblemente esta situación esté relacionada con la calidad de las aguas, ya que en las primeras secciones hay mayor retención de sedimentos y de natas de algas lo que influyen en la calidad de las aguas al final de la celda.

Para el 20 de marzo las plantaciones de Lemnáceas se encontraban con buen desarrollo y se llevaron registros semanales para evaluar el crecimiento. La cobertura máxima requerida fue alcanzada en la última semana de marzo, es de señalar que el tiempo que tardó mucho tiempo en alcanzar el 100 de cobertura (40 días) , tomando en consideración el tiempo de duplicación de la población. (3-4 días).

Es importante señalar que en el establecimiento de las Lemnáceas es posible que la existencia de Pistia en la primera sección de la celda pudo haber jugado un papel importante, ya que estas plantas actuaron en un primer momento como un filtro que retenía una buena parte de sedimentos y permitían a la vez el desarrollo y proliferación de las Lemnáceas.

La primera cosecha se realizó el 26 de marzo, dejando la cobertura en 80%, posterior a la cosecha la población de Lemnáceas no experimentó recuperación y por el contrario experimentó una reducción en la cobertura llegando al 10% de cobertura a finales de Abril. Ante el problema de la caída de la densidad de la población a finales del mes de abril se procedió a realizar siembras masivas (mas o menos 20% del área de la celda) pero hasta el mes de Junio fue imposible restablecer la cobertura requerida para la evaluación del sistema.

Las causas de la caída en la densidad de la población de las Lemnáceas no fueron claras, pudiendo suponerse que la mortalidad de las plantas pueda deberse entre otras causas al estrés provocado por el traslado de las plantas desde el sitio de colecta hacia las instalaciones de El Cocal, así como también por las condiciones climatológicas imperantes en esta época del año para la región, aunque tomando en consideración la amplitud climática en que estas plantas pueden prosperar, ese problema no debería de ser el de mayor peso.

Los demás parámetros no parecen tener variaciones tan drásticas que provoquen un fuerte descenso en la densidad de las poblaciones, aunque si se analizan los registros de fósforo total presente, se observa que hubo un incremento en el mes de abril que coincide con la baja en la densidad de la población. Por otro lado los registros de nitrógeno orgánico experimentan una caída de la población. Por otro lado los registros de nitrógeno orgánico experimentan una caída a finales de marzo e inicios de abril, ocurriendo lo mismo para el N. amoniacal , pero no así con el N. total que muestra un descenso en marzo y un leve incremento en abril.

Según Landolt (1986) , las lemnáceas son muy sensibles a los movimientos del agua causado por corrientes o el viento. Los frondes mueren a las pocas horas de estar fuera del agua, *L. minor* muere a las 2 horas de estas fuera a una temperatura de 25°C . Las temperaturas óptimas para el crecimiento es de 24-30°C. en regiones calientes temperaturas del aire de 40°C pueden dañar los frondes.

### **5.3. SPIRODELA POLIRHYZA**

Una vez acondicionado el estanque experimental, se procedió a sembrar las plantas colectadas, las que cubrieron aproximadamente el 10% del área de los compartimientos, a los 10 días se tuvo un estimado de un 20% , este lento aumento, considerado el tiempo de duplicación de la especie, se debe posiblemente al proceso de adaptación fisiológica y aclimatación que sufrieron las plantas, al pasar de un medio sombreado y bajo en contenido de materia orgánica a un medio con insolación directa y de aguas residuales. Después de 15 días posteriores a la siembra la población alcanzó el 100% de cobertura y se procedió a realizar cosecha en los sectores dispuestos para el ensayo dejar un 20% de cobertura como densidad inicial, dando inicio a la evaluación de la plantación.

### 5.3.1. Aguas Residuales

#### 5.3.1.1. Siembra a 20%

Luego de la siembra a densidades iniciales de 20% en los dos compartimientos se ejecutaron tres repeticiones, la propagación fue rápida a esta densidad. El tiempo máximo para alcanzar la cobertura de 100% fue de 9 días y el tiempo mínimo fue de 5 días, estimando una media entre las 3 repeticiones de 6.6 días para los dos sectores.

En la primera repetición se obtuvieron los valores más alto en los dos compartimientos, debido a la presencia de sobrenadantes y espumas que restringieron el crecimiento de las plantas.

En la segunda y tercera repetición se puede observar , que para alcanzar la máxima densidad de cobertura, el tiempo para alcanzar la máxima cobertura disminuye a 5-6 días, debido a que las plantas ya estaban adaptadas al medio y por la baja cantidad de material flotantes que llegaba a los sectores (cuadro 4).

#### 5.3.1.2 Siembra al 10%

Considerando el tiempo de duplicación de la especie era de esperarse que podríamos alcanzar la máxima cobertura en aproximadamente 10 días, pero a baja densidad de siembra las plantas de *Spirodela* muestran mucha susceptibilidad al viento que las acumula en los extremos de los sectores de ensayo y a la presencia de sobrenadantes, estos dos factores no les permiten una proliferación rápida.

En el primer compartimiento la siembra de *S polyrrhiza* tardó en alcanzar el 100% de cobertura en un tiempo medio de 12.6 días, lo que implica el doble de tiempo que al ser sembrada a una densidad de 20% . La repetición I y III presentan el tiempo máximo en alcanzar el 100% de cobertura, ya que el tiempo mínimo fue de 10 días esto se debió a la presencia de sobrenadantes (cuadro 7).

En el segundo compartimiento se alcanzó el 100% de cobertura entre 14-21 días, estimando una media de 18.6 días para las tres repeticiones, teniendo el tiempo máximo para alcanzar la cobertura de 100% en 21 días y el tiempo mínimo de 14 días.

Tomando en consideración los dos compartimientos el tiempo promedio para alcanzar la máxima cobertura fue de 16 días, casi el doble de tiempo previsto de acuerdo al comportamiento reproductivo de la especie.

Posterior a los ensayos realizados con siembras al 10% y 20% en compartimientos de 5 m<sup>2</sup> . Se realizó otro ensayo utilizando todo el área del estanque experimental (25m<sup>2</sup>) para ver si existía similitud en el comportamiento de la población en área de 5 m<sup>2</sup> , esto nos sugiere que el desarrollo de las plantaciones de *Spirodela* es muy dependiente de las condiciones imperantes en las lagunas.

### 5.3.2. Condiciones Naturales

#### 5.3.2.1. Siembra al 20%

En la finca experimental El Ojoche (UNAN-León) se montó un ensayo en un ojo de agua bastante protegido de la radiación solar directa, en el ensayo se estableció un sector de 1.5 m<sup>2</sup>, dentro del agua y se efectuó la siembra a una densidad de 20%. Se hicieron 3 repeticiones y esta alcanzó el 100% a los 12-17 días con un tiempo promedio de 13 días (Cuadro 4).

Cuadro 7. Tiempo en días que requiere *S. Polyrhiza* para alcanzar la máxima cobertura (100%) a densidades de siembra de 20 y 10% León. 1998.

Compartimentos	Repetición	Aguas Residuales		Condiciones
		20%	10%	20%
I	1	9	14	10
	2	5	10	17
	3	6	14	12
	4	9	21	-
I	5	5	21	-
	6	6	14	-
Promedio		6.7	15.7	13

Comparando el crecimiento en ambas condiciones , a densidad de siembra de 20% en aguas residuales, la velocidad de reproducción fue mayor, esto posiblemente se debe a la abundancia de nutrientes y a la alta radiación en las condiciones de aguas residuales.

### 5.3.2 Tamaño de las Plantas

#### 5.3.3.2. Diámetro

Se hicieron muestreos de plantas en aguas residuales y en condiciones naturales para tener estimado del tamaño de las plantas en esas condiciones.

En aguas residuales, se hicieron 4 muestreos para determinar el diámetro promedio de las plantas, en cada muestra se tomaron 20 plantas al azar, obteniéndose valores mínimo promedio de 4 mm y un valor máximo promedio de 8 mm. (Anexos, cuadro 6).

En condiciones naturales, el valor mínimo promedio fue de 4 mm y el valor máximo promedio 7 mm. En ambas condiciones, no se presentó diferencia significativa en el diámetro de la hoja.

### 5.3.3.2. Longitud y número de raíces.

En aguas residuales el valor mínimo de la longitud de la raíz fue de 3 mm y el valor máximo de 29 mm. Con relación al número de raíces el valor mínimo fue de 3 y el valor máximo de 26 (Anexos cuadro 7).

En condiciones naturales, la longitud de la raíz tuvo un valor mínimo 6 mm y el valor máximo 37 mm, siendo más larga en este medio por los pocos nutrientes, comparado con las condiciones de aguas residuales. Para el número de raíces el valor mínimo fue de 3 y el valor máximo de 17 . Siendo mayor el número de raíces en el medio residual. (Anexos cuadro 8).

### 5.3.3 Biomasa

#### 5.3.4.1. Biomasa en aguas residuales

Se hicieron 7 muestreos para la estimación de biomasa, obteniéndose una media de peso húmedo de 1220.91 gr/m<sup>2</sup> , con un valor mínimo de 775.9gr/m<sup>2</sup> y un valor máximo 1626.5 gr/m<sup>2</sup> . Para las unidades muestrales el valor mínimo fue de 28.6 gr y el valor máximo fue de 141.5 gr . Para el peso seco, el valor mínimo fue de 64.0 gr/m<sup>2</sup> . y el valor máximo fue de 116 gr/m<sup>2</sup> , con una media de 86.37 gr/m<sup>2</sup> . En las unidades muestrales se obtuvo un valor mínimo de 2.1 gr y un valor máximo de 11.2 gr (Anexos cuadro 9).

Los altos valores en peso húmedo y peso seco se deben a que las plantas muchas veces acumulan gran cantidad de sedimento en sus raíces, lo que provocaba que su peso no sea constante. En términos porcentuales el 93% del peso es agua y el 7% restante es materia seca. De acuerdo a estos resultados se puede predecir un rendimiento promedio de biomasa de 856 Kg/ha de materia seca.

#### 5.3.4.2. Biomasa en condiciones naturales

Para el análisis de biomasa se obtuvo una media de peso húmedo de 351.7 gr/m<sup>2</sup> con un valor mínimo de 211.8 gr/m<sup>2</sup> y un valor máximo de 478.0 gr/ m<sup>2</sup> . Para el peso seco el valor mínimo fue de 14.6 gr / m<sup>2</sup> , con una media de 16.87 gr/ m<sup>2</sup> (cuadro 2). La diferencia marcada que se da en condiciones de aguas residuales comparada con las condiciones naturales se debe a que en la primera condición las raíces de las plantas siempre hay abundante sedimento, algas y micro invertebrados que aumentan el peso promedio de las plantas (Anexos Cuadro 9).

#### 5.3.4 Fauna asociada a *Spirodela polyrrhiza*

En aguas residuales las plantas presentaron poca fauna asociada, el Orden Diptera presentó más especies, las que eran encontradas sobre el área foliar, en estado adulto y en diferentes estadios; el resto de la fauna asociada era encontrada en el sistema radicular. La especie no presentó problemas de plagas en ninguna de las condiciones. Para las condiciones naturales, en el Río

Tamarindo solamente estuvo presente: el Phylum Mollusco con la familia Pleuroceridae y el género *Pachychilus* (Anexos . Cuadro 10).

### 5.3.6. Análisis Químico

Cuadro 8. Análisis químico de peso seco de *S. Polyrrhiza* y en Aguas Residuales y Condiciones Naturales (El Cocal – Río El Ojoche).

Condiciones	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
Aguas Residuales	4.80	0.92	2.95
Condiciones Naturales	3.37	0.51	1.85

Según el cuadro se puede observar que en aguas residuales *Spirodela* fija 30% mas de nitrógeno , 40% mas de fósforo y el 37% más de potasio que en aguas naturales lo que pone de manifiesto la alta capacidad de asimilación de elementos de parte de esta especie.

## 5.4 PISTIA STRATIOTES

A finales del mes de diciembre del año 1998 se colectó material de *Pistia* para ser reproducido y posteriormente usar el material en los ensayos propuestos, el material colectado equivalía al 5% del área que ocupaba la celda para el ensayo, 7 días después de colocar el material en el estanque, la densidad ocupada por las plantas equivalía al 30% del área y a los 12 días se llegó al 100% de la cobertura y se ejecutó cosecha de las mismas y se dejó el estanque con una densidad de 20% y se dio inicio a la primera repetición.

### 5.4.1. Aguas Residuales

#### 5.4.1.1. Siembra a 20%

En la siembra al 20% de *P. Stratiotes* la población alcanzó el 100% de cobertura en tiempo mínimo de 5 días y el máximo de 9 días con un promedio para las cuatro repeticiones de 7 días, la diferencia pudo ser posible debido a la presencia de sobrenadante (semillas, toallas sanitarias, bolsas, etc.) de acuerdo al tiempo promedio para alcanzar el 100% de cobertura a la densidad de 20% de siembra podemos considerar un tiempo de duplicación del área cubierta de tres días.

#### 5.4.1.2. Siembra a 10%

En la siembra a densidad del 10% en las cuatro repeticiones se alcanzó la máxima densidad entre 9 y 25 días con un estimado promedio de 9 días, en la primera repetición la máxima cobertura se alcanzó a los 25 días debido al ataque de áfidos que afectaron la plantación por la severidad del ataque que llegó a ocasionar muerte en las plantas (Cuadro 7), considerando el tiempo promedio para alcanzar la máxima densidad al 10% de cobertura, el tiempo de duplicación del

área cubierta es de aproximadamente 3 días, bastante semejante al ritmo de duplicación del área a densidad de siembra de 20% (cuadro 9).

#### 5.4.2. Condiciones Naturales

##### 5.4.2.1. Siembra a 20%

En condiciones naturales las plantas se vieron atacadas por Curculionides (Neochetina) y una especie de la familia Pyralidae, lo que provocó diferencias marcadas en el tiempo para alcanzar la máxima cobertura, ya que el tiempo mínimo requerido para ello fue de 10 días y el máximo de 28 días, con un estimado promedio de 18 días, lo que significa un tiempo tres veces mayor que en condiciones de aguas residuales, esta gran diferencia pudo ser posible por la baja concentración de elementos y al ataque de plagas ocurrido en condiciones naturales (Cuadro 9).

Cuadro 9. Tiempo en días utilizado por *P. Stratiotes* para alcanzar la máxima cobertura a densidades de siembras de 20 y 10% en Aguas Residuales y en condiciones Naturales. León. 1998.

Aguas Residuales			Condiciones Naturales
Repeticiones	20%	10%	20%
I	7	25	10
II	5	14	15
III	7	9	28
IV	9	18	--
Promedio	7	16.5	17.6

#### 5.4.3. Tamaño de las plantas

##### 5.4.3.1. Diámetro de las plantas y Longitud de las raíces.

En aguas residuales se tomaron 9 muestras de 20 plantas cada una para hacer estimaciones del diámetro de las plantas y longitud de las raíces, el diámetro mínimo promedio presentó un valor de 4.5 cm y un valor máximo de 42 cm. En la longitud de la raíz, el valor mínimo promedio fue de 4.5 cm y el valor máximo de 25 cm (Anexos cuadro 11).

En condiciones naturales, se tomaron tres muestras de 20 plantas cada una para las mediciones del diámetro de las plantas y longitud de las raíces. El valor mínimo del diámetro fue de 9 cm y el valor máximo de 20 cm, los bajos valores registrados se deben en parte a que en el período de ensayo las plantas fueron atacadas por larvas de insectos de la Familia Pyralidae. La longitud de la raíz presentó variación entre 5 y 20 cm. En condiciones naturales las plantas se encontraban acompañadas por hojarasca o semi-enraizadas en el fango, y en esas condiciones no desarrollan mucho las raíces (Anexos cuadro 12).

#### 5.4.4. Biomasa de *Pistia stratiotes*

##### 5.4.4.1. Aguas Residuales

Para la estimación de biomasa se hicieron 6 muestreos equivalentes a 1 m<sup>2</sup> cada uno con 16 unidades muestrales de 0.0625m<sup>2</sup>, el valor mínimo de peso húmedo fue de 2963.4 gr/m<sup>2</sup> y un valor máximo de 5256 gr/m<sup>2</sup>, con una media de 4115.0 gr/m<sup>2</sup>. El valor mínimo de las unidades muestrales fue de 644.7 gr y el valor máximo de 1470.8 gr. En cambio para el peso seco el valor mínimo fue de 130.7 gr /m<sup>2</sup> y el valor máximo de 204.1gr / m<sup>2</sup>, con una media de 169.3 gr/m<sup>2</sup>, para las unidades muestrales el valor mínimo fue de 25 gr. y el valor máximo de 78.6 gr. Calculándose una producción de materia seca de 1693 Kg/ha.

La repetición III, V y VI presentan los valores más altos, debido a la cantidad de materia orgánica en suspensión, fauna asociada al sistema radicular y al tamaño de la planta. La repetición I y IV presentan los valores más bajos, esto se debió posiblemente a la poca cantidad de materia en suspensión (Anexos. cuadro 13).

##### 5.4.4.2. Condiciones Naturales

Para el análisis de biomasa en condiciones naturales se hicieron tres muestreos, el valor mínimo de peso húmedo fue de 625 gr/m<sup>2</sup> y el valor máximo de 887.1 gr/m<sup>2</sup> con una media de 720.5 gr/m<sup>2</sup>. Para el peso seco, el valor mínimo fue de 27.0 gr/m<sup>2</sup> y el valor máximo de 32.6 gr/m<sup>2</sup>, y el peso promedio fue de 29.2 gr/m<sup>2</sup>, para un estimado de 292 Kg/ha, lo que representa el 17% de la producción en condiciones de aguas residuales (Anexos cuadro 13).

##### 5.4.5. Estructuras Reproductoras Sexuales

En aguas residuales, se realizaron 2 ensayos, las plantas fueron extraídas al azar y se colocaron en otro compartimiento que no tenía plantas. Para la evaluación del primer ensayo, se extrajeron 6 plántulas originadas por rebrotes al azar, para estas el tiempo que tardó la inflorescencia en salir fue de 9 días y el número promedio de inflorescencia fue de cuatro, para el segundo ensayo se colocaron 4 plántulas, obteniéndose lo siguiente: el tiempo de aparición de la primera inflorescencia fue de 9 días y un promedio de 17 inflorescencias, el número de inflorescencias está en dependencia de las dimensiones de las plantas y del número de hojas que estas tengan ya que las inflorescencias son axilares.

De acuerdo al tiempo de aparición de las inflorescencias se pueden considerar los 9 días como el tiempo promedio que requieren las plantas para originar estructuras reproductoras sexuales, es de mencionar que en estos ensayos se originaron plantas a partir de ese tipo de reproducción. En condiciones naturales, solamente se realizó un ensayo con 6 plantas al azar; el tiempo promedio que tardó la inflorescencia en aparecer fue de 10 días, y el número promedio de inflorescencia 7.5.

Comparando ambas condiciones , se pudo observar que en aguas residuales , el número de inflorescencia y el tamaño es ,mayor que para las condiciones naturales, esto posiblemente se deba a la falta de nutrientes y a los ataques por plagas de que fueron objeto lo que no les permitió mayor desarrollo.

#### 5.4.6. Estructuras Reproductoras Vegetativas

En aguas residuales, la aparición del primer rebrote fue de 5-7 días, el promedio de rebrotes de primer orden fue de 25, lo que significa que cada planta puede originar de manera vegetativa hasta ese número de plantas. En condiciones naturales, el tiempo que tardó en salir el primer rebrote fue de 10 días, con un promedio de 8 rebrotes de primer orden. Se puede observar que en condiciones de aguas residuales, el número de rebrotes de primer orden es mayor y menor el tiempo en que aparece el primer rebrote.

#### 5.4.7 Fauna Asociada

En aguas residuales la fauna asociada a estas plantas es mayor que en condiciones naturales, el orden Coleoptera fue el que más prevaleció con la familia Hydrophilidae, encontrándose la mayoría de ellos en estado adulto, el orden Homoptera estuvo presente durante la estación seca cuando las plantas se encuentran sometidas al ataque de plagas (anexos cuadro 14).

En condiciones naturales, se pudo observar que la familia Pyralidae del orden Lepidoptera fue la que causó más daño a la planta, ya que el ataque foliar fue severo llegando a baja drásticamente las poblaciones de plantas de esta especie (Anexos. cuadro 15).

#### 5.4.6. Análisis Químico

De acuerdo a análisis químico realizados en los laboratorios de LAQUISA-León, en aguas residuales se fijan proporcionalmente más nitrógeno y fósforo que en aguas naturales, pero no sucede de igual manera con el potasio que en aguas naturales parece haber mayor fijación de este elemento, la situación no es muy clara pues no se hizo análisis de las concentraciones de estos elementos en las aguas. Las plantas en condiciones de aguas residuales asimilan el 18% mas de nitrógeno y el 4% más de fósforo que en las condiciones naturales.

Cuadro 10. Análisis de concentración de elementos presentes en *Pistia* en aguas residuales y en condiciones naturales.

Condiciones	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
Aguas residuales	3.57	0.51	3.95
Condiciones naturales	2.92	0.49	4.22

\* Laboratorios LAQUISA

Comparando la eficiencia en cuanto a remoción de elementos, en aguas residuales, *S. polyrrhiza* extrae 1.23% de nitrógeno y 0.041% de fósforo más que *P. stratiotes*, pero esta asimila 1% más de potasio, en condiciones naturales, *S. polyrrhiza* asimila 0.45% de nitrógeno y 0.02% de fósforo más que *P. stratiotes*, pero extrae 2.37% más de potasio. *S. polyrrhiza* en aguas residuales fijó 1.43% más de nitrógeno, 0.41% más de fósforo y 1.1% más de potasio que en medio natural. *P. stratiotes* en aguas residuales fijó 0.65% más de nitrógeno, 0.02% más de fósforo y 0.27 más de potasio en el medio natural, lo que indica que están ejerciendo su función de filtros biológicos. De ambas especies *S. polyrrhiza* fija más nitrógeno y fósforo pero menos potasio que *P. stratiotes*, tanto en aguas residuales como en condiciones naturales (Cuadro 10).

## 5.5 ANALISIS DE CLOROFILA

El análisis de clorofila se realizó semanalmente del mes de agosto al mes de diciembre. De acuerdo a estos análisis se puede observar (Anexos cuadro 16 y 17), (Figuras 10,11) que los promedios de contenido de clorofila en  $\text{mg/m}^3$  estuvieron entre los 595.08 y 664.79  $\text{mg/m}^3$ , no encontrándose diferencias significativas entre las medias de los diferentes tratamientos.

Si observamos las diferencias entre los promedios, podemos darnos cuenta que la laguna "B" que es considerada como el tratamiento de flujo pistón con plantas emergentes presenta el promedio más bajo (595.08  $\text{mg/m}^3$ ) comparado con la laguna "A" (664.79  $\text{mg/m}^3$ ), que está sirviendo como testigo. En términos de porcentaje de remoción podemos ver que la laguna "B" disminuye la concentración de clorofila en un 8% con respecto a la concentración de clorofila en el vertedero principal (645.95  $\text{mg/m}^3$ ), en cambio la laguna "A" incrementa la concentración de clorofila en 3% con respecto a las concentraciones reportadas para el vertedero principal (Anexos cuadros, 17, 18).

En el período agosto – septiembre se analizaron las interconexiones entre las celdas B1 y B2 para verificar la efectividad en la remoción de algas en las diferentes celdas, de acuerdo a ello se puede ver en el cuadro 18 que la celda "B1" reduce a casi la mitad el contenido de clorofila (42%), en la celda B2 el contenido de clorofila se ha reducido en casi el 60% pero luego se disminuye la eficiencia en la celda B3 producto de las condiciones de la plantación en dicha celda (Anexos Cuadros 16,17,17,18).

Si observamos los valores máximos y mínimos en los diferentes tratamientos podemos apreciar que las máximas concentraciones de clorofila se encuentran en el mes de Agosto, coincidiendo esto con el mes con menos precipitaciones, en cambio las concentraciones mínimas se dan en el mes de octubre mes que por lo general reporta las mayores precipitaciones (Figuras 10, 11).

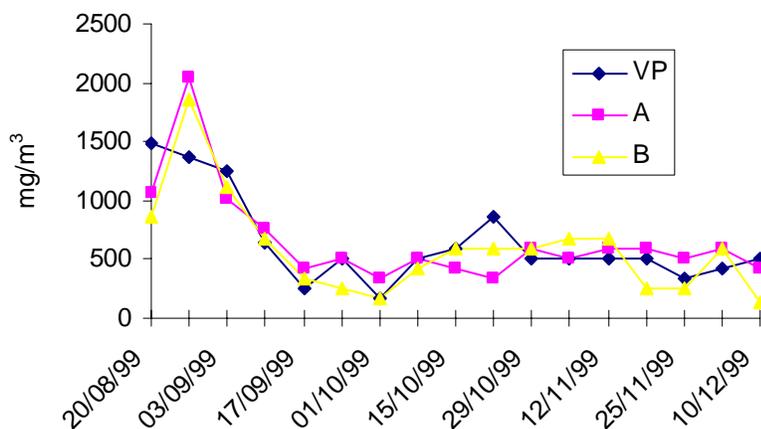


Figura 10. Concentración de clorofila en el vertedero principal y lagunas de tratamiento secundario A y B. El cocal León. 1999.

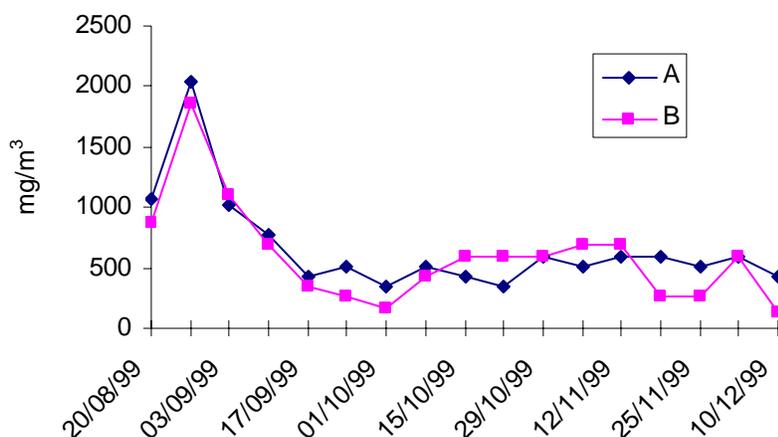


Figura 11. Concentración de clorofila en lagunas de tratamiento secundario A y B. El Cocal. León. 1999

La concentración de clorofila en los diferentes vertederos de salida está en dependencia de algunos factores entre los que podemos señalar la presencia de sobrenadantes en las diferentes lagunas que interfieren en el proceso de captación de la energía lumínica, la nubosidad presente que puede provocar variaciones verticales en la distribución de las algas, la incidencia de precipitación que provoca dilución en la concentración de algas y la existencia de rotíferos u otros microorganismos que se alimentan de algas.

Era de esperarse que la laguna “B” que se encuentra con la plantación de Phragmites tuviera los mejores resultados en cuanto a la remoción de clorofila, pero existen algunos factores que pudieron tener alguna repercusión en ella como era la no uniformidad en la cobertura de las diferentes celdas y posiblemente al

flujo de agua en el sistema que debido a la trama que provocan el enraizamiento y las cañas no permiten un flujo uniforme de la lámina de agua, permitiendo de esta manera que las concentraciones de algas no se vean removidas por el flujo.

De acuerdo a los análisis de clorofila no existe diferencia significativa entre los diferentes tratamientos realizados en la tercera etapa, esto es entre el tratamiento con plantas emergentes y sin plantas, pero esto no significa que el sistema con plantas emergentes no sea efectivo en la remoción de las algas, las causas de la no diferencia se debió a la no uniformidad de la plantación en las tres celdas analizadas.

## **5.6 FACTORES FISICOS-QUIMICOS EN LAS LAGUNAS SECUNDARIAS**

### **5.6.1. Temperatura**

El rango de temperatura en aguas residuales en el Cocal en el período de estudio osciló entre 27-31°C, con una temperatura media de 28°C, la temperatura del aire estuvo entre 26-36°C. Con una media de 32°C. La variación de temperatura entre agua-ambiente fue de 4°C, las lecturas de temperatura se realizó entre las 8 y las 11 AM a lo largo de toda la investigación.

El rango de temperatura del agua en condiciones naturales estuvo entre 25-27°C, la media de temperatura el agua fue de 26°C. La temperatura del ambiente osciló entre 26-32°C, con una temperatura media de 30°C. La temperatura en condiciones naturales tanto para el agua como la del aire fue menor debido a la abundancia de árboles alrededor del cuerpo del agua.

### **5.6.2. pH**

En aguas residuales se obtuvo un rango de pH de entrada de 6.5-8.0 con un pH promedio de 6.9 y el rango de salida fue de 7.0-8.6, con un promedio de 7.7. esto hizo posible la mayor diversidad de organismos en aguas residuales, puesto que los valores altos de pH favorecen a los moluscos y a los dípteros, estos últimos tuvieron mayor abundancia en aguas residuales, además cabe destacar que pH de 7.9 puede ser encontrados en sistemas acuático naturales o saludables. En condiciones naturales hubo un rango de pH de 6.0-6.5, con una media de 6.2.

## **5.7 EFICIENCIA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE TRATAMIENTO EVALUADOS**

### **5.7.1. Lagunas Secundarias en paralelo**

En la primera y segunda etapa de evaluación se compararon entre sí los sistemas en paralelo con plantas macrofitas, Lemnáceas en celda "A1" Y Phragmites en celda A2 y sin plantas en celda A3, al mismo tiempo comparando con el sistema en serie (Phragmites en laguna B) con una altura de agua de 0.60 m.

En la figura 12 se presenta la remoción promedio general de cada sistema donde se puede observar que de acuerdo a las concentraciones de entradas y salidas las diferencias no son significativas, sin embargo en el sistema con Phragmites la remoción es mayor que la celda “A3” (sin plantas).

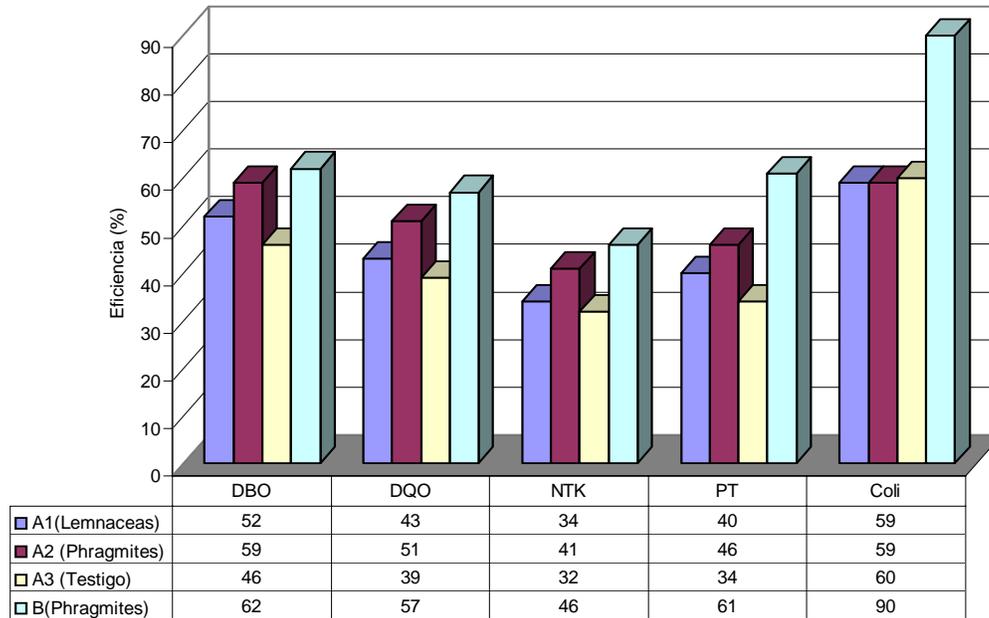


Figura 12. Eficiencia de los diferentes sistemas de tratamiento en la remoción de cargas aplicadas a celdas en paralelo. El Cocal. León. 1998-99

### 5.7.1.1. Sistema con Lemnáceas

La eficiencia global promedio del sistema con plantas flotantes (Lemna) fue en el orden de 82% y 49% en términos de DBO y DQO respectivamente, comparable con la correspondiente a otros tipos de sistemas, lo que verifica su aplicabilidad bajo condiciones de cargas altas cuando procesan aguas residuales de origen doméstico y operan bajo condiciones de clima tropical con temperaturas máximas de 30°C. En la figura 13 se resumen los valores promedios de las eficiencias de los parámetros evaluados de la celda “A1” (con Lemnáceas).

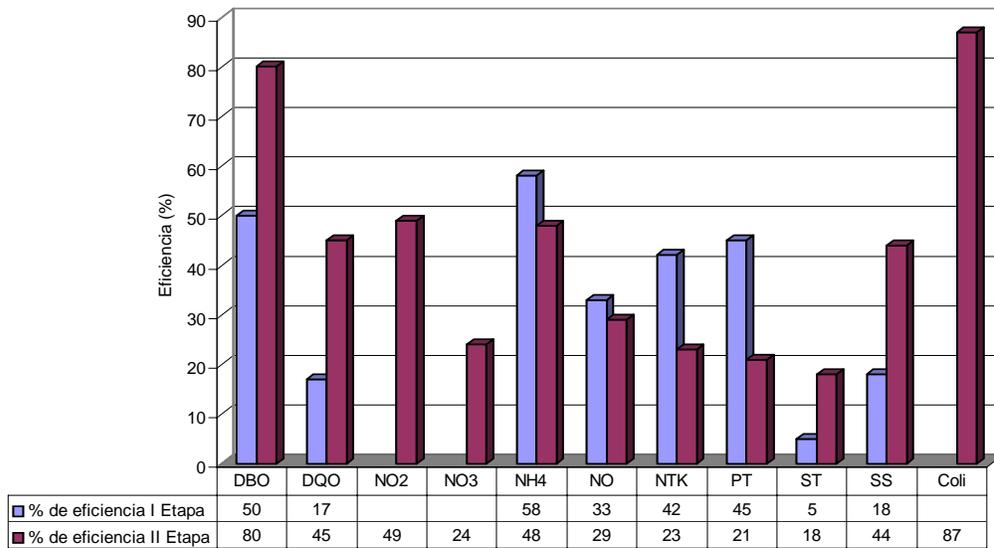


Figura 13. Eficiencia en la remoción de cargas en sistemas con Lemnaceas con las celdas en paralelo. El Cocal. León. 1998-99

La remoción de Carga orgánica es similar en ambos períodos. Con respecto a la eficiencia en nutrientes, la mayor remoción se produjo en la I etapa (época de lluvias).

Las Lemnáceas son eficientes en la remoción de casi todos los parámetros, esta eficiencia se incrementa en la medida que se aumenta el período de retención hidráulico. En la primera etapa (época de lluvias) las eficiencias en remoción de nutrientes resultaron mayores que en la segunda etapa (época seca), sin embargo en carga orgánica las remociones fueron similares.

Con respecto a las cargas aplicadas y removidas, este sistema demostró ser efectivo en remoción de casi todo los parámetros con excepción de los Coliformes fecales que tienen menor remoción.

#### 5.7.1.2. Sistema con Phragmites

Las eficiencias promedios del sistema de lagunas con Phragmites en la mayoría de los parámetros evaluados son similares a los resultados de la laguna con Lemna, pero con respecto a los Coliformes fecales la laguna en serie "B" supera a todos los sistemas evaluados.

Con respecto a la remoción de cargas aplicadas al sistema en el primer período de evaluación presenta los mayores resultados (época de lluvias) con menor período de retención hidráulica, plantas emergentes más jóvenes, mayores temperaturas en el ambiente y agua con rangos de cargas aplicadas hasta de

226.2 Kg DBO<sub>5</sub>/ha \* día y de 876 Kg DQQ/ha/día, obteniéndose para estos una eficiencia promedio del 59% y 51% respectivamente.

Las cargas promedio aplicadas de NTK variaron entre 10.9 Kg NTK/ ha/ día y 54.9 Kg NTK/ha/día para un promedio total de 22.6 Kg NTK/ha/día, reduciéndose hasta 13.4.Kg NTK/ha/día para una eficiencia del 48% y 39% en las etapas I y II respectivamente. La carga de fósforo total (PT) aplicada a estas lagunas alcanzó un máximo de 9.41 Kg PT/ha/día y un promedio de 3.5 Kg/PT/ha/día hasta disminuir a 2.2 Kg PT/ha/día.

En la segunda etapa se compraron los sistemas de lagunas con flujo en serie (flujo disperso) con Phragmites en la laguna "B" y sin plantas en la laguna "A".

El período retención tanto de las Lagunas secundarias "A" , como la de "B" fue de aproximadamente 4 días, obteniéndose resultados de eficiencia de carga removida en ambos casos similares, con excepción de los parámetros como la DQO, NO, PT, que la laguna con Phragmites australis supera a "A" en un 11%, 8% y 17% respectivamente para una altura de 0.60 m. Al realizar el cambio de altura de agua a 0.90 m en la laguna "A" se disminuye la eficiencia en general y la laguna "B" aumenta en un 10% en casi todos los parámetros evaluados (Figura 14).

## 5.7.2. Lagunas en Serie

### 5.7.2.1. Phragmites

Este sistema con Phragmites en todos los casos demostró mayores remociones en comparación con los otros sistemas en las diferentes etapas de evaluación, además es menos susceptible a los cambios climáticos y condiciones ambientales, sin embargo influye mucho el crecimiento de la planta y su cobertura.

Las cargas orgánicas aplicadas al sistema con Phragmites oscilaron desde 60 Kg DBO/ha/día a 527 Kg DBO/ha/día y de 194 Kg DQO/ha/día para un porcentaje de remoción de 62% y 58% , manteniéndose casi constante con ambos niveles de agua.

Con relación a los nutrientes la carga de nitrógeno total (NTK) osciló de 12.43 Kg NTK/ha/día a 80.22 Kg NTK/ha/día y de fósforo total de 1.4 Kg P/ha/día a 1.8 Kg P/ha/ día obteniendo un promedio de remoción de 48% y 66% en PT. La remoción de NTK es mayor en un 5% al incrementar la altura de agua y la remoción de PT también se aumenta en un 13% con nivel mayor de agua.

Este sistema también demostró eficiencia en la remoción de los Coliformes fecales obteniéndose en algunas ocasiones la reducción de hasta tres cifras logarítmicas con valores entre  $10^3$  y  $10^4$  / 100 ml

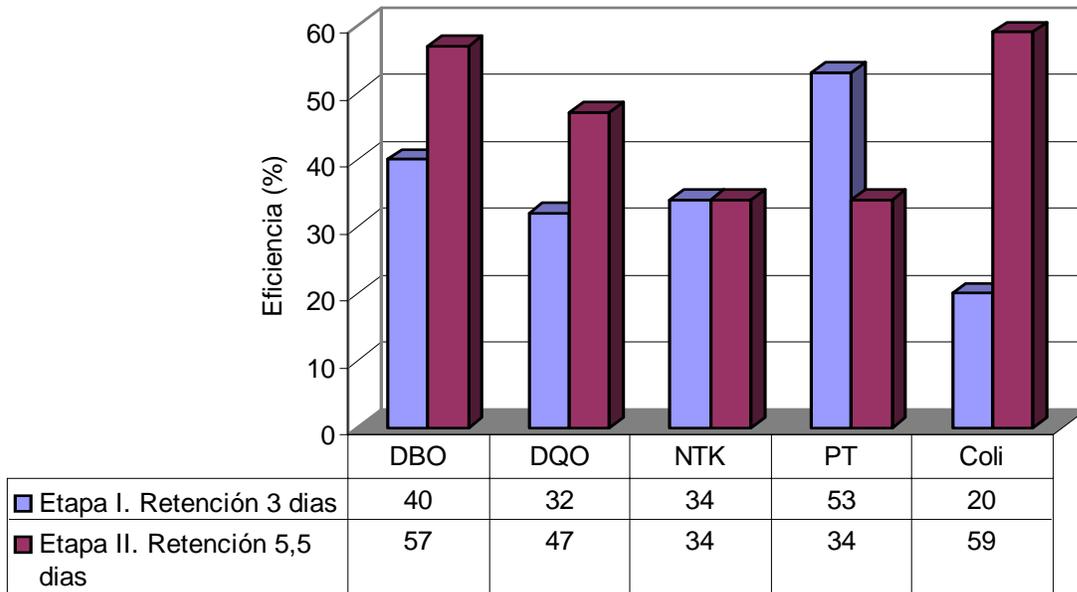


Figura 14. Eficiencia promedio del sistema con Phragmites con las celdas dispuestas en serie en la remoción de contaminantes. El Cocal. León. 1998-99.

## 6. CONCLUSIONES

Las lagunas de estabilización con macrofitas son capaces de soportar cargas orgánicas significativamente mayores a la normalmente aplicadas, sin desmejorar sustancialmente la eficiencia de remoción de los parámetros, objetivos de su funcionamiento.

El sistema con Phragmites en paralelo (A2) superó al convencional (A3) en remoción del 13% en DBO, 12% en DQO, 9% en NTK y 12% en PT, luego le sigue el sistema con Lemnáceas que superó a A3 en un 6% en DBO y PT en un 4%.

Con las mismas condiciones anteriores la laguna "B" con Phragmites en serie (II período de evaluación) comparándola con la celda "A2", demostró que al alargar el recorrido del agua se incrementó la eficiencia en un 15% en PT y el 31% en Coliformes fecales.

Se comprobó que el sistema de lagunas en serie, con flujo disperso combinado con plantas macrofitas emergentes (Phragmites) presenta mayor eficiencia en la remoción de todos los parámetros que el sistema convencional especialmente en la remoción de Coliformes, nutrientes y algas.

A bajas profundidades (de 0.60 m), las eficiencias de cargas removidas en las lagunas secundarias con plantas y sin plantas son similares, sin embargo con profundidades mayores de 0.90 m, la diferencia en el porcentaje de remoción es significativamente mayor. La laguna con plantas supera en un 10% en remoción de Carga en DBO<sub>5</sub> Y 23% en remoción de PT, esto demuestra la efectividad de las macrofitas emergentes (Phragmites).

## 7. RECOMENDACIONES

Recomendaciones sobre los diferentes tipos de siembra que se pueden ejecutar con *Phragmites australis*.

Puede ejecutarse siembra a humedad de campo, esto es realizar siembras después de una buena preparación de suelo, mantener el suelo con suficiente humedad, lo que se puede lograr mediante riego con agua limpia (aspersión o por inundación) o bien con aguas residuales (las que serán tratadas), esta última consideración aunque es la más barata implica algunos riesgos para el personal que estará a cargo de estas labores. Este sistema de siembra puede presentar el inconveniente de la proliferación de malezas, cuando la siembra no se ejecuta en el tiempo previsto.

Siembra con lámina permanente de agua. Este sistema es muy efectivo para el control de malezas, el inconveniente es que se ejecuta con aguas residuales y para el proceso de siembra deberá ejecutarse con muchas medidas de seguridad por parte del personal encargado de esa tarea. El material vegetal a ser utilizado para esta siembra debe provenir de cañas desarrolladas de aproximadamente un año de edad y con dos o tres nudos para permitir el desarrollo del sistema radicular en el primer nudo y los restantes nudos permitirán el desarrollo de las yemas vegetativas.

La siembra con plantas juveniles (con sistema radicular en desarrollo) es muy efectiva pero tiene el inconveniente de la dificultad de obtención de estas plantas, lo que aumentan los costos de plantación.

### *Lemna sp*

Para ejecutar la siembra de Lemnáceas primeramente se deben considerar algunas situaciones como la del establecimiento de barreras flotantes para evitar la deriva de las plantas en virtud del régimen de vientos y tener alguna buena fuente de semilla, cercana al sitio donde se hará la plantación.

Las barreras instaladas de tubos de PVC o de otro material flotante, que tienen como finalidad cortar el desplazamiento laminar de la plantación no deberá de estar a mas de 15m entre barreras, las que deberán ajustarse bien a los taludes para evitar el paso de plantas de un sector a otro.

En el manejo de las plantaciones de Lemnáceas hay que tomar en consideración siempre la posibilidad de contaminación de las celdas o lagunas de tratamiento que no contienen este tipo de plantas, ya que las tortugas son buenas dispersores de las mismas al llevar buena cantidad de plantas en su caparazón, la misma situación puede ocurrir por la llegada de numerosas especies de aves acuáticas.

Es necesario mantener la superficie del agua lo más limpia posible de materiales flotantes que son un problema para la proliferación de las plantas flotantes sobre todo a las especies de la familia Lemnaceae.

La siembra de Lemna podría considerarse con poblaciones no puras, sino que combinada con Spirodela, las que demuestran tener buena capacidad para competir con natas y sobrenadantes, además de que en condiciones naturales, las dos especies pueden coexistir.

El material cosechado puede ser compostado para la preparación de abono, el que podría ser utilizado como dieta complementaria para aves o porcinos luego de un riguroso análisis sobre la calidad del mismo en cuanto a patógenos y toxinas.

## 8.BIBLIOGRAFÍA

Agüero L.M, Palacios M. Biología de *Phragmites australis* (Cav) Trin. Ex Steudel (No publicado).

Apaza R., et al 1994. Purificación de Aguas Residuales y producción de Lemnáceas en Estanques . Segunda Reunión Boliviana de Limnología. La Paz, Bolivia.

Croat, B. Th (Borrador) Araceae. Missouri Botanical Garden.

Davenport L.J. Lemnaceae. Department of Biology, Sanford, University, Birmingham.

EPA 1625/1-881022. 1988 Pantanos Construidos y Sistemas de Plantas Acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. Manual de Diseño. Center for Environmental Research Information Cincinnati.

Kadlec R.H. y Knight R.L. 1996. Treatment Wetlands. Ed. Lewis Publishers. United States of America.

Kavet J. Et al 1995. Vascular Plants Suitable For Wastewater Treatment. Institute of Botany, Academy of Sciences of the Czech Republic, Dukelská 145.

Landolf E. 1986. The family of Lemnaceae. A monographic study (Vol 1) Veröff Geobot. Inst. ETH Stiftung Rúbél Zürich 71: 1-566

Mendoza B. A y Quintana A.I. 1988. Comportamiento de Macrofitas Flotantes en Lagunas de Tratamiento de Aguas Residuales . Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua – León.

Metcalf-Eddy . 1981. Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales 2da Ed. Editorial Labor S.A. Barcelona . España.

Pohl R.W. (Borrador) Poaceae. Missouri Botanical Garden.

Roldan P.G. 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Ed. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

UNI-PIDMA. 1997. Aplicación de plantas macrofitas en El Cocal- León. Memoria de Diseño , Managua, Nicaragua . Vol 1.

## 9. ANEXOS

### 9.1 Cuadros

Cuadro 1. Macrofitas comunes utilizadas en sistemas de humedales y presentes en la flora de Nicaragua.

<b>Grupo</b>	<b>Familia</b>	<b>Géneros</b>	<b>Forma de vida</b>			
Helechos	Salviniaceae	Salvinia, Azolla	Flotante			
Monocotiledóneas	Alismataceae	Sagitaria	Emergente			
	Araceae	Pistia	Flotante			
	Cannaceae	Canna	Herbáceas emergente			
	Cyperaceae	Cyperus, Carex, Eleocharis, Rhinchospora, Scirpus	Hierbas emergentes			
				Hydrocharitaceae	Elodea	Sumergida, con las flores emergentes
				Lemnaceae	Lemna, Spirodela, Wolffia	Flotantes
	Poacea	Panicum, Paspalum, Phragmites	Hierbas emergentes (ocasionalmente enraizadas con las hojas flotantes)			
				Pontederiaceae	Eichhornia, Pontederia	Flotantes, ocasionalmente enraizadas
				Typhaceae	Typha	Emergente
	Dicotiledóneas	Apiaceae	Hydrocotyle	Enraizadas o hierbas flotantes		
Nymphaeaceae		Nymphaea	Enraizadas con hojas flotantes			
Onagraceae		Ludwigia	Hierbas, subarbustos			
	Polygonaceae	Polygonum	Hierbas emergentes			

Cuadro 2. Malezas asociadas a las plantaciones de Phragmites en el proceso de establecimiento, en las lagunas de tratamiento secundario.

**DICOTILEDÓNEAS**

<b>Familia</b>	<b>Especies</b>
Amaranthaceae	Amaranthus spinosus
Asteraceae	Baltimora recta
Caesalpiaceae	Senna obtusifolia
Capparaceae	Cleome viscosa
Convolvulaceae	Ipomoea spp
Euphorbiaceae	Chamaesyse hisiopifolia
Euphorbiaceae	Euphorbia heterophylla
Euphorbiaceae	Phyllantus niruri
Malvaceae	Sida acuta
Nyctaginaceae	Boerhavia erecta
Sterculiaceae	Melochia pyramidata

**MONOCOTILEDÓNEAS**

Cyperaceae	Cyperus odoratus
Cyperaceae	Cyperus rotundus
Poaceae	Brachiaria mutica
Poaceae	Cynodon dactylon
Poaceae	Digitaria sanguinalis
Poaceae	Echinocloa colonum
Poaceae	Eleusine indica
Poaceae	Rotboelia cochinchinensis

Cuadro 3. Fauna asociada a plantaciones de Phragmites en lagunas de tratamiento secundario.

<b>INSECTOS</b>	<b>PECES</b>	<b>REPTILES</b>	<b>AVES</b>
<b>Familias</b>	<b>Familia</b>	<b>Familias</b>	<b>Familias</b>
Afidae	Poecilidae	Emydae	Icteridae
Athricidae		Kinostermidae	Laridae
Coccinelidae			Phalacrocoracidae
Chironomidae			Protophagidae
Hydrophillidae			Tereskiortidae
Simulidae			
Sirphidae			
Stratiomidae			

Cuadro 4. Estimación del tiempo necesario (días) que requiere Lemna para alcanzar cobertura de cosecha (100%) a diversas densidades de siembra en condiciones de aguas residuales. Finca El Ojoche. León. 1997.

Repeticiones	Cobertura de siembra					
	5%	10%	15%	20%	30%	40%
1	5	5	4	8	5	5
2	5	4	3	6	7	7
3	4	3	3	8	7	10
4	5	3	3	7	6	5
5	5	5	4	8	10	4
6	5	5	4	4	6	5
7	6	4	4	5	5	5
8	6	6	4	5	5	4
9	8	7	8	3	3	2
10	7	6	5	3	3	2
<b>Promedio</b>	<b>5.6</b>	<b>4.8</b>	<b>4.2</b>	<b>5.7</b>	<b>5.7</b>	<b>4.9</b>

Cuadro 5. Estimación del tiempo necesario (días) que requiere Lemna para alcanzar cobertura de cosecha (100%) a diversas densidades de siembra en condiciones de aguas residuales. El Cocal. León. 1997

Repeticiones	Cobertura de siembra					
	5%	10%	15%	20%	30%	40%
1	5	4	4	4	3	3
2	4	3	3	3	3	3
3	4	3	3	3	3	3
4	4	3	3	3	4	4
5	4	3	3	3	4	4
6	4	3	3	3	3	3
7	4	3	3	3	4	4
8	4	3	3	3	3	3
9	4	3	3	3	4	4
10	4	3	3	3	4	4
<b>Promedio</b>	<b>4.1</b>	<b>3.1</b>	<b>3.1</b>	<b>3.1</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>

Cuadro 6. Diámetro de las plantas de *Spirodella polirhiza* creciendo en aguas residuales y en aguas naturales

Número de la muestra	Aguas Residuales			Aguas Naturales		
	Promedio (mm)	Máximo (mm)	Mínimo	Promedio (mm)	Máximo (mm)	Mínimo
I	5.5	5	7	6.1	5	7
II	6.2	5	7	5.2	4	7
II	6.0	4	8	5.3	5	6
IV	5.7	5	6	5.9	4	6

Cuadro 7. Longitud y número de raíces de *Spirodella polirhiza* en aguas residuales en El Cocal.

Número del muestreo	Longitud			Número de raíces		
	Promedio (mm)	Máximo (mm)	Mínimo	Promedio (mm)	Máximo (mm)	Mínimo
I	12.5	3	29	6.6	3	10
II	17.6	9	26	10	9	26
II	12	6	20	9.2	4	18
IV	17	12	22	11	5	5

Cuadro 8. Longitud y número de raíces de *Spirodella polirhiza* en condiciones naturales el Río El Ojoche. León.

Número del muestreo	Longitud			Número de raíces		
	Promedio (mm)	Máximo (mm)	Mínimo	Promedio (mm)	Máximo (mm)	Mínimo
I	26.9	10	37	8.6	3	15
II	19.3	14	25	12	7	16
II	14.9	6	20	11.8	6	17
IV	23.2	10	22	9	7	12

Cuadro 9. Biomasa de *Spirodela polyrhiza* en aguas residuales y aguas naturales

Repeticiones	Aguas Residuales		Aguas Naturales	
	Peso húmedo (gr/m <sup>2</sup> )	Peso seco (gr/m <sup>2</sup> )	Peso húmedo (gr/m <sup>2</sup> )	Peso seco (gr/m <sup>2</sup> )
I	1502.7	74.3	478.0	20
II	1240.9	101.8	364.3	16
III	1085.2	64.0	211.8	14.6
IV	1361.6	103.6		
V	1626.5	116.6		
VI	775.9	67.2		
VII	953.6	77.1		
<b>Promedio</b>	<b>1220.91</b>	<b>86.37</b>	<b>351.37</b>	<b>16.87</b>

Cuadro 10. Fauna acompañante de *S. Polirhyza* en aguas residuales El Cocal.

Orden	Familia	Género	Estadío
Diptera	Stratiomyidae	Stratiomys	Pupa
Diptera	Vellidae	Microvelia	Adulto
Diptera	Chironomidae		Larva
Coleoptera	Hdrophidae	Tropisternus	Adulto
Coleoptera	Hidrophilidae	Helochares	Larva

Cuadro 11. Diámetro de las plantas y longitud de raíces de *Pistia striatiotes* en aguas residuales. El Cocal

Muestra	Diámetro (cm)			Longitud (cm)		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
1	5.7	4.5	7.6	5.8	4.5	7.0
2	10.3	8.0	12.0	12.5	8.0	15.0
3	12.7	11.0	21.0	13.9	10.0	16.0
4	19.7	16.0	22.0	11.5	9.0	23.0
5	21.6	18.0	26.0	17.6	14	25.0
6	26.5	19.0	35.0	19.2	16.0	23.0
7	27.5	20.0	36.0	17.2	13.0	21.0
8	29.9	20.0	38.5	18.1	11.0	25.0
9	34.1	26.0	42.0	15.1	10.0	20.0
<b>Promedio</b>	<b>20.89</b>	<b>15.33</b>	<b>22.01</b>	<b>14.54</b>	<b>10.11</b>	<b>9.89</b>

Cuadro 12. Diámetro de las plantas y longitud de raíces de *Pistia striatiotes* en condiciones naturales

Muestra	Diámetro (cm)			Longitud (cm)		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
1	18.8	9	29	10.4	5	20
2	17.1	13	25	10.6	6	19
3	14.7	10	24	8.6	5	19

Cuadro 13. Biomasa de *P. Striatiotes* en aguas residuales y naturales

Repeticiones	Aguas Residuales		Aguas Naturales	
	Peso húmedo (gr/m <sup>2</sup> )	Peso seco (gr/m <sup>2</sup> )	Peso húmedo (gr/m <sup>2</sup> )	Peso seco (gr/m <sup>2</sup> )
I	2693.4	158.5	887.1	32.6
II	4050.2	193.0	649.6	28.1
III	5256.4	130.7	625.0	27.0
IV	3528.6	160.9		
V	4368.0	204.1		
VI	4523.9	168.8		
<b>Promedio</b>	<b>4115.1</b>	<b>169.3</b>	<b>720.56</b>	<b>29.23</b>

Cuadro 14. Fauna asociada de *P. Striatiotes* en aguas residuales El Cocal.

Orden	Familia	Género	Estadío
Homoptera	Aphidae	Aphis	Adulto
Coleoptera	Hidroscophidae		Adulto
Coleoptera	Elmidae		Adulto
Coleoptera	Hidrophilidae	Hydrochara	Adulto
Coleoptera	Hidrophilidae	Hydrobiomorfa	Adulto
Coleoptera	Coccinelidae		Adulto
Odonata	Libellulidae		Larva
Chelonia	Emydae	Trachemys	Adulto
Gastropoda	Physidae	Physa	Adulto
Diptera	Vellidae	Microvelia	Adulto

Cuadro 15. Fauna asociada de *P. Striatotes* en aguas residuales El Cocal

Localidad	Orden	Familia	Género	Estadío
Río Tamarindo	Odonata	Libellulidae	Erythemis	Larva
Río Tamarindo	Odonata	Coenagrionidae	Argia	Larva
Río Tamarindo	Coleoptera	Hidroscofidae		Adulto
Río Tamarindo	Coleoptera	Elmidae		Adulto
Río Tamarindo	Mesogastropoda	Hydrobiidae	Litoridinops	Adulto
Río Tamarindo	Lepidoptera	Pyralidae		Larva
Río Ojoche	Diptera	Chironomidae		Larva
Río Ojoche	Diptera	Stratiomidae	Striatomis	Larva

Cuadro 16. Valores de clorofila ( $\text{mg/m}^3$ ) registrados en los diferentes tratamientos en las lagunas de El Cocal en el período Agosto –Noviembre de 1999

Fecha	Vertedero Principal	Laguna A (celda A1)	Laguna B		
			Celda (B1)	Celda (B2)	(Celda B3)
20/08/99	1487.40	1065.60			865.80
27/08/99	1376.40	2042.40			1864.80
03/09/99	1243.20	1021.20			1110.00
10/09/99	640.38	768.46			683.08
17/09/99	256.15	426.92			341.54
24/09/99	512.31	512.31	426.92	85.36	256.15
01/10/99	170.77	341.54	341.54	170.77	170.77
08/10/99	512.31	512.31	426.92	256.15	426.92
15/10/99	597.69	426.92	512.31	426.92	597.69
22/10/99	853.85	341.54	512.31	597.69	597.69
<b>Promedio</b>	<b>765.046</b>	<b>745.92</b>	<b>444.00</b>	<b>307.38</b>	<b>641.44</b>

Cuadro 17. Valores de clorofila ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) registrados en los diferentes tratamientos en las lagunas de El Cocal en el período Octubre - Diciembre de 1999.

<b>Fecha</b>	<b>Vertedero Principal</b>	<b>Laguna A</b>	<b>Laguna B</b>
29/10/99	512.31	597.69	597.69
05/11/99	512.31	512.31	683.08
12/11/99	512.31	597.69	683.08
19/11/99	512.30	597.69	256.15
25/11/99	341.54	512.31	256.15
03/12/99	426.92	597.69	597.69
10/12/99	512.31	426.92	128.08
<b>Promedio general</b>	<b>645.91</b>	<b>664.79</b>	<b>595.08</b>

Cuadro 18. Valores promedio de clorofila( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) registrados en los efluentes de las celdas con y sin plantas

<b>Período</b>	<b>Verteder o Principal</b>	<b>Laguna A (sin plantas)</b>	<b>Celda B1 (Phragmites)</b>	<b>Celda B1 ( Phragmites)</b>	<b>Celda B1 ( Phragmites)</b>
Ago-Sep	765.046	745.92	444.00	307.38	691.44
Ago-Nov	645.91	664.79			595.08

## 9.2 Figuras

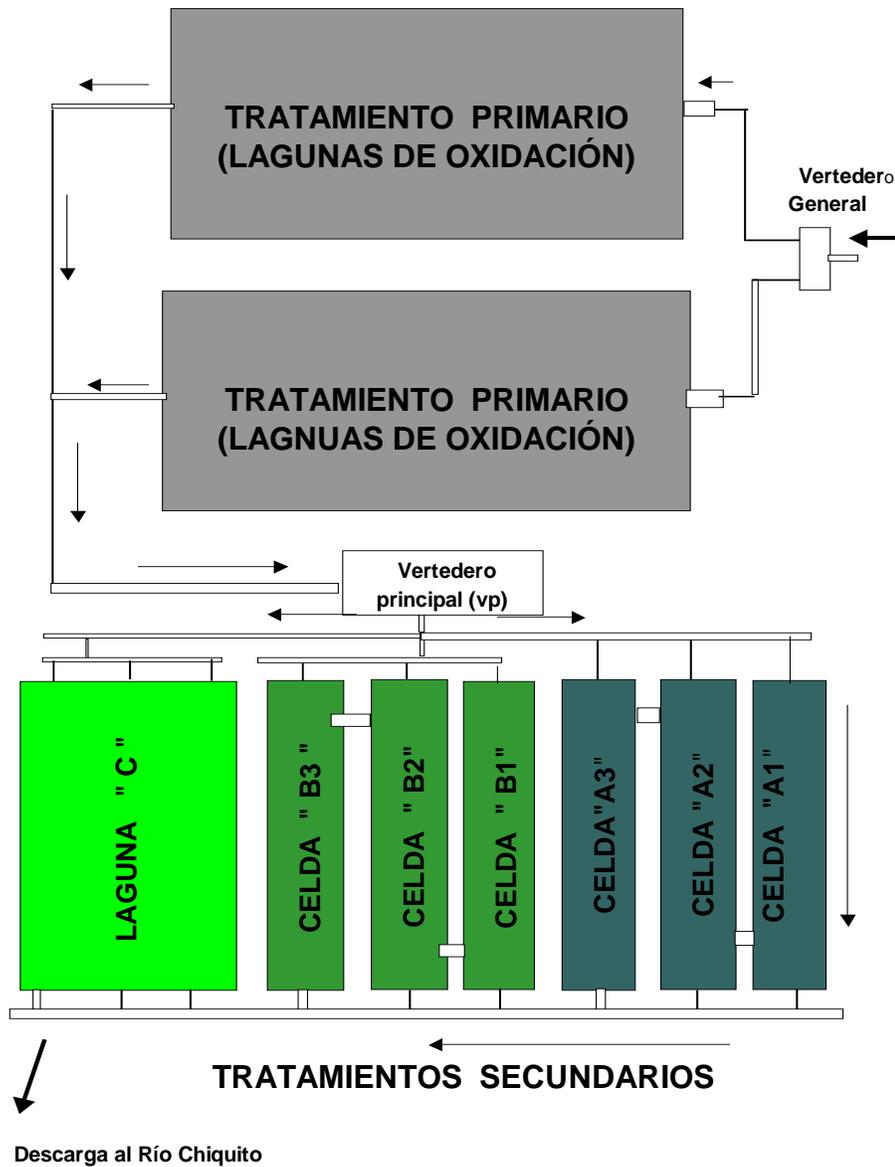


Figura 1. Lagunas de tratamientos de aguas residuales. El cocal. León



Figura 2. Ensayos con lemnas y phragmites en lagunetas experimentales en El Cocal. León.



Figura 3. Lagunas de tratamiento de aguas residuales con lemnaceas y phragmites. El Cocal. León.



