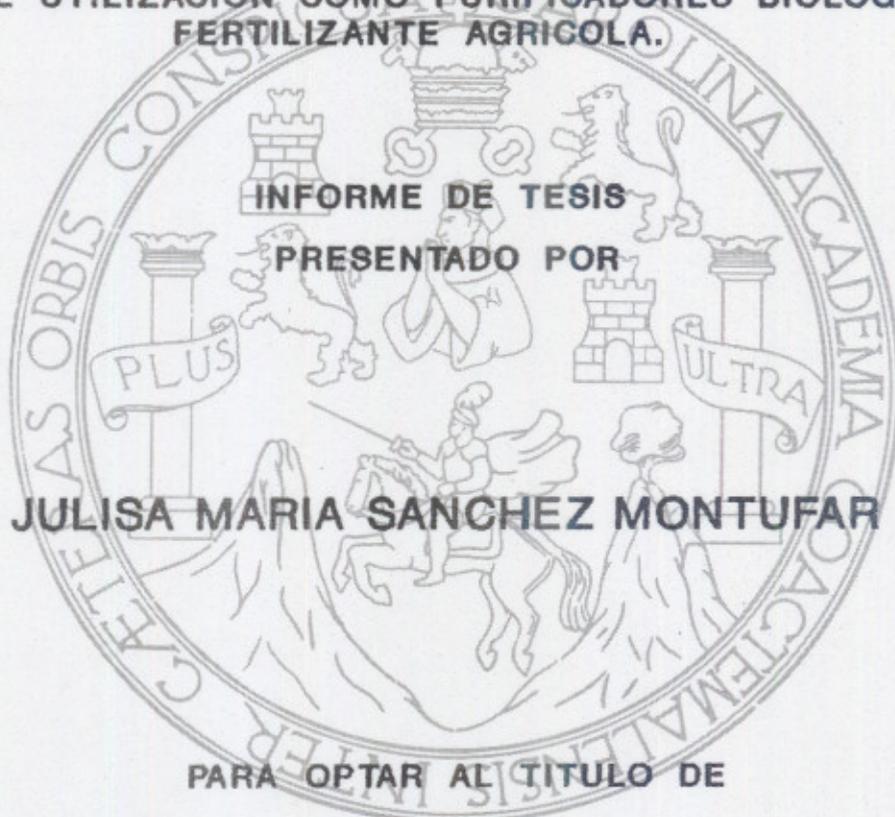


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

**DETERMINACION DE NITROGENO TOTAL, FOSFORO TOTAL
Y METALES PESADOS EN MACROFITAS ACUATICAS DE LA
ESPECIE EICHHORNIA CRASSIPES (LIRIO ACUATICO) DE LA
LAGUNA DE CHICHOJ, ALTA VEBAPAZ, PARA SUGERIR SU
POSIBLE UTILIZACION COMO PURIFICADORES BIOLÓGICOS Y
FERTILIZANTE AGRICOLA.**



QUIMICO

**BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DESCRIPCIÓN 'REGA'
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO**

GUATEMALA, MAYO DE 1994

**PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

DETERMINACION DE NITROGENO TOTAL, FOSFORO TOTAL
Y METALES PESADOS EN MACROFITAS ACUATICAS DE LA
ESPECIE EICHORNIA CRASSIPES (LIRIO ACUATICO) DE LA
LAGUNA DE CHICHOL ALTA VERDE, PARA SUGERIR SU
POSIBLE UTILIZACION COMO PURIFICADORES BIOLÓGICOS Y
FERTILIZANTE AGRÍCOLA.



QUIMICO

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPARTAMENTO DE QUIMICA
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

GUATEMALA, MAYO DE 1984

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
06
T(1204)

JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

DECANA	LICDA. CLEMENCIA DEL PILAR GALVEZ DE AVILA
SECRETARIO	LIC. JOSE FRANCISCO MONTERROSO SALINAS
VOCAL I	LIC. MIGUEL ANGEL HERRERA GALVEZ
VOCAL II	LIC. GERARDO LEONEL ARROYO CATALAN
VOCAL III	LIC. MIGUEL ORLANDO GARZA SAGASTUME
VOCAL IV	BR. JORGE LUIS GALINDO AREVALO
VOCAL V	BR. EDGAR ANTONIO GARCIA DEL POZO

DL
58
(100)

COMUNIDAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA
COMITE DIRECTIVO DE LA

DECANA	LICDA. CLEMENCIA DEL PILAR GALVEZ DE AVILA
SECRETARIO	LIC. JOSE FRANCISCO MONTENEGRO BALLEAS
VOCAL I	LIC. MIGUEL ANGEL HERRERA GALVEZ
VOCAL II	LIC. GERARDO FLORES ARROYO CATALAN
VOCAL III	LIC. MIGUEL ORLANDO GARZA SAGASTUME
VOCAL IV	BR. JORGE LUIS GALINDO AREVALO
VOCAL V	BR. EDUAR ANTONIO GARCIA DEL POZO

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES Julio César Sánchez Mendoza y Mercedes del
 Rosario Montúfar de Sánchez

A MIS HERMANOS María Mercedes, Julio Mariano, César
 Guillermo y María Gabriela

A MI TIA Violeta Montúfar Dardón

A MI FAMILIA

A MIS AMIGOS

AGRADECIMIENTO

Al Lic. Sergio Enrique Molina Mejía.

Al Ing. Enrique Aguilar Sandoval.

A las Secciones Industrial, Radioquímica y Agropecuaria de la Dirección General de Energía Nuclear.

Al Ex-Secretario de la Asociación Cristiana de Jóvenes, Juan Pedro Perdomo.

AGRADECIMIENTO

Al Lic. Sergio Enrique Molina Mejía.

Al Ing. Enrique Aguilar Sandoval.

A las Secciones Industrial, Radiopulsores y Agropecuaria de la
Dirección General de Energía Nuclear.

Al Ex-Secretario de la Asociación Cristiana de Jóvenes, Juan
Pedro Pardo.

INDICE

	CONTENIDO	PAGINA
1.	RESUMEN.....	1
2.	INTRODUCCION.....	3
3.	ANTECEDENTES.....	5
4.	JUSTIFICACIONES.....	16
5.	OBJETIVOS.....	18
6.	HIPOTESIS.....	19
7.	MATERIALES Y METODOS.....	20
8.	RESULTADOS.....	35
9.	DISCUSION DE RESULTADOS.....	37
10.	CONCLUSIONES.....	43
11.	RECOMENDACIONES.....	45
12.	REFERENCIAS.....	46
13.	ANEXOS.....	52

INDICE

PAGINA	CONTENIDO
1	1. RESUMEN.....
3	2. INTRODUCCION.....
5	3. ANTECEDENTES.....
16	4. JUSTIFICACIONES.....
18	5. OBJETIVOS.....
19	6. HIPOTESIS.....
20	7. MATERIALES Y METODOS.....
32	8. RESULTADOS.....
37	9. DISCUSION DE RESULTADOS.....
43	10. CONCLUSIONES.....
45	11. RECOMENDACIONES.....
48	12. REFERENCIAS.....
52	13. ANEXOS.....

1. RESUMEN

Este trabajo se realizó con el objeto de evaluar el potencial de los lirios acuáticos, de la especie *Eichhornia crassipes* colectados en la laguna Chichoj en Alta Verapaz, como fertilizante agrícola en áreas cercanas a cuerpos acuíferos y purificador biológico de aguas naturales a través de la determinación de N total (utilizando el método Kjeldahl), P total (por espectrometría visible) y K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn y Sr (por medio de la técnica de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total).

Para realizar lo anterior se analizaron 32 muestras de lirios, los cuales fueron colectados durante 4 muestreos consecutivos en diferentes épocas climáticas (de septiembre a enero), en los que se tomaron 2 plantas de la misma especie en dos puntos diferentes de muestreo. Luego fueron pesadas, secadas y molidas para la posterior determinación de los elementos arriba mencionados.

Los resultados obtenidos indicaron concentraciones elevadas de N total (1883 ug/g) y P total (1766 ug/g), el primero con mayor cantidad en la parte aérea (hojas y bulbos) y el segundo con valores similares en ambas partes (aérea y raíz) de la planta, mientras que la presencia de metales tóxicos como Pb, Hg y As fué negativa.

También se observó que estas plantas son ricas en K (58708 ug/g en la parte aérea y 16876 ug/g en la raíz) y Ca (29940 ug/g en toda la planta) por lo que pueden ser utilizadas como fertilizante agrícola del tipo compost -confirmándose así lo planteado en la hipótesis-, convirtiendo la planta (en forma completa o sólo la parte aérea) en material seco y pulverizado y de esta manera contribuir en la disminución del proceso de eutroficación de la laguna favoreciendo el enriquecimiento de los suelos.

2. INTRODUCCION

La laguna de Chichoj, ubicada en San Cristóbal Verapaz, departamento de Alta Verapaz, se encuentra invadida de macrófitas de la especie *Eichhornia crassipes*, cuyo nombre común es el jacinto de agua o lirio acuático y que se caracteriza por ser una planta acuática grande, flotante, estolonnífera, con peciolo de base inflada y globosa, sus flores pueden ser blancas o violetas: su habitat se extiende a lo largo de la zona tropical y subtropical. (1,2,3)

En estudios relacionados con esta laguna se ha determinado que la contaminación de sus aguas y las del río Chijuljá provienen de las aguas negras de la villa - poblado que actualmente cuenta con una población de 17,000 habitantes - y de los desechos agro-industriales y pecuarios de la región lo que constituye un grave problema en el proceso de eutroficación de la laguna. (4,5,6)

El jacinto de agua ha sido considerado hasta fechas recientes, como un purificador de aguas residuales y a la vez como una plaga - debido a su acelerada proliferación mediante su reproducción asexual -causante de problemas en la conservación y operación de sistemas de riego, pesca y cultivo de peces, navegación, etc. (3).

Tomando en cuenta lo anterior, se buscó con el siguiente

trabajo sugerir otra forma de aprovechamiento para esta planta, mediante su posible utilización como elemento purificador de aguas eutrofizantes y su posterior uso como fertilizante agrícola, realizando para ello análisis de nitrógeno total mediante el método Kjeldahl, fósforo total utilizando espectrofotometría ultravioleta-visible y metales pesados (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Hg, Pb) utilizando la técnica de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total.

3. ANTECEDENTES

3.1 REPRODUCCION Y COMPOSICION DEL LIRIO ACUATICO.

La reproducción del lirio puede ser sexual (por formación de semillas) y asexual (vegetativamente por medio de estolones). Se reproduce generalmente entre 65 y 70 días y en condiciones ambientales propicias, de 10 plantas se puede llegar a tener una población de 600,000 en un periodo de 8 meses. (3,7)

Estudios sobre la composición del jacinto de agua, han demostrado que constituye una posible fuente de alimentación para animales y humanos; su conversión a productos útiles, tales como compost y metano, a través de una fermentación anaeróbica representa una aproximación promisoría para disminuir los problemas de generación de energía, en los países del tercer mundo. (3,8,9)

El jacinto de agua contiene aproximadamente un 90% de agua; los sólidos secos contienen entre 10 y 25% de proteína cruda, entre 15 y 20% de fibra cruda, entre 0.5 y 3.5% de grasa, y entre 15 y 25% de cenizas; además, son ricos en fósforo, calcio, magnesio, azufre, etc. El perfil de aminoácidos de las proteínas del jacinto de agua se compara favorablemente con las de la semilla de

algodón y soya, siendo especialmente rico en histidina, treonina y leucina. (10)

3.2 FORMAS DE APROVECHAMIENTO DEL LIRIO ACUATICO.

Se han propuesto diversas formas de utilizar las plantas acuáticas; algunas se practicaron durante muchos años y otras, constituyen innovaciones. El empleo de las plantas acuáticas como fertilizantes para abastecer al suelo de materia orgánica y minerales, es uno de los más prácticos y deseables, ya que completa lo que se denomina un ciclo nutriente abierto. El hombre cultiva las tierras, cosecha y luego consume los frutos; pero la mayoría de los desechos humanos no son devueltos al suelo; tampoco su biomasa regresa al suelo cuando el hombre muere, como ocurre con otros organismos. El ciclo nutriente que estaba abierto se cierra cuando las plantas acuáticas de las lagunas de estabilización que procesan las aguas residuales se cosechan para aplicarlas a los campos de agricultura. (11)

Los estudios sobre la capacidad de plantas acuáticas para extraer impurezas han mostrado resultados asombrosos. Por ejemplo, redujeron la DBO más del 97%, los sólidos totales suspendidos 95%, el nitrógeno y el potasio 99%, el sílice 87%, y el fosfato de 60 a 65%. La pérdida de agua a través de la transpiración fue superior al 50% del volumen aplicado, lo cual reduce

significativamente el volumen de aguas residuales que se tienen que tratar. (12)

En otro estudio, se determinó la contribución relativa de los lirios, cuando la laguna operaba con estas plantas la DBO del efluente era de 23 mg/l, y los sólidos suspendidos de 6 mg/l. Sin los lirios la DBO era de 52 mg/l, y los sólidos suspendidos de 77 mg/l. La diferencia en favor del uso del lirio acuático fue de 56% para la DBO y de 97% para los sólidos suspendidos.

(13)

El jacinto de agua Eichhornia crassipes ha sido utilizado en diferentes países en la depuración de aguas negras (Brasil, Colombia, Nicaragua y otros) con el fin de librarlas de los metales que se escapan a la acción de bacterias y hongos, las plantas son usadas en las últimas etapas del método conocido como lagunas de decantación; en estas lagunas que varían entre cuatro a cinco estanques de poca profundidad se depositan los sólidos que lleva el agua, lodos que son sustrato principal para la acción de bacterias, que los liberan de materia orgánica principalmente por procesos aeróbicos, pero se escapan varios elementos "no biodegradables": los metales pesados. Es entonces cuando, en las últimas lagunas los lirios, se encargan de extraer gran cantidad de dichos contaminantes. (14)

También se ha determinado que los jacintos acuáticos son capaces de medrar en las aguas de lavado de café hasta una carga aproximada de 3,000 mg por litro de oxígeno en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), obteniéndose dentro de este rango, una reducción del 95% de DQO inicial, durante el período de crecimiento de las plantas. (15)

En India el lirio acuático se ha utilizado con éxito en la producción de papel, en industrias que requieren la inversión de pequeños capitales. También en India, como en otros países, se han instrumentado sistemas que, en menor o mayor escala, utiliza lirios u otras plantas acuáticas como biomasa de fermentación. Y si las plantas no se han contaminado en forma excesiva con metales pesados o plaguicidas, el sedimento que queda después de la producción puede emplearse como fertilizante. (11)

En China, uno de los usos que se le ha dado al lirio acuático durante muchos años ha sido el de suplemento alimentario para cerdos. Estos animales crecen en corrales cercanos a una pequeña laguna, y contribuyen así al crecimiento prolífico de los lirios acuáticos, que se cosechan a diario y se cocinan junto con otros alimentos para los animales. En otros países se ha utilizado el lirio acuático como suplemento alimentario para ganado bovino. (8,11,16,17)

El jacinto de agua ha sido utilizado exitosamente en diferentes esquemas de tratamiento de aguas cloacales, siendo especialmente útil en la remoción de algas, otras partículas suspendidas y DBO (hasta 95-97% de la carga).

(3)

3.3 LIRIOS ACUATICOS COMO CAUSANTES DEL PROCESO DE EUTROFICACION.

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente (CEPIS), centro especializado de la Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud (OPS / OMS), está llevando desde 1981, un Programa Regional para el desarrollo de metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos/embalses cálidos tropicales de América Latina y el Caribe. Aparentemente la mayoría de los lagos/embalses de la región están limitados por fósforo. Un sistema de clasificación de estado trófico de lagos cálidos tropicales y un modelo simplificado de fósforo total se han desarrollado con datos recopilados en la Región y han sido verificados contra datos de embalses africanos. (5)

En la actualidad, se están investigando métodos para obtener beneficios de las malezas acuáticas que crecen prolíficamente en las regiones tropicales y

subtropicales, y que siempre habían sido consideradas como dañinas. Estas plantas en especial el lirio acuático son útiles en la purificación de lagunas de aguas residuales, ya que extraen tóxicos orgánicos e inorgánicos desde el efluente. (18)

En los Estados Unidos se ha demostrado que el cultivo de lirios acuáticos (E. crassipes) en lagunas no profundas es eficaz para extraer algas, bacterias coliformes e impurezas nocivas. Además se ha demostrado que los lirios representan un sistema de filtración muy eficaz para el tratamiento de materiales tóxicos y aguas residuales tanto de origen urbano como industrial. (16,19,20,21,22,23,24)

En muchos trabajos también se sugiere utilizar la biomasa de los liros acuáticos que se cosechan como fuente de energía, producción de biogás y de fertilizantes, en la elaboración de alimentos para animales y humanos. (16,17,20,22)

Un éxito en la erradicación del jacinto E. crassipes es la experiencia mexicana realizada en la presa de Endó (Lara Hernández y Martínez, 1988) donde la cobertura del macrófito, además de los problemas señalados, suponía un grave problema sanitario al ser habitat de grandes densidades de culicidos, vectores de enfermedades (Culex sp., Culiseta sp). Por las características limnológicas

de la presa (profundidad, tamaño) y el uso requerido como laguna de tratamiento de aguas residuales, se optó por un método mecánico de trituración utilizando maquinaria de patente nacional. (5)

En Honduras, asimismo, se ha logrado la remoción manual de la población de *E. crassipes* en el embalse de Los Laureles, favorecido por las características morfométricas del embalse (pequeño tamaño) y la variabilidad climática estacional. (5)

En Guatemala, se han realizado investigaciones a cargo de la DGEN sobre la determinación de la calidad de agua para evaluar la contaminación y eutroficación de la laguna de Chichoj, en los que afirman que la laguna es eutrófica y que las principales causas de su deterioro son las descargas domésticas y agroindustriales. (25) Este proyecto fué impulsado por la Asociación Cristiana de Jóvenes (ACJ), que tiene un campamento educativo-recreativo a orillas de la laguna.

3.4 LIRIO ACUÁTICO COMO CONCENTRADOR DE METALES Y OTROS COMPUESTOS.

En un ecosistema dulceacuícola, los metales pesados provienen generalmente del arrastre por los ríos de materiales contaminados. Estos elementos se pueden unir a la biomasa muerta (plantas, peces, microorganismos,

etc.) y llegar a asentarse en los sedimentos. También son absorbidos por algunas plantas acuáticas, promoviendo la disminución del contenido de metales en el agua, por lo que estas plantas pueden ser utilizadas parcialmente para eliminar agentes químicos nocivos, ya que tienen la propiedad de remover y concentrar estos elementos, encontrándose en algunos casos concentraciones de 4,000 a 20,000 veces más sustancias nocivas en las plantas que en el agua. (26,27)

En Brasil por medio del Instituto de Pesquisas del Amazonia se hacen estudios sobre la actividad de dichas plantas a nivel fisiológico, se afirma que son altamente resistentes a la concentración de los metales pesados (14,28). El mecanismo no es desconocido, ya que las células de las plantas cuentan con vacuolas, sitio de almacenamiento y vertedero de desechos celulares y otras sustancias nocivas que las plantas carentes de un sistema excretor deben almacenar internamente. La vacuola puede contener un gran número de compuestos complejos como alcaloides, azúcares, sales, ácidos, compuestos de nitrógeno, glucósidos, pigmentos antociánicos, grasas, aceites taninos, polisacáridos, cristales de oxalato de calcio (venenosos para la planta). Dentro de los productos más dañinos que se han encontrado en las vacuolas está el ácido sulfúrico en algas marinas a una concentración de 1 N y de metales

(28) pesados en monocotiledóneas acuáticas, en concentraciones mucho más elevadas de lo que un organismo es capaz de soportar. (29)

En muestras provenientes de once lugares de la República de México se hicieron análisis del contenido de 5 metales pesados (arsénico, mercurio, plomo, cadmio y cobre), considerados como los más peligrosos, en el lirio acuático. Los resultados revelaron que el lirio acuático acumula principalmente mercurio y plomo en cantidades consideradas tóxicas por las normas mundiales para alimentos. Los metales con un peso atómico menor se acumulan en las hojas, los que poseen peso atómico mediano se acumulan en los brotes y los metales más pesados como plomo y mercurio se acumulan en la raíz. (30)

Los lirios acuáticos han demostrado tener capacidad para concentrar plomo, cadmio y mercurio a niveles cientos de veces mayores que los que se encuentran en su ambiente acuático. Sobre las bases de las observaciones de extracción, se estima que una hectárea de lirios acuáticos podría purificar 2 millones de litros de agua contaminada con 1 ppm de cadmio, 2.2 millones de litros de agua contaminada con 10 ppm de plomo y 3.4 millones de litros de agua contaminada con 1 ppm de mercurio, todo en 96 horas. Una laguna de un acre, con una

profundidad de 1 metro, podría extraer esta carga. (31)

Se ha investigado la tasa de extracción de hierro y manganeso efectuada por el lirio acuático (*E. crassipes*) y se comparó con la del fósforo para determinar los efectos de la pérdida de algunos micronutrientes; los resultados indicaron que los 3 elementos son absorbidos activamente por las raíces, pero las tasas de absorción son diferentes. La tasa de absorción del manganeso fue la mayor, seguida por la del hierro, la menor fue la del fósforo. (32)

Otras investigaciones señalan que la extracción del metal se realiza por la captura física de las partículas suspendidas del mineral y su subsecuente quelación en los sitios aniónicos de la pared celular. El desalojo de los cationes normales de plomo y cinc parece no causar daño fisiológico. La cantidad de metales pesados tolerados varía según la especie. (33)

También se han realizado extracciones de fenol, y níquel con lirios acuáticos en sistemas de agua estática. (34,35)

Estudios realizados en el Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara y el Instituto de Ecología A.C., en Xalapa, Veracruz sobre la determinación de la concentración de metales pesados (cadmio, cobre, plomo y

zinc) por Espectroscopía de Absorción Atómica mostraron que en las muestras de lirio acuático degradado los valores fueron muy bajos en la concentración de dichos metales, lo que indica que no existe ningún riesgo de raíz. (36)

Los valores de los lírios reconocidos para el lago oligotrófico, situación que ha provocado un crecimiento acelerado de algas y macrofitas(4), que a su vez, ha causado que en los últimos 45 años la laguna haya perdido 71.6 Ha (85% de su área). Por tanto, el tal crecimiento de vegetación no es adecuadamente controlado. La laguna se encuentra gravemente afectada hasta el punto de su desaparición.

Tomando en cuenta que los lírios acuáticos son considerados como concentradores de ciertos elementos, podría aprovecharse esta propiedad para disminuir la cantidad de nutrientes que han sido extraídos en las aguas de drenaje y que se depositan en la laguna para lograr de esta manera un descenso en el proceso de eutrofización de la misma.

A su vez, podría utilizarse la eutrofización de macrofitas - antes que éstas se sedimenten en el fondo de la laguna - como un tipo de fertilizante agrícola para regiones cercanas a cuerpos acuáticos, siempre y cuando éstas presenten las concentraciones requeridas de nitrógeno y fósforo, y si las concentraciones de metales pesados (Pb, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Hg y Cd) se encuentran

4. JUSTIFICACIONES

Estudios realizados sobre la laguna de Chichojo han demostrado que las concentraciones de nitrógeno y fosfatos superan los límites reconocidos para un lago oligotrófico, situación que ha provocado un crecimiento acelerado de algas y macrófitas(4), que a su vez, ha causado que en los últimos 45 años la laguna haya perdido 71.6 Ha (65% de su área). Por tanto, si tal crecimiento de vegetación no es adecuadamente controlado, la laguna se encontraría gravemente afectada hasta el punto de su desaparición.

Tomando en cuenta que los lirios acuáticos son considerados como concentradores de ciertos elementos, podría aprovecharse esta propiedad para disminuir la cantidad de nutrientes que han sido arrastrados en las aguas de desecho y que se depositan en la laguna para lograr de esta manera un descenso en el proceso de eutroficación de la misma.

A su vez, podría utilizarse la superpoblación de macrófitas - antes que éstas se sedimenten en el fondo de la laguna - como un tipo de fertilizante agrícola para regiones cercanas a cuerpos acuíferos, siempre y cuando éstas presenten las concentraciones requeridas de nitrógeno y fósforo, y si las concentraciones de metales pesados (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Hg y Pb) es menor o

igual a los requerimientos de un suelo para cultivo.

Así, el lirio acuático se convierte en un agente biológico recuperador de la laguna, extrayendo nutrientes de sus tributarios y trasladándolos al suelo para mejorar su fertilidad. Sin embargo, es necesario determinar la dinámica de esta concentración analizando previamente las plantas para determinar su disponibilidad de nitrógeno y fósforo para el suelo y seleccionando las partes u órganos de la misma que aporten la menor cantidad de metales pesados tóxicos.

fósforo total empleando la técnica
espectrofotométrica VISIBL en juncos acuáticos

R. Grassia

8.2.2 Analizar cuantitativamente el contenido de
metales pesados (Pb, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu,

Ni, As, Rb, Sr, Hg y Pd) en R. Grassia

utilizando la técnica de fluorescencia de rayos X
por Reflexión Total.

8.2.3 Analizar y correlacionar las variaciones de
las concentraciones de nitrógeno, fósforo y

metales pesados en diferentes partes de la planta
(raíz, tallo y hojas) utilizando la Prueba de

Dumas.

8.2.4 Describir un procedimiento general que
permita otra forma de aprovechamiento del juncos
de agua como fertilizante agrícola.

5. OBJETIVOS

5.1. General:

5.1.1 Evaluar el potencial de Eichhornia crassipes como fertilizante agrícola en áreas cercanas a cuerpos acuíferos.

5.2. Específicos:

5.2.1 Analizar cuantitativamente el contenido de nitrógeno total utilizando el método Kjeldahl y fósforo total empleando la técnica espectrofotométrica VISIBLE en jacintos acuáticos E. crassipes.

5.2.2 Analizar cuantitativamente el contenido de metales pesados (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Hg y Pb) en E. crassipes utilizando la técnica de Fluorescencia de rayos X por Reflexión Total.

5.2.3 Analizar y correlacionar las variaciones de las concentraciones de nitrógeno, fósforo y metales pesados en diferentes partes de la planta (raíz, bulbo y hojas) utilizando la Prueba de Duncan.

5.2.4 Describir un procedimiento general que permita otra forma de aprovechamiento del jacinto de agua como fertilizante agrícola.

6. HIPOTESIS

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) como agente concentrador de ciertos elementos es capaz de disminuir los nutrientes que provocan la eutroficación de la laguna de Chichoj, por ello, puede ser utilizado como agente purificador y su excedente poblacional como material fertilizante de suelos, si su contenido en metales pesados es suficientemente bajo.

7.2. Medicos:

7.2.1 Recursos Humanos:

Lic. Sergio Molina (Asesor de Tesis)

Lic. Enrique Aguilar (Coasesor de Tesis)

Dr. Julia Sánchez Montúzar (Tesis)

7.2.2 Recursos Institucionales:

Laboratorio de las Secciones Industrial,
Agropecuaria y Radiopónica de la Dirección
General de Energía Nuclear (DGEN).

Biblioteca del Instituto Centroamericano de

Investigación y Tecnología Industrial

(ICAITI)

Biblioteca de la Facultad de Agronomía de la

Universidad de San Carlos de Guatemala

Biblioteca de la Universidad del Valle de

Guatemala

7. MATERIALES Y METODOS

7.1. Universo de trabajo:

Se analizaron 32 jacintos de agua de la especie E. crassipes procedentes de la laguna de Chichoj (Alta Verapaz). El muestreo se realizó en dos puntos diferentes de la laguna y se recolectaron 2 muestras de lirios en cada punto durante 4 muestreos consecutivos.

7.2. Medios:

7.2.1 Recursos Humanos:

Lic. Sergio Molina (Asesor de Tesis)

Lic. Enrique Aguilar (Coasesor de Tesis)

Br. Julisa Sánchez Montufar (tesista)

7.2.2 Recursos Institucionales:

Laboratorios de las Secciones Industrial, Agropecuaria y Radioquímica de la Dirección General de Energía Nuclear (DGEN).

Biblioteca del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI).

Biblioteca de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Biblioteca de la Universidad del Valle de Guatemala.

7.3. Procedimiento

Para la realización del presente trabajo se incluyeron los siguientes pasos: 7.3.1) recolección de plantas , 7.3.2) secado y molienda, 7.3.3) análisis de metales pesados, 7.3.4) análisis de fósforo total y, 7.3.5) análisis de nitrógeno total; lo anterior fué practicado en la parte aérea (bulbos y hojas) y en la parte acuática (raíz) del lirio acuático. Las digestiones que se realizaron para cada una de las partes mencionadas fueron incluidas dentro del tipo de análisis (metales pesados, N y P) que se llevó a cabo.

7.3.1 Recolección de muestra.

Los jacintos de agua fueron recolectados en 2 puntos de la laguna, el punto A que se encuentra a orillas del campamento de la ACJ y, el punto B a orillas del Parque Chichoj ubicado frente a GUATEL en San Cristobal Verapaz. En cada uno de los puntos se recolectaron 2 lirios acuáticos de la especie Eichhornia crassipes, y se eligieron aquéllos que tenían un número similar de bulbos y un tamaño de raíz también semejante, esto se realizó durante 4 muestreos consecutivos. Para

esta etapa sólo fueron necesarias 2 cajas plásticas o 2 hieleras grandes.

7.3.2 Secado y molienda.

Antes de proceder al secado de las muestras se separaron las raíces (parte acuática) de los bulbos y hojas (parte aérea) y se les determinó el peso húmedo a ambas partes. La parte aérea y la raíz de los lirios fueron secados en horno (marca Fisher) a una temperatura no mayor de 50°C ya que con esta temperatura, a pesar que requiere de mayor tiempo, ocurre prácticamente sin pérdidas de Hg, Sn, Si, As, Sb y Se que se pierden a temperaturas mayores de 80°C. (37)

Una vez, alcanzado un peso seco constante en las muestras, éstas fueron molidas (también por separado) con un molino marca Retsch utilizando un tamiz con tamaño de partícula de 0.5 mm y fueron colocadas en frascos plásticos dentro de una desecadora.

7.3.3 Análisis de metales pesados por Reflexión Total de Rayos X.

7.3.3.1 Equipo:

Sistema de reflexión Total de Rayos X, con tubo de Molibdeno. Generador de Rayos X

Philip: PW 1729 con una potencia máxima de 2,500 w, rango de voltaje 5-50 Kv, rango de corriente de 0-100 mA. Condiciones de operación: 40 Kv y 20 mA. (38)

7.3.3.2 Materiales y reactivos:

Balanza analítica

Espátula de metal

Mortero y pistilo de ágata

Probeta graduada de 10 ml

Estufa

Beakers de teflón

Pipetas

Pipeta plástica

Perilla de succión

Acido nítrico concentrado grado analítico

Acido clorhídrico concentrado grado analítico

Agua destilada

Solución estándar de Se 1000 ppm

Muestra de raíz, bulbo y hojas de lirio acuático

Reflectores de cuarzo SUPRASIL

7.3.3.3 Procedimiento:

Digestión:

7.3.3.3.1 Pesar con en un beaker de teflón

aproximadamente 0.0100 g de muestra.

7.3.3.3.2 Agregarle 3 ml de ácido nítrico con una probeta graduada. CON CUIDADO. No se debe agregar más de 3 ml ya que puede sobrecargar la bomba y explotar durante la digestión y usar guantes para protegerse de los vapores del HNO_3 .

7.3.3.3.3 Armar la bomba de digestión y apretar la tapadera hasta que ya no gire con la mano. No debe estar excesivamente apretada.

7.3.3.3.4 Colocar la bomba de digestión en el campo de calentamiento y dejar digerir a una temperatura que se elevará a 75°C durante 15 minutos, luego hasta 125°C por otros 15 minutos y finalmente 160°C 15 minutos más.

7.3.3.3.5 Dejar enfriar la bomba por media hora, sacar el beaker de teflón de la bomba.

7.3.3.3.6 Trasvasar a un recipiente adecuado (de polietileno) rotularlo bien. Hacer 2 lavados cuantitativos al beaker con agua destilada y agregarlos al recipiente. Usar un volumen máximo de 5 ml en los lavados para evitar una dilución mayor de los elementos presentes.

7.3.3.4 Cuantificación:

7.3.3.4.1 Agregar 200 ul de estándar interno de Selenio 1000 ppm al recipiente. Agitar. Rotular la cantidad de estándar agregado.

7.3.3.4.2 Colocar aproximadamente 2 ul en el centro del reflector de cuarzo. Secar en una desecadora conectada al sistema de vacío.

7.3.3.4.3 Encender el generador de rayos X y fijar las condiciones de operación en 40 Kv y 20 mA (Mo/40/20). Verificar que el sistema de Reflexión Total esté alineado. Colocar el reflector e irradiar la muestra por 1000 seg. Hacer cada muestra por duplicado.

7.3.3.4.4 Grabar el espectro obtenido por medio del multicanal, en el disco duro de la computadora.

7.3.3.4.5 Obtener las áreas de los fotopicos de las líneas K-alfa de los elementos de interés, por medio del programa para computadora AXIL.

7.3.3.4.6 Para los cálculos, utilizar la fórmula:

$$C_i = (I_i * C_s) / (I_s * K_i/s) \quad (1)$$

7.3.3.4.1. Agregar 200 ml de estándar interno de Selenio 1000 ppm al reactor. Rotular

en donde:

la cantidad de estándar agregado.

Ci: concentración del elemento i en la muestra en solución.

7.3.3.4.2. Secar en una

Cs: concentración del estándar interno en la solución.

7.3.3.4.3. Encender el generador de rayos X y

Ii: intensidad del elemento i.

7.3.3.4.4. Verificar que el sistema de

Is: intensidad del estándar interno.

reflector e irradiar la muestra por 1000 seg.

Ki/s: constante de sensibilidad del estándar interno respecto al elemento de interés.

7.3.3.4.5. Grabar el espectro en el disco duro de la

computadora.

$$Ci = mi / md \quad (2)$$

7.3.3.4.6. Obtener las áreas de los picos de las líneas K-alfa de los elementos de interés.

mi: masa del elemento i en la muestra en solución.

7.3.3.4.7. Para los cálculos, utilizar la

md: masa de muestra pesada y digerida de las siguientes partes de un lirio

acuático: raíz, bulbo y hojas en base húmeda. Calcular la concentración en base seca.

$$(1) \quad Ci = \frac{Ii \cdot Cs}{Is \cdot Ki/s}$$

7.3.4 Determinación de fósforo total por el método de $H_2SO_4-HNO_3$.

El método que se utilizó para la determinación de fósforo total fué la digestión que utiliza $H_2SO_4-HNO_3$. Después de la digestión se cuantificó el fósforo liberado por medio del método de azul de fosfomolibdeno.

El fósforo total incluye todos los o-fosfatos y fosfatos condensados disueltos y en particular, fósforo orgánico e inorgánico. Para liberar el fósforo de la combinación con materia orgánica, se digiere y oxida. (39)

7.3.4.1 Equipo:

Potenciómetro

Estufa Kjeldahl

Dispensador automático

Espectrofotómetro Varian

Balanza analítica

Agitador múltiple

Vortex

Balones Kjeldahl para análisis micro y semimicro

Pipetas volumétricas de 5, 25 y 50 ml

Pipetas serológicas de 1, 2 y 10 ml

Tubos de ensayo de 10 ml

Beakers de 100, 150 y 250 ml

Espátula

7.3.4.1 Equipos:

- Probetas de 25 ml
- Dispensadores
- Pisetas
- Gradilla para tubos de ensayo
- Agitador de vidrio
- Celdas de cuarzo de 1x3 cm

7.3.4.2 Reactivos:

- Acido sulfúrico 97%
- Acido nítrico 65%
- Fenolftaleína (solución alcohólica indicadora)
- Hidróxido de sodio 4 %
- Acido clorhídrico 1 N
- Tartrato de antimonil potasio (1)
- Heptamolibdato de amonio (1)
- Acido ascórbico (s)
- Fosfato de p-nitro fenilo 98% de pureza
- Agua destilada

7.3.4.3 Procedimiento:

7.3.4.3.1 Digestión y preparación de muestras, controles y blanco.

Pesar 0.2000 g de muestra (raíz y parte aérea separadas) en balones Kjeldahl. Agregar a las muestras 1 ml de H_2SO_4 y 5 ml de HNO_3 . Digerir en platina calefactora dentro de la campana

hasta que el residuo observable tenga un color blanco o amarillento y no se produzcan vapores cafés, hasta casi sequedad. Dejar enfriar.

Transferir cuantitativamente (25 ml) el digerido a un balón de 100 ml, neutralizar con NaOH 4 %, HCl 1 N y fenolftaleína, aforar. Para el blanco pesar 0.2000 g de ácido ascórbico y para los controles pesar 0.0204 g de fosfato de p-nitrofenilo y seguir el mismo procedimiento utilizado con las muestras.

7.3.4.3.2 Preparación de la curva de la calibración: Pesar 0.0221 g de fosfato diácido de potasio 99.5% de pureza y aforar a 100 ml. Tomar una alícuota de 10 ml de la solución anterior y aforarla en un balón de 100 ml; tomar de esta solución alícuotas de 2, 4, 6, 8, y 10 ml y aforarlas todas en balones de 100 ml.

7.3.4.3.3 Determinación de o-fosfatos.

Agregar 0.8 ml de reactivo mixto (20 ml de H_2SO_4 , 3 ml de tartrato de antimonil potasio, 6 ml de heptamolibdato de amonio y 12 ml de ácido ascórbico) a 10 ml (colocados en tubos de ensayo y por duplicado) de los controles, blanco, muestras y patrones preparados anteriormente. Determinar la absorbancia a 880 nm en un espectrofotómetro visible.

7.3.4.4 Cuantificación:

La cantidad del fósforo de o-fosfatos en la muestra se calculó a partir de la ecuación de la línea recta, y se aplicó el método estadístico de regresión lineal para determinar el coeficiente de correlación.

La ecuación de la línea recta es:

$$Y = m x + b \quad (3)$$

donde:

Y: absorbancia medida = A

m: pendiente de la recta

x: concentración en mg/kg (ppm) de muestra

b: intercepto en Y

7.3.5 Determinación de nitrógeno total

El método Kjeldahl determina nitrógeno en forma relativa, ya que se trata de un nitrógeno en forma de azida, azina, azo, hidrazona, nitrato, nitrito, nitrilo, nitro, nitroso, oxima y semicarbazona.

En presencia de H_2SO_4 , K_2SO_4 y $HgSO_4$, el nitrógeno amino de muchos materiales orgánicos es convertido a sulfato de amonio ($(NH_4)_2SO_4$). El amoníaco y el nitrógeno-amoniaco libres, también son convertidos a $(NH_4)_2SO_4$. Durante la digestión de la muestra, se forma el complejo mercurio-amonio. Después que este complejo ha sido descompuesto por el tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$) el amoníaco es destilado de un medio alcalino y absorbido en el ácido bórico. El amoníaco es determinado por colorimetría o por titulación con ácido mineral estandarizado. (39)

7.3.5.1 Equipo:

Balanza analítica
Balones Kjeldahl para análisis semimicro
Perlas de ebullición
Beaker de 250 ml
Espátula de metal
Estufa Kjeldahl
Campana de extracción de gases
Destilador y titulador automático Kjeltec 1030
Probeta de 25 ml
Piseta

7.3.5.2 Reactivos:

Sulfanilamida p.a. 99% de pureza

Oxido de mercurio (s)
Sulfato de sodio (s)
Acido sulfúrico concentrado al 97%
Acido nítrico concentrado al 65%
Hidróxido de sodio 0.1 N
Acido clorhídrico 0.1 N
Indicador rojo de metilo
Indicador verde de bromocresol
Agua destilada

7.3.5.3 Procedimiento:

Para la determinación de nitrógeno Kjeldahl se optó por seguir el método estandarizado por la Sección de Radioquímica de la DGEN para sedimentos que se fundamenta en el método Kjeldahl semimicro del Standard Methods con la diferencia que en la técnica seleccionada se utilizó el Auto-Kjeltec 1030 como destilador y titulador automático. (40)

Pesar 2.0000 g de raíz o de parte aérea del lirio acuático por separado. Agregar a 0.05 g de sulfanilamida (Patrón) 3 g de mezcla catalítica (óxido de mercurio) y 3 ml de H_2SO_4 (ajustar la cantidad de ácido para humedecer la muestra si fuera necesario, conservando la

relación $H_2SO_4:Na_2SO_4$ (1 ml:1 g). Digerir en estufa Kjeldahl hasta que la muestra se torne amarillo-pajizo. Dejar enfriar y agregar aproximadamente 25 ml de agua destilada. Destilar y titular con HCl 0.1 N en Auto-Kjeltec.

7.3.5.3 Cuantificación:

El porcentaje de nitrógeno total se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% N = Va * Na (1.40007) / Mm \quad (5)$$

donde:

Va: volumen de ácido utilizado durante la titulación.

Na: normalidad del ácido utilizado.

Mm: peso de la muestra en gramos.

7.3.6 Análisis estadístico de los resultados.

Los valores obtenidos de nitrógeno y fósforo total y de metales pesados fueron tratados mediante un análisis de varianza tomando en cuenta: el punto donde fué tomada la muestra, las réplicas de especímenes en cada punto de muestreo, partes de la planta que fueron analizadas, número

de muestreos y época en que fueron colectados los
lirios acuáticos.

Finalmente se aplicó la Prueba de Duncan.

7.3.3.3 Cuantificación:
El porcentaje de nitrógeno total se calculó con
la siguiente ecuación:
$$N = Va * Na (1.40007) / Mm \quad (8)$$

donde:
Va: volumen de ácido utilizado durante la
titulación.
Na: normalidad del ácido utilizado.
Mm: peso de la muestra en gramos.

7.3.6 Análisis estadístico de los resultados.

Los valores obtenidos de nitrógeno y fósforo
total y de metales pesados fueron tratados
mediante un análisis de varianza tomando en
cuenta el punto donde fue tomada la muestra, las
réplicas de especímenes en cada punto de muestreo,
partes de la planta que fueron analizadas, número

B. RESULTADOS

TABLA 1. VALORES PROMEDIO DE N, P, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn Y Sr CON RESPECTO A LA PLANTA (1 Y 2), PARTE (RAIZ R, PARTE AEREA A), ESTACION (A Y B), MUESTREO (M1, M2, M3 Y M4) Y EPOCA (LLUVIOSA L, INTERMEDIA I Y SECA S).

ELEMENTO	PLANTA	PARTE	ESTACION	MUESTREO	EPOCA
N	1194	A= 1883 R= 505	1194	1194	1193
P	1766	1766	1766	M4=2376 M1,3=1757 M2=1176	S=2376 L=1948 I=1370
K	37792	A=58708 R=16876	37792	37792	39147
Ca	29940	29940	B=36658 A=23222	29940	30724
Mn	1827	R=2798 A= 856	B=2510 A=1144	M3,4=275 M1,2= 903	1873
Fe	6200	R=11291 A=1110	6200	6201	6157
Cu	342	352	341	342	333
Zn	356	R=424 A=289	356	356	368
Sr	69	69	69	70	69

NOTA: TODOS LOS VALORES ESTAN REPORTADOS EN UG/G EN BASE AL PESO SECO.

TABLA 2. VALORES DE PROBABILIDAD CON RELACION A LA PLANTA, PARTE DE LA PLANTA, ESTACION DE RECOLECCION, MUESTREO Y EPOCA EN QUE SE COLECTARON LOS LIRIOS ACUATICOS.

ELEMENTO	PLANTA	PARTE	ESTACION	MUESTREO	EPOCA
N	0.3827	0.0001	0.2387	0.9545	0.0
P	0.0804	0.4240	0.3038	0.0001	0.0
K	0.2345	0.0001	0.0944	0.4757	0.0
Ca	0.4127	0.2057	0.0429	0.1489	0.0
Mn	0.5492	0.0027	0.0272	0.0294	0.0
Fe	0.9735	0.0005	0.9163	0.4791	0.0
Cu	0.7739	0.1456	0.9241	0.7540	0.0
Zn	0.6884	0.0398	0.0860	0.0800	0.0
Sr	0.7311	0.6774	0.2861	0.1132	0.0

9. DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados se obtuvieron realizando un análisis de varianza a través del programa SAS (Statistical Analytical System) utilizando métodos lineales generales (GLM) y la diferencia múltiple de medias utilizando la prueba de Duncan.

El análisis estadístico de las réplicas para N, P, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn y Sr indicó que no existe diferencia significativa entre los resultados de cada réplica, obteniéndose valores promedio de 1194 ug/g de N, 1766 ug/g de P, 37792 ug/g de K, 29940 ug/g de Ca, 1827 ug/g de Mn, 6200 ug/g de Fe, 342 ug/g de Cu, 356 ug/g de Zn y 69 ug/g de Sr, ya que los valores de probabilidad fueron mayores a 0.05 como se indica en la Tabla 2 lo cual significa que la precisión de la ejecución del análisis es buena.

Con relación a las concentraciones de los elementos analizados tanto en la parte aérea como en la raíz, se observó que la cantidad de N y K es mayor en la parte aérea que corresponde a los bulbos y hojas del lirio acuático (1883 ug/g de N y 58708 ug/g de K) que en la raíz de dicha planta (505 ug/g de N y 16876 ug/g de K), ambos con una probabilidad de 0.0001.

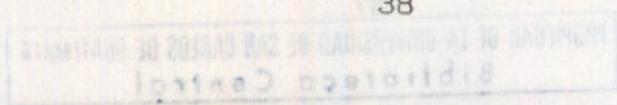
Sin embargo las concentraciones de Mn, Fe, y Zn fueron mayores en la raíz (2798 ug/g de Mn, 11291 ug/g de Fe y 424

ug/g de Zn) con probabilidades de poseer cada parte (aérea y raíz) igual concentración del elemento de 0.0027, 0.0005 y 0.0398 respectivamente, debido principalmente a que dichos elementos tienden a formar complejos poco solubles con otras sustancias orgánicas presentes en el medio en que se desarrollan, impidiendo de esta manera su ascenso hacia las hojas y bulbos del lirio acuático.

Para el caso del P, Ca, Cu y Sr se obtuvo los mismos valores de concentración tanto en la raíz como en la parte aérea (1766 ug/g de P, 29940 ug/g de Ca 352 ug/g de Cu y 69 ug/g de Sr) con probabilidades de 0.4240, 0.2057, 0.1456 y 0.6774 para cada elemento según el orden mencionado.

Con respecto a las estaciones de muestreo, punto A (a orillas del campamento de la ACJ) y punto B (frente a GUATEL en San Cristobal Verapaz), no se observó diferencia estadística en las concentraciones obtenidas para los elementos N, P, K, Fe, Cu, Zn y Sr (1194, 1766, 37792, 6200, 341, 356 y 69 ug/g respectivamente) entre las plantas colectadas en el punto A y las colectadas en el punto B; todos estos valores con probabilidades mayores a 0.05 como se muestra en la tabla 2.

Los resultados del párrafo anterior indican que las plantas colectadas en ambas estaciones (A y B) están recibiendo una cantidad de nutrientes que probablemente



sobrepase sus necesidades metabólicas, es decir, presentan el contenido máximo de N, P, K, Fe, Cu, Zn y Sr que su capacidad pueda absorber, no observándose una diferencia significativa entre los valores de concentración de las plantas colectadas en el punto A o en el punto B.

Únicamente el Ca y el Mn presentaron una diferencia en sus concentraciones según la estación (A ó B) en que las plantas fueron colectadas, debido a que presentaron mayor cantidad de Ca en el punto B (36658 ug/g) que en el punto A (23222 ug/g), con probabilidades de 0.0429 para el Ca y 0.0272 para el Mn.

En lo que se refiere al tiempo en que fueron realizados los muestreos (4 muestreos realizados en intervalos de 1 mes cada uno) puede decirse que para el N, K, Ca, Fe, Cu, Zn y Sr no existe diferencia estadística entre las concentraciones de cada uno de los elementos mencionados (1194, 37792, 29940, 6201, 342, 356 y 70 ug /g respectivamente) y el tiempo en que fueron colectados a través de los cuatro muestreos, todos con probabilidades mayores a 0.05 como se observa en la Tabla 2; lo cual significa que las plantas que fueron colectadas durante los cuatro muestreos siempre recibieron una cantidad suficiente de los elementos arriba mencionados.

Sólo las concentraciones de P y Mn presentaron diferencia entre las plantas a través de los muestreos,

debido a que para el elemento P la concentración fué mayor durante el muestreo 4 (2376 ug/g), menor en el muestro 2 (1176 ug/g) e intermedio para los muestreos 1 y 3 (1757 ug/g), con probabilidades de 0.0001 para el P y 0.0294 para el Mn, lo cual significa que no siempre existió una cantidad suficiente de P y Mn en el transcurso de los cuatro muestreos.

Con relación a la época (lluviosa, intermedia y seca) en que fueron colectadas los lirios acuáticos se observó que para el N, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn y Sr no existió diferencia estadística entre las concentraciones de estos elementos (1193, 3915, 30724, 1873, 6157, 333, 368 y 69 ug/g respectivamente, con probabilidades menores a 0.05 que se indican en la Tabla 2) que absorben las plantas y la época en que éstas fueron colectadas.

Los resultados del párrafo anterior indican que conforme aumenta la época lluviosa existirá una dilución de N, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn y Sr en la laguna, pero a pesar de esto, la cantidad de dichos elementos es suficiente para que no exista diferencia entre las épocas seca, lluviosa e intermedia.

El elemento P fué el único en presentar diferencias en las concentraciones de las plantas y la época en que se colectaron, debido a que se observó mayor cantidad de P (2376 ug/g con una probabilidad igual a cero) en los lirios

acuáticos colectados durante la época seca, una menor cantidad en los colectados durante las época intermedia (1370 ug/g con una probabilidad igual a cero) y un valor intermedio en la época lluviosa (1948 ug/g con una probabilidad igual a cero), lo que indica que la cantidad de P no fue suficiente durante las épocas lluviosa e intermedia.

Según los resultados obtenidos, pudo observarse que el lirio acuático, a través de la acumulación biológica del P, debida a su variación con el contenido de P según la época climática, mostró que: a) la planta absorbe más P cuando mayor es el contenido de P en el agua siendo por tanto capaz de eliminar las consecuencias de la eutroficación del P existente en la laguna Chichoj (41) y b) debido a las condiciones de la laguna (80% eutrófica) no es conveniente que la purificación la realice el lirio en la propia laguna, pues su muerte y descomposición aumenta la eutroficación y se pierde el valor estético de la laguna. Esto sugiere la utilización y control del lirio acuático en estanques o piscinas ubicadas en el tributario de la laguna, para disminuir la cantidad de elementos eutróficos que llegan a ella y mejorar la calidad del agua de la laguna.

En relación al uso del lirio acuático como fertilizante agrícola, los resultados confirman que esta planta acuática puede utilizarse para dicho fin porque la planta no contiene elementos metálicos tóxicos en grandes cantidades y debido a

que el contenido de N, P y K fué elevado como se mencionó anteriormente. Además se conocen algunos fertilizantes que contienen elementos menores como Cu, Zn y Mn en concentraciones hasta de 100, 1000 y 10000 ppm. Los fertilizantes más ricos en Mn son las escorias Thomas (1% - 5%) y los diferentes fertilizantes fosfatados, mientras que las sales potásicas y fertilizantes nitrogenados no sobrepasan 50 ppm de Mn. También los fertilizantes fosfatados son los que presentan los mayores contenidos de Cu y Zn. (42)

10. CONCLUSIONES

1. El lirio acuático de la especie Eichhornia crassipes puede ser utilizado como fertilizante agrícola del tipo compost en las áreas cercanas a la laguna Chichoj ya que su contenido de nitrógeno total (1883 ug/g) es elevado en la parte aérea y de fósforo total (1766 ug/g) en la parte aérea como en la raíz de la planta y debido a la ausencia de metales tóxicos en ambas partes.

2. Los lirios acuáticos colectados en la laguna Chichoj presentan concentraciones elevadas de Mn, Fe y Zn (2798, 1291 y 424 ug/g respectivamente) en la raíz y en la parte aérea se obtuvo concentraciones mayores de N (1883 ug/g) y K (58708 ug/g).

3. Las plantas colectadas tanto en el punto A (a orillas del campamento de la ACJ) como en el punto B (frente a GUATEL en San Cristóbal Verapaz) no presentaron diferencia estadística en las concentraciones obtenidas para N, P, K, Fe, Cu, Zn y Sr, únicamente el Ca y Mn se encontraron en mayor concentración en el punto B.

4. Es posible la utilización del lirio como purificador de aguas eutróficas, a través de la conversión de nutrientes en material biológico y también es factible la utilización de los excedentes del lirio como material

fertilizante del suelo produciendo una disminución del proceso de eutroficación y una mejor contribución a la productividad agrícola.

El lodo acuático de la especie *Hydrilla* puede ser utilizado como fertilizante agrícola del tipo compuesto en las áreas cercanas a la Laguna Chichón ya que su contenido de nitrógeno total (1883 ug/g) es elevado en la parte aérea y de fósforo total (1758 ug/g) en la parte acuática como en la raíz de la planta y debido a la ausencia de metales tóxicos en todas partes.

Los lodos acuáticos colectados en la Laguna Chichón presentan concentraciones elevadas de Mn, Fe y Zn (2788, 1281 y 424 ug/g respectivamente) en la raíz y en la parte acuática se obtuvo concentraciones mayores de N (1883 ug/g) y P (58708 ug/g).

Las plantas colectadas tanto en el punto A (a orillas del campamento de la ACU) como en el punto B (frente a MATRIL en San Cristóbal Verapaz) no presentaron diferencias estadísticas en las concentraciones obtenidas para N, P, K, Fe, Cu, Zn y Sr, únicamente el Ca y Mn se encontraron en mayor concentración en el punto B.

Es posible la utilización del lodo como purificador de aguas eutróficas, a través de la conversión de nutrientes en material biológico y también se facilita la utilización de los excedentes del lodo como material

11. RECOMENDACIONES

1. Determinar el contenido de metales pesados en una población mayor de lirios acuáticos y en un mayor número de puntos de muestreo para obtener una visión global de la laguna y poder establecer las áreas de mayor contaminación. No obstante los puntos y fechas de muestreo aportan plantas útiles para purificación biológica de cuerpos acuíferos y enriquecimiento del suelo.
2. Estudiar las concentraciones de nitrógeno y fósforo total en abonos de origen natural del tipo compost y elaborar una posible fórmula de fertilizante que incluya las partes de la planta ricas en nitrógeno y fósforo y otros metales como potasio y calcio.
3. Iniciar estudios similares en cuerpos de agua pequeños, que presente algún tipo de contaminación ó eutroficación; primero, mediante la utilización de los lirios acuáticos como pre-purificadores biológicos -por su elevada capacidad de concentrar metales y otros contaminantes orgánicos e inorgánicos- en la entrada y salida del cuerpo acuífero y segundo, la utilización de los excedentes de estas plantas flotantes para su posterior uso como fertilizante de origen natural.

12. REFERENCIAS

1. Williams TP, Comprehensive Index to the Flora of Guatemala. Vol. 24. Field Museum of Natural History, 1977.
2. Gómez LD, Las Plantas Acuáticas y Anfibias de Costa Rica y Centroamérica. Parte I: Liliópsida. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia, 1984.
3. Reddy KR, Sutton DL, Waterhyacinths for water quality improvement and biomass production. Journal Environment Quality 1984:13: 1-8.
4. Albizúrez JR, Estudio Ecológico de la Laguna de Chichoj. Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación Facultad de Agronomía), 1984, 63p.
5. Salas HJ, Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos cálido-tropicales. Programa Regional CEPIS/OPS/HPE, 1981-1990.
6. Branco SM, Limnología Sanitaria. Estudio de la Polución de Aguas Continentales. Monografía No. 28. Serie de Biología. Washington, DC: Secretaría de la OEA. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, 1984. 26-33.
7. Weldon LW, Blackburn RD, Harrison D, Common Aquatic Weeds. Nueva York: Dover Publications, 1973.
8. Anónimo. The water hyacinth problem and pig farming. Sci Cult. 1951: 17(6): 231-232.
9. Anónimo. Water hyacinth... friend or foe. Cane Growers

- Bulletin, 1976: 40:28-29.
10. Boyd DE, The nutritive value of three species of water weeds. *Economic Botany*, 23:123-7, 1969.
 11. Lord RD, Uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. Schorr T, Ed. México, DF: ECO/OPS/OMS, 1982.
 12. Simmonds MA, Tertiary treatment with aquatic macrophytes. *Program Water Technologic*, 11:507-518, 1979.
 13. McDonald RC, Wolverton BC, Comparative study of waste water lagoon with and without water hyacinth, *Eichhornia crassipes*. *Economic Botany* 34:101-110, 1980.
 14. Darwish AJ, Descomposición de plantas acuáticas en el Amazonas. Manaus, Amazonas: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia-INPA, 1991. 220p.
 15. Agnew SE, Estudio preliminar del tratamiento de las aguas de lavado del café con jacintos de agua (*Eichhornia crassipes*). Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 1979.
 16. Anónimo. Water Hyacinth From a Bane to a Blessing. UNEP, INFORMATION 56,1-4, 1979.
 17. De Silva D, The water hyacinth a blessing in disguise. United Nations Environment Programme. *Uniterra* 4:2, 1979.
 18. Anónimo. Aquatic plants clean waste water lagoons. *World Water* 3:28-32, 1980.

19. Dinges R, Aquatic vegetation and water pollution control public health implication. American Journal Public Health 68:1202-1205, 1978.
20. Werse G, Jorga W, Aquatic macrophytes. A potential resource. Water Quallity Bulletin 6:104-156, 1981.
21. Wolverton BC, The water hyacinth. Mazingira 11:59-65, 1978.
22. Wolverton BC, Barrow RM, McDonald RC, Aplication of Vascular Aquatic Plants for Pollution Removal, Energy and Food Production in a Biological System. NTIS Report N75-22938, 1976. 17p.
23. Wolverton BC, McDonald RC, Upgrading facultative waste water lagoons with vascular aquatic plants. Journal Water Pollution Control Federation 51:305-313, 1979.
24. Wolverton BC, McDonald RC, Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) For Upgrading Sewage Lagoons to Meet Advanced Wastewater Treatment Standards. Part 1. NASA Tecnical Memorandum TM-X-72729, 1975. 25p.
25. Basterrechea M, et al. Determinación de nutrientes y otros parámetros de calidad de agua para evaluar la contaminación y el proceso de eutroficación en la Laguna de Chicho; (Alta Verapaz, Guatemala). II Taller Centroamericano y del Caribe sobre Química Analítica Ambiental y Sanitaria. Guatemala 28 de junio a 2 de julio de 1992.
26. Forstner J, Wittmann GT, Metal pollution in the acuatic environment. Berlin: Springer-Verlag, 1979.

CUADRO 2. CONCENTRACION DE FOSFORO TOTAL

No. MUESTRA	CONCENTRACION	PLANTA	PORTE	ESTACION	MUESTREO	EPOCA
1	1545.30	1	R	A	1	L
2	1952.73	2	R	A	1	L
3	2039.44	1	R	B	1	L
4	1554.86	2	R	B	1	L
5	1981.61	1	A	A	1	L
6	2198.13	2	A	A	1	L
7	1699.08	1	A	B	1	L
8	2614.83	2	A	B	1	L
9	1426.19	1	R	A	2	I
10	1175.00	2	R	A	2	I
11	992.42	1	R	B	2	I
12	1462.98	2	R	B	2	I
13	1224.17	1	A	A	2	I
14	1280.76	2	A	A	2	I
15	933.84	1	A	B	2	I
16	909.46	2	A	B	2	I
17	1230.79	1	R	A	3	I
18	1996.91	2	R	A	3	I
19	1590.07	1	R	B	3	I
20	1806.50	2	R	B	3	I
21	1634.13	1	A	A	3	I
22	1636.63	2	A	A	3	I
23	1251.44	1	A	B	3	I
24	1374.70	2	A	B	3	I
25	1862.49	1	R	A	4	S
26	1983.18	2	R	A	4	S
27	1919.25	1	R	B	4	S
28	2847.84	2	R	B	4	S
29	2048.92	1	A	A	4	S
30	1953.92	2	A	A	4	S
31	2921.04	1	A	B	4	S
32	3472.22	2	A	B	4	S

CUADRO 3. CONCENTRACION DE POTASIO

No.	MUESTRA	CONCENTRACION	PLANTA	PARTE	ESTACION	MUESTREO	EPOCA
1		7560.71	1	R	A	1	L
2		9576.06	2	R	A	1	L
3		18580.74	1	R	B	1	L
4		46563.88	2	R	B	1	L
5		24164.03	1	A	A	1	L
6		61619.39	2	A	A	1	L
7		37827.95	1	A	B	1	L
8		105062.87	2	A	B	1	L
9		17417.98	1	R	A	2	I
10		12106.71	2	R	A	2	I
11		17328.69	1	R	B	2	I
12		11028.73	2	R	B	2	I
13		42474.34	1	A	A	2	I
14		29925.10	2	A	A	2	I
15		89769.50	1	A	B	2	I
16		36186.24	2	A	B	2	I
17		14167.52	1	R	A	3	I
18		14576.69	2	R	A	3	I
19		18069.26	1	R	B	3	I
20		14972.07	2	R	B	3	I
21		58604.63	1	A	A	3	I
22		62303.70	2	A	A	3	I
23		52021.06	1	A	B	3	I
24		48660.09	2	A	B	3	I
25		7668.04	1	R	A	4	S
26		32275.92	2	R	A	4	S
27		10551.84	1	R	B	4	S
28		20564.49	2	R	B	4	S
29		61880.22	1	A	A	4	S
30		64074.00	2	A	A	4	S
31		70531.27	1	A	B	4	S
32		94220.82	2	A	B	4	S

CUADRO 4. CONCENTRACION DE CALCIO

No. MUESTRA	CONCENTRACION	PLANTA	PARTE	ESTACION	MUESTREO	EPOCA
1	15455.88	1	R	A	1	L
2	15252.37	2	R	A	1	L
3	23147.20	1	R	B	1	L
4	63081.75	2	R	B	1	L
5	23911.11	1	A	A	1	L
6	32681.30	2	A	A	1	L
7	99119.92	1	A	B	1	L
8	55275.18	2	A	B	1	L
9	68962.30	1	R	A	2	I
10	20297.12	2	R	A	2	I
11	20974.72	1	R	B	2	I
12	17664.16	2	R	B	2	I
13	32926.04	1	A	A	2	I
14	19772.44	2	A	A	2	I
15	59152.92	1	A	B	2	I
16	23864.34	2	A	B	2	I
17	14515.28	1	R	A	3	I
18	15674.46	2	R	A	3	I
19	24469.54	1	R	B	3	I
20	21616.22	2	R	B	3	I
21	21016.17	1	A	A	3	I
22	21261.79	2	A	A	3	I
23	28457.35	1	A	B	3	I
24	30791.86	2	A	B	3	I
25	2339.64	1	R	A	4	S
26	15509.59	2	R	A	4	S
27	30584.15	1	R	B	4	S
28	44016.81	2	R	B	4	S
29	31709.30	1	A	A	4	S
30	20261.94	2	A	A	4	S
31	24272.69	1	A	B	4	S
32	20036.20	2	A	B	4	S

CUADRO 5. CONCENTRACION DE MANGANESO

No. MUESTRA	CONCENTRACION	PLANTA	PARTE	ESTACION	MUESTREO	EPOCA
1	473.40	1	R	A	1	L
2	459.80	2	R	A	1	L
3	2460.17	1	R	B	1	L
4	1943.52	2	R	B	1	L
5	545.37	1	A	A	1	L
6	568.89	2	A	A	1	L
7	148.39	1	A	B	1	L
8	530.04	2	A	B	1	L
9	1443.80	1	R	A	2	I
10	488.02	2	R	A	2	I
11	1686.26	1	R	B	2	I
12	1742.87	2	R	B	2	I
13	433.98	1	A	A	2	I
14	331.58	2	A	A	2	I
15	811.62	1	A	B	2	I
16	375.41	2	A	B	2	I
17	2064.58	1	R	A	3	I
18	3246.00	2	R	A	3	I
19	5736.74	1	R	B	3	I
20	5001.34	2	R	B	3	I
21	971.84	1	A	A	3	I
22	618.15	2	A	A	3	I
23	971.50	1	A	B	3	I
24	1108.66	2	A	B	3	I
25	1673.98	1	R	A	4	S
26	2323.02	2	R	A	4	S
27	2830.46	1	R	B	4	S
28	11190.15	2	R	B	4	S
29	1855.50	1	A	A	4	S
30	809.22	2	A	A	4	S
31	2297.16	1	A	B	4	S
32	1322.16	2	A	B	4	S

CUADRO 6. CONCENTRACION DE HIERRO

No. MUESTRA	CONCENTRACION	PLANTA	PARTE	ESTACION	MUESTREO	EPOCA
1	6835.60	1	R	A	1	L
2	1019.76	2	R	A	1	L
3	4453.46	1	R	B	1	L
4	20548.44	2	R	B	1	L
5	2057.26	1	A	A	1	L
6	1276.22	2	A	A	1	L
7	1705.61	1	A	B	1	L
8	3420.52	2	A	B	1	L
9	3404.61	1	R	A	2	I
10	11167.80	2	R	A	2	I
11	5191.36	1	R	B	2	I
12	5198.14	2	R	B	2	I
13	1123.28	1	A	A	2	I
14	518.20	2	A	A	2	I
15	1550.96	1	A	B	2	I
16	881.66	2	A	B	2	I
17	37851.02	1	R	A	3	I
18	18649.24	2	R	A	3	I
19	8643.28	1	R	B	3	I
20	4579.30	2	R	B	3	I
21	1006.40	1	A	A	3	I
22	789.08	2	A	A	3	I
23	396.18	1	A	B	3	I
24	343.78	2	A	B	3	I
25	7623.61	1	R	A	4	S
26	6988.61	2	R	A	4	S
27	15130.54	1	R	B	4	S
28	23368.60	2	R	B	4	S
29	572.28	1	A	A	4	S
30	472.08	2	A	A	4	S
31	985.12	1	A	B	4	S
32	664.43	2	A	B	4	S

CUADRO 7. CONCENTRACION DE COBRE

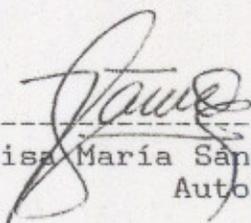
No. MUESTRA	CONCENTRACION	PLANTA	PARTE	ESTACION	MUESTREO	EPOCA
1	101.18	1	R	A	1	L
2	111.70	2	R	A	1	L
3	1117.11	1	R	B	1	L
4	95.86	2	R	B	1	L
5	181.82	1	A	A	1	L
6	219.21	2	A	A	1	L
7	69.03	1	A	B	1	L
8	807.00	2	A	B	1	L
9	299.06	1	R	A	2	I
10	744.85	1	R	B	2	I
11	956.44	2	R	B	2	I
12	195.31	1	A	A	2	I
13	712.47	2	A	A	2	I
14	264.18	1	A	B	2	I
15	69.72	2	A	B	2	I
16	1100.98	1	R	A	3	I
17	223.78	2	R	A	3	I
18	91.51	2	R	B	3	I
19	69.00	1	A	A	3	I
20	81.85	2	A	A	3	I
21	71.33	1	A	B	3	I
22	262.58	2	A	B	3	I
23	527.86	2	R	A	4	S
24	83.40	1	R	B	4	S
25	382.98	2	R	B	4	S
26	662.02	1	A	A	4	S
27	164.96	2	A	A	4	S
28	97.50	1	A	B	4	S
29	146.13	2	A	B	4	S

CUADRO 8. CONCENTRACION DE ZINC

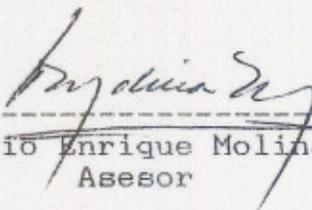
No. MUESTRA	CONCENTRACION	PLANTA	PARTE	ESTACION	MUESTREO	EPOCA
1	221.27	1	R	A	1	L
2	297.24	2	R	A	1	L
3	146.64	1	R	B	1	L
4	791.92	2	R	B	1	L
5	257.55	1	A	A	1	L
6	180.36	2	A	A	1	L
7	154.68	1	A	B	1	L
8	646.72	2	A	B	1	L
9	144.68	1	R	A	2	I
10	104.78	2	R	A	2	I
11	504.41	1	R	B	2	I
12	398.54	2	R	B	2	I
13	120.40	1	A	A	2	I
14	124.90	2	A	A	2	I
15	320.26	1	A	B	2	I
16	87.84	2	A	B	2	I
17	871.25	1	R	A	3	I
18	422.44	2	R	A	3	I
19	360.38	1	R	B	3	I
20	329.24	2	R	B	3	I
21	391.94	1	A	A	3	I
22	217.78	2	A	A	3	I
23	373.86	1	A	B	3	I
24	364.14	2	A	B	3	I
25	345.20	1	R	A	4	S
26	546.02	2	R	A	4	S
27	655.92	1	R	B	4	S
28	641.70	2	R	B	4	S
29	247.08	1	A	A	4	S
30	324.41	2	A	A	4	S
31	387.74	1	A	B	4	S
32	428.14	2	A	B	4	S

CUADRO 9. CONCENTRACION DE ESTRONCIO

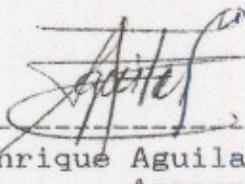
No. MUESTRA	CONCENTRACION	PLANTA	PARTE	ESTACION	MUESTREO	EPOCA
1	70.35	1	R	A	1	L
2	59.16	2	R	A	1	L
3	67.62	1	R	B	1	L
4	101.25	2	R	B	1	L
5	226.86	1	A	A	1	L
6	130.08	2	A	A	1	L
7	41.58	1	A	B	1	L
8	77.04	2	A	B	1	L
9	84.78	1	R	A	2	I
10	77.04	1	A	A	2	I
11	46.30	2	R	A	3	I
12	71.68	2	R	B	3	I
13	31.89	1	A	A	3	I
14	56.20	2	A	A	3	I
15	51.94	1	A	B	3	I
16	68.04	2	A	B	3	I
17	57.84	1	R	A	4	S
18	61.79	1	R	B	4	S
19	34.71	2	R	B	4	S
20	55.71	1	A	A	4	S
21	45.84	2	A	A	4	S
22	40.02	1	A	B	4	S
23	42.49	2	A	B	4	S



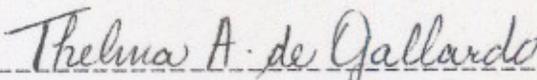
Julisa María Sánchez Montúfar
Autora



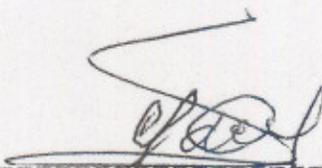
Lic. Sergio Enrique Molina Mejía
Asesor



Ing. Enrique Aguilar Sandoval
Asesor



Licda. Thelma Alvarado de Gallardo
Directora de la Escuela
de Química



Licda. Clemencia Gálvez de Avila
Decana de la Facultad de Ciencias Químicas
y Farmacia

Julian Maria Sanchez Montañer
Autor

Lic. Sergio Enrique Molina Mejia
Asesor

Ing. Enrique Avila Sandoval
Asesor

Licda. Thelma Alvarado de Gálvez
Directora de la Escuela
de Química

Licda. Clemencia Gálvez de Avila
Decana de la Facultad de Ciencias Químicas
y Farmacia

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central