

32



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN**

**"CONTROL DE LIRIO ACUATICO (*Eichhornia crassipes*)  
CON EL HERBICIDA GLIFOSATO EN COMBINACION  
CON ACIDOS HUMICOS Y FULVICOS"**

293656

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO AGRICOLA  
P R E S E N T A :  
EDUARDO RUIZ FRANCO**

**ASESOR: M. en C. ERIC DANIEL GUTIERREZ LOPEZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
 VIZCARRA NACIONAL  
 AVILA DE  
 MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
 FACULTAD DE ESTUDIOS  
 SUPERIORES CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE  
 EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Control de Jirio acuático (Eichhornia crassipes) con el herbicida  
glifosato en combinación con ácidos húmicos y fúlvicos

que presenta el pasante: Eduardo Ruiz Franco  
 con número de cuenta: 8340378-1 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Agrícola

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE.  
 "POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 27 de abril de 2000

PRESIDENTE	<u>M.C. Edvino Josefát Vega Rojas</u>	
VOCAL	<u>M.C. Ofella Grajales Muñiz</u>	
SECRETARIO	<u>BIOL. Gloria Zita Padilla</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>ING. Raúl Espinoza Sánchez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>ING. Javier Vegá Martínez</u>	

---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**

**"CONTROL DE LIRIO ACUATICO (*Eichhornia crassipes*)  
CON EL HERBICIDA GLIFOSATO EN COMBINACION  
CON ACIDOS HUMICOS Y FULVICOS"**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**I N G E N I E R O A G R I C O L A**  
**P R E S E N T A :**  
**EDUARDO RUIZ FRANCO**

**ASESOR: M. en C. ERIC DANIEL GUTIERREZ LOPEZ**

**ASESOR INTERNO: BIÓL. GLORIA ZITA PADILLA**

---

---

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.**

**200**

---

---

**DEDICATORIA**

**A MIS PADRES:**

VIDAL RUIZ GARFIAS

MARIA DEL CARMEN FRANCO VALDES

**Por la gran confianza y paciencia.**

**A MIS HERMANOS**

ROCIO

FERNANDO

CESAR JERONIMO

JOSE VIDAL

CARMEN†

---

---

---

---

**AGRADECIMIENTOS**

**A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**AL  
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA  
COORDINACION DE TRATAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA**

**ESPECIALMENTE A LA  
SUBCOORDINACION DE HIDROBIOLOGIA Y EVALUACION  
AMBIENTAL**

**AL DIRECTOR DE LA TESIS  
M. en C. ERIC DANIEL GUTIERREZ LOPEZ**

**A  
M. en C. MARIA ANTONIETA GOMEZ BALANDRA**

**A LOS PROFESORES DE LA  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**

---

---

---

---

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la efectividad del control del lirio acuático con concentraciones del herbicida glifosato al 50 y 25% de la dosis recomendada (1.68 y 0.84 kg i.a –ingrediente activo- /ha respectivamente), en combinación con sustancias que promueven el crecimiento de las plantas (ácidos húmicos y fúlvicos en dosis de 72, 18 y 4.5 g i.a/ha), se empleo un diseño factorial con todas las combinaciones posible de tratamientos.

Dos de los efectos provocados por estas combinaciones fue la reducción en el número de inflorescencias y cambios en el color de lila a blanco. A partir de los 2 días después de la aplicación. Este efecto no fue observado en los tratamientos que contenían únicamente ácidos orgánicos.

Otro de los síntomas fue el amarillamiento (clorosis) de las plantas que se observaron a partir de los 2 y hasta los 21 días en todas las unidades experimentales que se les aplico glifosato y sus combinaciones.

El mayor efecto de amarillamiento se presentó con la dosis de glifosato al 50% combinado con los ácidos orgánicos, principalmente en el tratamiento con ácidos fúlvicos a 18 y 72 g i.a/ha.

Por otro lado, se observó un nulo recrecimiento de las plantas tratadas con las combinaciones de herbicida y ácidos orgánicos, lo que señala su importancia en el control de la reinfestación.

De acuerdo al análisis de varianza y comparación de medias, los efectos provocados por el herbicida al 50% y 25% resultaron iguales por lo que se infiere que la dosis empleada actualmente para el control de lirio acuático puede reducirse, toda vez que la evaluación de sus efectos, ya sea en forma individual o combinado con los ácidos orgánicos se realice bajo condiciones de campo.

---

---

## ABSTRACT

Due to the main objective of assessing the effectiveness of water hyacinth control whit glyphosate at 50 y 25% of recommend doses (1.68 y 0.84 kg i.a -active ingredient- /ha respectively), combined with substances that promote plants growing, humic and fulvic acids at 72, 18 and 4.5 g i.a/ha, a factorial design was carried out applying all possible combinations of treatments.

Two of the effects of these combinations were the reductions in inflorescence number and colour changes from lilac to white from the second day after application this effect was not observed whit organic acids alone.

Another symptom was the plants yellowish observed from the second day to the 21st day after glyphosate and their combinations application.

The highest yellowish effect was associated whit 50% glyphosate treatments and their combinations whit organic acids, mainly whit fulvic acid at 18 and 72 g i.a/ha.

On the other hand, a nule regrowing plants effect was observes whit glyphosate and their combinations, that is important for reinfestation control.

In regard to variance and mean comparison analysis the effects produced by 50 y 25% of glyphosate were similar, for that reason the current doses can be reduced once field evaluations show the glyphosate reduction and their combination whit organic acids effects.

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	I
<b>RESUMEN</b> .....	II
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. OBJETIVO</b> .....	7
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	7
<b>4. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	8
4.1. Antecedentes.....	8
4.2. Descripción del lirio acuático.....	12
4.3. Métodos de control.....	16
4.3.1. Control integral.....	17
4.3.2. Control biológico.....	18
4.3.3. Manipulación del hábitat.....	19
4.3.4. Control físico o mecánico.....	19
4.3.5. Control químico.....	20
4.3.5.1. Herbicida glifosato.....	22
4.3.5.1.1. Características generales.....	22
4.3.5.1.2. Modo y mecanismo de acción.....	24
4.3.5.1.3. Destino en el ambiente.....	30
4.4. Sustancias húmicas.....	36
4.4.1. Características generales.....	36
4.4.2. Distribución en la naturaleza.....	37
4.4.3. Composición elemental.....	38
4.4.4. Influencias agronómicas y ambientales.....	42
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	45
5.1. Obtención y preparación del material vegetal.....	46
5.2. Nutrición y adaptación del material vegetal.....	47
5.3. Obtención de ramets (retoños) de las plantas cultivadas.....	49

---



---

---



---

5.4. Caracterización de la población.....	50
5.5. Preparación de sustancias húmicas y el herbicida glifosato.....	51
5.6. Diseño experimental.....	52
5.7. Método de análisis estadístico.....	54
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>56</b>
6.1. Caracterización de la población de lirio acuático.....	56
6.2. Descripción de los síntomas y efectos de los tratamientos.....	57
6.2.1 Efectos de los tratamientos sobre la floración.....	59
6.2.2. Efectos de los tratamientos sobre el amarillamiento o clorosis.....	62
6.3. Análisis de Varianza (ANOVA).....	66
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>81</b>
<b>8. SUGERENCIAS.....</b>	<b>85</b>
<b>9. LITERATURA CONSULTADA.....</b>	<b>87</b>

---



---

## 1. INTRODUCCIÓN

México presenta un territorio integrado por valiosos recursos naturales, entre ellos el agua base del desarrollo agropecuario. Con una extensión cercana a los dos millones de kilómetros cuadrados que hoy aloja a poco más de 82 millones de habitantes, recibe una precipitación pluvial promedio anual cercana a 777 mm, la cual se traduce en un volumen de 1640 km<sup>3</sup> de agua. De este volumen, 27% (alrededor de 450 km<sup>3</sup>) escurre por corrientes superficiales de las 37 regiones hidrológicas que conforman el territorio nacional.

Los escurrimientos de los ríos, al igual que la lluvia, se distribuyen irregularmente en el territorio nacional, lo que determina escasez o abundancia con problemas de sequía o inundaciones. El panorama es más complejo por la distribución en el territorio nacional de centros de población, polos de desarrollo industrial y áreas de infraestructura para riego.

Por estas características, en varias regiones del país se presentan ya problemas entre los diversos sectores que requieren del agua, puesto que todos necesitan disponer de ella en volumen y calidad adecuados para el desarrollo.

En materia hidrológica, México ocupa el sexto lugar a nivel mundial en áreas con infraestructura hidroagrícola, con más de seis millones de hectáreas. En estas zonas se genera 55% de la producción nacional y 70% de las exportaciones agrícolas (SEPESCA-INE, 1995).

Muchas de las obras de almacenamiento y cuerpos de agua naturales, se ven afectadas por plantas acuáticas debido a que canales de riego y arroyos naturales se encuentran invadidos por malezas y éstos finalmente llegan a los embalses.

En inventarios realizados para evaluar la presencia de las plantas acuáticas se ha estimado que la mayor presencia corresponde al lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), así para 1993 se determinó una superficie con malezas acuáticas de 62,000 ha localizadas en 114 cuerpos de agua, de éstas 40,000 ha correspondían al lirio acuático. En cuanto a los distritos de riego se identificaron 12,000 km de canales y 19,000 km de drenes con este mismo problema (CNA, 1992). Mientras que para 1994 se identificaron 268 cuerpos de agua con 69,000 hectáreas de infestación, lo que representó el 20% de la superficie inundada, estimada en 358,877 ha. También en este periodo la hidrofita con mayor frecuencia de aparición fue el lirio acuático, con 13, 800 ha (Rangel, 1995).

En 1995 se realizó un inventario de la infraestructura hidráulica instalada en los 77 Distritos de Riego que operan a escala nacional, se estimó una afectación en canales de 9,820.60 km y en drenes de 14,519.05 km. De acuerdo con Rangel (1997), las malezas acuáticas de mayor importancia fueron: la hidrilla (*Hydrilla verticillata*), tule (*Typha spp*) y lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

La presencia del lirio acuático en nuestro país no es exclusiva, diversos autores mencionan que a escala mundial es una de las malezas que más afectan los sistemas acuáticos, debido básicamente a las altas velocidades de crecimiento y reproducción. En relación con otras malezas acuáticas presenta una alta competencia, debido al movimiento de las plantas por el viento y corrientes de agua.

Uno de los factores que ha propiciado su propagación es sin duda la belleza de sus flores que en muchos casos es utilizada como planta ornamental por el hombre (Gopal, 1987; FAO, 1997).

Gutiérrez, *et. al.*, (1994), menciona que la infestación por malezas acuáticas en los cuerpos de agua es producto de la combinación de modificaciones químicas, físicas y biológicas. Estos cambios se asocian con el enriquecimiento de nutrientes (eutroficación), el desarrollo hidráulico y/o la introducción de plantas exóticas.

Para el control de esta maleza se han implementado diversas técnicas: físicas, químicas, biológica e integrales. Para su aplicación, Gutiérrez *et. al.*, (1998) menciona que se debe considerar como estrategia básica para el control de lirio acuático cinco fases principales: 1) de evaluación; 2) de comunicación; 3) de control; 4) de evaluación ambiental; 5) de mantenimiento.

En nuestro país la lucha contra las malezas acuáticas va desde la extracción manual por medio de herramientas agrícolas simples (bieldos) hasta el empleo de tecnología sofisticada como la maquinaria (trituradoras, cosechadoras) la aplicación de productos químicos como los herbicidas y últimamente el uso de organismos vivos.

Para reducir la infestación a niveles manejables deben usarse como primera fase las alternativas de cobertura amplia, tal como son el uso de agentes químicos, el manejo hidráulico y la trituración mecánica. En una segunda etapa debe emplearse una combinación de métodos bajo una estrategia integral, en la que el control biológico sea un componente importante (Gutiérrez *et. al.*, 1998).

El control químico del lirio acuático a través de herbicidas, es uno de los métodos más usados para el manejo de esta maleza. En general, los productos químicos son absorbidos por las plantas provocando una alteración de los procesos metabólicos y/o de crecimiento, que conducen a la muerte de la vegetación para su posterior hundimiento y descomposición (Gutiérrez, 1995).

En México los métodos empleados para el control del lirio acuático en el periodo de 1993 a 1998 cuando la reducción de la cobertura de esta maleza fue significativa fueron: el químico, el mecánico, el biológico, el manejo hidráulico, la extracción manual, y la extracción mecánica. Así mismo, Gutiérrez *et. al.*, (1998), menciona además como factores importantes en la disminución de la cobertura las condiciones ambientales, como las bajas temperaturas y la escasa precipitación; o bien, las fuertes precipitaciones que provoca el arrastre de las plantas flotantes fuera de los cuerpos de agua.

En cuanto al método químico, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) en 1993 realizó estudios que comprobaron que es una técnica segura, confiable, eficiente y de costo moderado, sin embargo deben satisfacerse las recomendaciones que se especifican para su aplicación; esta técnica junto con el control mecánico son las mejores para la etapa inicial, utilizándose también en la fase de mantenimiento, en combinación con la de control biológico.

En México se han utilizado diversos productos químicos para el control de esta maleza, pero pocos cumplen con las exigencias ambientales para la aplicación en medios acuáticos. Los productos que han sido autorizados para aplicarse en ambientes acuáticos y específicamente para el control del lirio acuático son los herbicidas diquat y glifosato, el primero de contacto y sistémico el segundo. Su uso en diferentes condiciones ha corroborado su efectividad y comportamiento ambiental. El herbicida glifosato es recomendado para el control de plantas acuáticas por sus características de fácil degradación y corta persistencia (Gutiérrez, *et. al.*, 1994).

La amplia utilización del glifosato se debe a que es un herbicida con extraordinario efecto para el control de malezas y pocas secuelas al ambiente (Malik, 1989), de amplio espectro, usado en cultivos, no cultivos (áreas industriales). Es no selectivo

y es muy efectivo sobre especies perennes de raíces profundas y sobre especies anuales como pastos, juncos y malezas de hoja ancha (WSSA, 1989).

En el caso del lirio acuático el herbicida glifosato se ha utilizado en dosis de 7 l/ha formulado como Rodeo, 3.36 kg/ha i.a. -ingrediente activo- (Gutiérrez, 1993).

Aunque con otros herbicidas los efectos provocados en las plantas se observan de forma casi inmediata (como el diquat) en el glifosato éstos son visibles de dos a siete días después de la aplicación (Gómez, 1993), lo anterior debido a que es un herbicida que para hacer el efecto se traslada a puntos diferentes de donde fue aplicado (tipo sistémico).

Dado que la penetración del herbicida a la planta es lenta y los efectos visibles no son detectados se pretende combinarlo con otros productos que faciliten la translocación del producto y por otra parte reducir la cantidad de ingrediente activo por unidad de área conservando o aumentando la efectividad.

Se tienen reportes que ciertas sustancias orgánicas como los ácidos húmicos y fúlvicos han incrementado los rendimientos en plantas cultivadas debido principalmente a que favorecen la penetración y el transporte de nutrimentos a las zonas de demanda como los meristemos (Chen, *et. al.*, 1994; Brun, *et. al.*, 1994).

Las sustancias húmicas son moléculas orgánicas de estructura química compleja que se encuentran distribuidas en suelos y aguas naturales con diversas características, como: elevado peso molecular, propiedades coloidales, capacidad de adsorción y desorción iónica, liberación de nutrimentos a mediano y largo plazo (Rodríguez *et. al.*, 1994).

Son sustancias amorfas, de color café o negro, que proporcionan color al agua (entre amarillo y negro), de carácter hidrofílico y estructura molecular no determinada. Su fórmula estructural es muy compleja y se comportan como polímeros de cadena larga y arborescente con una gran cantidad de radicales carboxílicos y fenólicos (COOH y OH) que actúan como sitios de intercambio catiónico donando electrones durante el proceso de quelatación (Rausa *et. al.*, 1994; Campos Vela, com. per.).

Estas sustancias tienen efectos nutricionales y sirven como fuente de nitrógeno, fósforo y azufre para las plantas y microorganismos. Promueven el crecimiento directamente a través de efectos fisiológicos (Henos y Veloces, 1978 en Hayes, *et. al.*, 1989 y Stevenson, 1982 citado por MacCarthy, *et. al.*, 1990).

Como una alternativa para la reducción de las dosis en la aplicación del herbicida para el control químico del lirio acuático, en el presente trabajo se combinó al herbicida glifosato con las sustancias orgánicas (ac. húmicos y fúlvicos), utilizando concentraciones del herbicida al 50 y 25% de la recomendada por el fabricante para el control del lirio acuático (3.36 kg/ha i.a).

## **2. OBJETIVO**

**Evaluar la efectividad del control del lirio acuático con bajas concentraciones de glifosato en combinación con sustancias que promueven su crecimiento (ácidos húmicos y fúlvicos).**

## **3. HIPÓTESIS**

**El uso de herbicidas de lenta translocación como el glifosato, combinado con compuestos que penetran rápidamente a la planta e inciden en la actividad metabólica, favorecerán los efectos fitotóxicos del herbicida incluso a bajas concentraciones.**

## **2. OBJETIVO**

**Evaluar la efectividad del control del lirio acuático con bajas concentraciones de glifosato en combinación con sustancias que promueven su crecimiento (ácidos húmicos y fúlvicos).**

## **3. HIPÓTESIS**

**El uso de herbicidas de lenta translocación como el glifosato, combinado con compuestos que penetran rápidamente a la planta e inciden en la actividad metabólica, favorecerán los efectos fitotóxicos del herbicida incluso a bajas concentraciones.**

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Antecedentes

El término maleza implica que las plantas interfieren con la utilización de un recurso o bien sobre el hombre y su ambiente (Gopal, 1987).

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) se considera como una de las malezas acuáticas mundialmente más agresiva. En los países tropicales y sub-tropicales uno de los problemas más graves en cuerpos de agua lo constituye la fuerte infestación de esta planta flotante, debido a los efectos adversos causados, asociados a su extraordinario potencial de desarrollo y facilidad de dispersión. Diversos autores mencionan que se ha extendido considerablemente y se halla en más de 56 países de los cinco continentes (Penfound y Earle, 1948; Gopal, 1987; Labrada, 1997). La presencia del lirio acuático en los cuerpos de agua modifica no sólo la calidad y cantidad del agua, sino que su impacto trasciende a todos los niveles, desde los ecológicos y de salud pública hasta los sociales, económicos y aún políticos (Niño y Lot, 1983).

Generalmente se mencionan los efectos negativos inmediatos como la obstrucción del flujo de agua en los canales de riego, la dificultad de navegación, la destrucción y deterioro de puentes y presas y las notables pérdidas de agua por evapotranspiración.

Debido a las condiciones de estancamiento del agua, la acumulación de grandes cantidades de sedimentos y de materia orgánica, favorece el desarrollo de pantanos y/o ciénagas que llegan a desaparecer total o parcialmente a un cuerpo de agua.

Además el lirio acuático provee hábitats para el desarrollo de patógenos y vectores de enfermedades, principalmente se ha detectado una gran proliferación de moscos que atacan tanto a los animales como al hombre, llegando inclusive a ser un problema social muy fuerte.

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) (Mart.) Solms-Laubach, es una monocotiledónea, perenne, herbácea, y flotante que pertenece a la familia Pontederiaceae (Sánchez, 1980).

En estado adulto la planta del lirio se constituye de raíces, rizomas, estolones, pecíolos, hojas, inflorescencia, frutos y semillas, su reproducción puede ser tanto de forma sexual como asexual (Penfound y Earle, 1948; Mitchell, 1978).

Para el control de esta maleza, se han implementado diversas técnicas como el uso de herbicidas (químico), la utilización de implementos físicos y maquinaria (mecánico), mediante el manejo del hábitat (control del nivel del agua), con organismos vivos (biológico). Inclusive la combinación de diversas técnicas, esto es conocido como control integral de la maleza.

Para hacer uso de un método de control, se debe analizar una gran diversidad de factores como los económicos, políticos, sociales, geográficos y muy especialmente los usos que se le dan al agua, principalmente cuando el control es a través de herbicidas (químico).

En la actualidad el uso de herbicidas forma parte de la vida cotidiana del agricultor sobre sistemas terrestres, pero en los ambientes acuáticos es visto con cierto recelo ya que es poco común.

Cuando la infestación es de gran magnitud, en general se observa que los efectos del control biológico son mínimos, la manipulación del nivel del agua es

problemático y el control mecánico es muy costoso, o no puede efectuarse debido principalmente a la baja profundidad del agua. Bajo esas condiciones se puede pensar en el control a través de herbicidas ya que se requiere de poco personal y el tratamiento generalmente es de corto tiempo.

Para llevar a cabo la utilización de un herbicida en medios acuáticos, este debe reunir características toxicológicas y de degradación ambiental muy estrictas. Por tal motivo son pocos los productos utilizados, estos generalmente autorizados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los E.U.A. y en México por la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST, 2000).

Los herbicidas se integran de una amplia variedad de sustancias para controlar las malezas. El componente principal de un herbicida es el ingrediente activo. Dichos agentes incluyen productos químicos orgánicos e inorgánicos de composición y funciones variables.

El uso adecuado y económico del herbicida requiere utilizar la cantidad óptima de ingrediente activo y la aplicación en el momento apropiado de crecimiento de la planta para obtener la eficacia deseada, así mismo se deben buscar alternativas para reducir dicha cantidad sin detrimento de la efectividad. Una de éstas alternativas pueden ser el uso de sustancias orgánicas como los ácidos húmicos y fúlvicos que facilitan la penetración y transporte de los nutrientes en las plantas.

Las sustancias húmicas son moléculas complejas con diversas características, como: elevado peso molecular, propiedades coloidales, capacidad de adsorción y desorción iónica, liberación de nutrimentos a mediano y largo plazo (Rodríguez, 1994). Estas sustancias promueven entre otras cosas el crecimiento de las plantas directamente a través de efectos fisiológicos. Tienen efectos nutricionales y sirven como fuente de nitrógeno, fósforo y azufre para las plantas y microorganismos.

Dichas propiedades hacen que los ácidos húmicos favorezcan el crecimiento de la planta, ya sea que éstos se suministren radicularmente o foliarmente, lo que aumenta la absorción de los nutrimentos o productos con los cuales se combina (como plaguicidas sistémicos, en el caso del glifosato).

Así mismo, las sustancias húmicas son buenos agentes quelantes, presentan relativamente grandes áreas superficiales, son excelentes dispersantes y actúan como agentes reductores en las soluciones alcalinas (Hayes and Swift, 1978. Citado por Hayes, et. al., 1989). Algunos usos que se les han dado son:

En agricultura:

- Como aditivo para los fertilizantes.
- Tratamiento y recubrimiento de las semillas.
- Como nutriente en cultivos hidropónicos.
- En plántulas o esquejes para favorecer el desarrollo radicular.
- En la absorción, penetración y traslocación de los nutrimentos foliares.
- Para incrementar la eficiencia de los distintos plaguicidas (herbicidas).
- Como fuente de nutrimento y promotor del crecimiento vegetal.

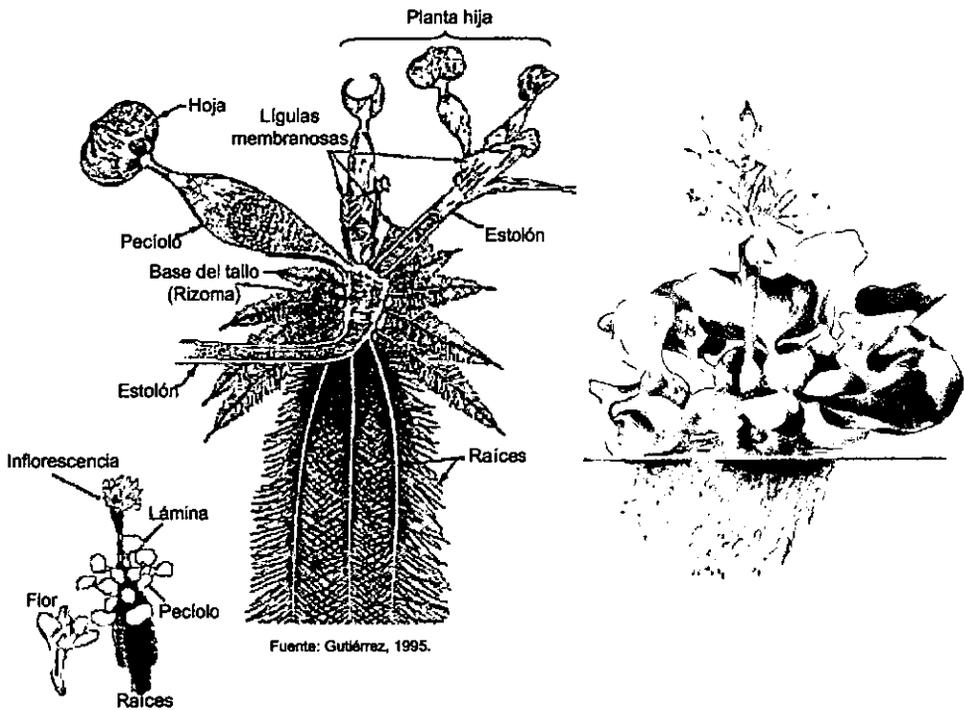
En el medio ambiente:

- Para el tratamiento de aguas residuales.
- Desodorante de líquidos y gases.
- Absorbente de herbicidas.
- Desactivante químico y para remoción de contaminantes.

**4.2. Descripción del lirio acuático**

El lirio es una planta acuática libremente flotante, compuesta por hojas pecioladas en forma de roseta; ramificación simpódica (ausencia de un eje principal), una inflorescencia terminal y numerosas raíces sumergidas en el agua (Figura 1).

Figura 1. Descripción morfológica del lirio acuático (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms. - Laubach).



El cuerpo de la planta está integrado de estolones de estructura típica de una monocotiledónea, con varios entrenudos cortos. Cada hoja y conjunto de raíces es sostenido en un nódulo. La mayoría de los brotes axilares son estolones pero

pueden o no desarrollarse en otra planta, dependiendo de la densidad de la población.

La masa vegetal esta constituida por una serie de unidades básicas llamadas "ramet" que se generan durante el crecimiento a partir de los meristemos. Cada una de estas unidades forman estolones que posteriormente se diferencian en rizomas con sus hojas, meristemos axilares, raíces y eventualmente inflorescencias. Los vástagos son genéticamente similares a la planta progenitora y tienen la capacidad de llevar una vida independiente (Niño y Lot, 1983).

Gopal (1987) realizó una descripción detallada de la planta en relación con sus características morfológicas, fisiológicas y de adaptación a las diferentes condiciones tanto climáticas como nutrimentales en los hábitats en los que se desarrolla, como sigue:

- **Hojas:** se presentan como brotes axilares que se adjuntan en una estructura aproximada a una hoja tubular. Cada hoja consiste de un pecíolo, istmo (parte delgada entre pecíolo y hoja) y una hoja. El pecíolo envaina a su base y tienen una gran estipula membranosa que forma una funda alrededor de la próxima hoja más joven y es de un aspecto ocre. Pueden presentar flotadores o no; cuando se presentan éstos se sostienen comúnmente a un ángulo de 15 a 45° y las hojas sin flotador son aproximadamente verticales de 75 a 90°. Los pecíolos inflados se asociaron a un hábitat libre flotante y los pecíolos alargados en la condición de alta densidad y arraigadas al suelo o sedimento (plantas hacinadas, ancladas).
- **Raíz:** Las raíces son adventicias fibrosas con un casquete sobresaliente en la punta. Las raíces producen un gran número de raíces laterales lo que le da un aspecto plumoso fino. El sistema de la raíz representa hasta el 50 % de la

biomasa de la planta pero puede ser demasiado pequeña particularmente cuando las plantas están en el lodo. Su desarrollo es influenciado por los aspectos de hábitat, particularmente la profundidad de agua. Las plantas que crecen en aguas residuales domésticas presentan raíces cortas y en poca cantidad pero presentan largos pecíolos. Mientras que en aguas pobres en nutrientes los pecíolos son pequeños (menos de 20 cm) y las raíces grandes (sobrepasan los 60 cm). Un aspecto importante del lirio acuático es el violeta obscuro al color violeta azulado o rosado de las raíces. Las raíces son blanquecinas cuando crecen en la obscuridad total pero de color cuando se exponen a la luz, debido a la presencia de antocianinas.

- **Flores:** Las flores se sostienen de un tallo con una inflorescencia terminal que contienen de 8 a 15 flores de color lila con una mancha amarilla al centro del pétalo. Las flores se sostienen en pares a cada nódulo del eje de inflorescencia. El número de flores en la inflorescencia es variable. Un aspecto importante del comportamiento de floración del lirio acuático es que las flores comúnmente quedan abiertas por un único día y posteriormente se marchitan aún cuando la polinización no ocurra. Es seguido por una flexión del eje de inflorescencia para que la parte de la floración se sumerja en el agua (Barrett, 1989).
- **Propagación:** El lirio acuático se reproduce tanto vegetativamente como sexualmente. La propagación vegetativa es más importante para la colonización y diseminación, ocurre por la formación de estolones que se sostienen fuera del cuerpo de la planta a partir de brotes axilares. El crecimiento vegetativo es generalmente muy rápido bajo condiciones de temperatura alta y disponibilidad de alimento. Parija (1934), observó una duplicación en siete días. Barrett (1989), menciona que la reproducción sexual contribuye a la diseminación de la maleza, las semillas representan un factor importante, sin embargo, diversos factores que afectan su germinación como el clima, agentes polinizadores y la

viabilidad del polen se han considerado responsables de limitar la eficiencia de reproducción sexual.

- **Hábitat:** Crece en una gran variedad de hábitats de agua dulce, desde áreas temporales someras, tierras pantanosas y aguas corrientes a lagos. Esto implica diversas posibilidades de adaptación de la planta, se multiplica tan rápidamente que con frecuencia forma densos tapetes que cubren grandes áreas de los cuerpos de agua, y por lo tanto, excluye a otras plantas libres flotantes y sumergidas.
- **Evapotranspiración:** Penfound y Earle (1948), mencionan que la pérdida de agua por evapotranspiración (Et) del lirio acuático excede dos a tres veces la pérdida de agua en aquellos lugares en donde no está presente. En un experimento en donde compararon la pérdida de agua en áreas cubiertas por esta planta y superficies iguales sin cubierta vegetal, encontraron que la pérdida de agua fue mayor en una relación de 6.6 a 1. Así mismo, observaron que el tamaño de apertura estomatal en lirio acuático fue dos veces más grande que en otras plantas.
- **Fotosíntesis:** Gopal (1987) menciona que el lirio acuático, por su alta velocidad de multiplicación y producción de materia se clasifica como una planta C<sub>3</sub>, aunque difiere de otras plantas C<sub>3</sub> y se le compara con las plantas que presentan una vía de fotosíntesis C<sub>4</sub>. El lirio acuático puede utilizar también dióxido de carbono disuelto para su asimilación mediante las raíces. El crecimiento de la planta se da en fotoperiodos de 6 a 16 horas y la floración en día neutro. El rango óptimo de temperatura de la planta es de 25 a 27.5°C y cesa de crecer cuando la temperatura del agua es inferior a 10°C o superior a 40°C. El número máximo de estolones se presenta por arriba de los 25°C y la temperatura óptima de captación de los nutrientes (Fósforo, Potasio, Calcio y

Magnesio) es a 30°C. Parija (1934) observó que el crecimiento óptimo ocurre a pH entre 6 y 8, y las plantas que crecen en aguas más ácidas o alcalinas tienden a modificar el pH dentro de esta gama.

- **Efectos nutrimentales:** La longitud de la raíz presenta una relación inversa con la altura de la planta (longitud de hoja); las raíces exhiben un color morado oscuro a concentraciones bajas de nitrógeno y fósforo. Gopal (1987) menciona que el mejor crecimiento de lirio acuático se da en una solución Hoaglan al 50% y a concentraciones más altas de la solución se incrementa el número de plantas hijas.

#### **4.3. Métodos de control**

Ante la magnitud de los problemas que ocasiona el lirio acuático, desde principios de este siglo se han utilizado diversas maneras o métodos para eliminar o erradicar esta maleza. Se entiende por erradicación la eliminación total de las plantas en los sitios donde está presente. Sin embargo por su capacidad reproductiva, facilidad de dispersión, requerimientos ambientales y resistencia a condiciones ambientales desfavorables, el lirio acuático “no puede erradicarse, sino únicamente controlarse” (Gutiérrez *et. al.*, 1994).

El control de las malezas acuáticas puede definirse como la reducción a un nivel aceptable del número y del vigor, o de ambos, de organismos o de biomasa por unidad de área, de una población de plantas acuáticas consideradas como indeseables en un cuerpo de agua determinado. El control del lirio acuático, básicamente consiste en estrategias a:

- **Largo plazo,** dirigidas a la causa y que se refieren al control de nutrientes presentes en el agua como el fósforo y el nitrógeno.

- **Corto plazo**, los esfuerzos son dirigidos al efecto, es decir, un procedimiento que reduzca la cantidad de plantas a una velocidad mayor que la de su reproducción natural.

Existen cinco tipos de control o manejo de las plantas acuáticas:

- Integral
- Biológico
- Por manipulación del hábitat.
- Físico o mecánico
- Químico utilizando herbicidas

#### **4.3.1. Control integral**

Se entiende por control integral el uso de dos o más técnicas de manejo utilizadas en conjunto o en serie para disminuir la cantidad de maleza a niveles aceptables.

Se puede implementar una gran cantidad de opciones para el control integrado, su elección dependerá de la biología y la ecología de la especie a controlar, los usos del cuerpo de agua, el nivel del control deseado, las facilidades de intervención, y la disposición de recursos humanos y materiales, entre otras condiciones.

La solución a las graves infestaciones de lirio acuático es la combinación de varios métodos, desde el control de nutrientes hasta el empleo de técnicas como la aplicación de herbicidas.

### 4.3.2. Control biológico

El control biológico de malezas acuáticas se encuentra muy poco desarrollado en México. Básicamente se ha enfocado a la introducción de organismos en cuerpos de agua infestados (Torres, 1997).

Riemer (1984), define el control biológico como el uso de un organismo vivo para controlar a otro (Cock, 1994). Bajo este concepto, se reconocen un agente controlador y un organismo a ser controlado. El primero se presenta en diversas formas: hongo, bacteria o virus que enferma a la maleza a tal grado que puede influir en los procesos fisiológicos (reproducción), o conducir a la vegetación hasta un punto en que sucumba ante otros factores. El agente controlador también puede ser un animal que se alimente de la planta total o parcialmente, o que indirectamente afecte a la maleza al invadir su ambiente y competir por espacio, nutrientes, luz agua u otros satisfactores para sobrevivir.

En teoría el control biológico es, como estrategia de manejo, muy atractivo por varias razones: es económico a largo plazo, pues el agente controlador, una vez establecido, no necesita atención ya que mantendrá a la planta en niveles manejables; no generará costos de mantenimiento, equipo o personal, y no deja residuos en el ambiente. No obstante el agente controlador debe poseer determinadas características que son difíciles de encontrar, como las de atacar solamente a la maleza en cuestión, sobrevivir en el ambiente en el que se le introduce y reducir la cantidad de maleza a niveles que permitan no considerarla como tal (Gutiérrez *et. al.*, 1994).

### **4.3.3. Manipulación del hábitat**

Muchas especies de plantas acuáticas pueden manejarse a través de la manipulación del ecosistema acuático. La técnica más común es el manejo del nivel en un cuerpo de agua.

Esta técnica se restringe por los usos del agua a que se encuentran sujetos ciertos sistemas, por las políticas de operación o por la disminución del nivel debido a cambios estacionales. En México, este tipo de técnicas generalmente se llevan a cabo de manera natural en la época de estiaje, los tapetes de lirio quedan postrados sobre las orillas y suelen ser quemados ya que están secos.

Gutiérrez *et. al.*, (1994), mencionan que el material quemado que no es retirado de la orilla, puede recuperarse al subir el nivel del agua o al contar con cierta humedad. Además, las plantas contienen grandes cantidades de semillas viables que pueden germinar en la época de lluvias y volverse ha establecer.

### **4.3.4. Control físico o mecánico**

El control mecánico se define como la utilización de instrumentos físicos para la destrucción *in situ* de las plantas, su remoción hacia los sitios de disposición, o para ambas acciones (Riemer, 1984; Thayer y Ramey, 1986).

El procedimiento más simple es el de extracción manual, que puede llevarse a cabo utilizando herramientas agrícolas como bieldos o rastrillos (Pieterse, 1978), una extracción masiva puede realizarse con máquinas cosechadoras o trituradoras, fijas o flotantes, que principalmente extraen o cortan la maleza.

El sistema de cosechado consiste en retirar las plantas del cuerpo de agua, la maquinaria recoge la maleza con una simple pala mecánica o mediante un cabezal

recolector equipado con bandas transportadoras que van almacenando las plantas para posteriormente depositarlas en la orilla (IMTA, 1993).

En México esencialmente se ha utilizado maquinaria que tritura la maleza, básicamente esta compuesta por una barcaza provista de cuchillas que giran a 2000 rpm y penetran hasta 30 cm abajo del espejo de agua. Esta máquina ha tenido éxito en varios cuerpos de agua del país, sin embargo se tienen problemas en cuerpos de agua grandes y someros por el costo, accesibilidad y reinfestación por fragmentos viables, entre otros (Gutiérrez *et. al.* 1994).

#### **4.3.5. Control químico**

Este método es cuestionado por las posibles implicaciones que pudiera tenerse sobre el ecosistema, debido a efectos potenciales a la salud humana, a animales domésticos, cultivos, vida silvestre y organismos acuáticos.

En el afán por controlar el lirio acuático, un gran número de sustancias con diversos grados de eficiencia se han utilizado, desde productos con una alta toxicidad y persistencia, hasta sustancias con poco grado de impacto al ambiente.

Los productos químicos, absorbidos por las plantas, provocan una alteración en los procesos metabólicos, en los de crecimiento o en ambos, y finalmente su muerte y posterior hundimiento (Gallager, 1989).

El uso de herbicidas tiene la ventaja de ser eficiente, no requerir de mucho tiempo, equipo, personal y ser empleado en áreas en las que no pueden usarse otros tipos de control.

Actualmente, la regulación del registro y uso de herbicidas es un mecanismo altamente restrictivo, lo cual ha provocado que exista un número muy reducido de

productos autorizados para su uso en sistemas acuáticos. Todos los plaguicidas producidos y distribuidos en Estados Unidos de América, son regulados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

La obtención de los permisos de utilización de cualquier herbicida requiere de muchas pruebas, tanto de laboratorio como de campo, que son costosas y de largo plazo, lo que provoca que se autoricen muy pocos productos hoy en día. Un herbicida no es aprobado hasta que se determina que su permanencia en el ambiente no causa efectos adversos al ecosistema en todos sus componentes.

En la actualidad se reconoce que cuando los herbicidas se usan adecuadamente no son tóxicos para peces, aves y otros organismos debido a que se ha comprobado que el grado de daño de cualquier sustancia está relacionado con el grado de exposición a la misma, es decir, a la cantidad o dosis.

Charudattan (1997), menciona que en los Estados Unidos de América (EUA) por más de 20 años se han utilizado productos químicos para el control de esta maleza, y actualmente, tres herbicidas se encuentran registrados: 2,4-D amina, diquat y glifosato. También menciona que entre los años 1969 y 1970 el área de infestación del lirio acuático disminuyó rápidamente debido a una campaña masiva de control químico.

En México quien autoriza el empleo de herbicidas es la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST). Para el control del lirio acuático, la selección de cualquiera de los herbicidas autorizados está en función de los usos del agua, los recursos disponibles y las condiciones de cada sitio.

Actualmente en el país, el empleo de herbicidas para el control del lirio acuático se reduce únicamente a dos herbicidas diquat y glifosato, el primero de contacto; es

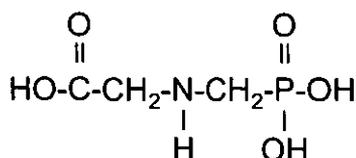
absorbido localmente destruyendo las partes de la planta a las que se aplica, y el segundo de tipo sistémico se absorbe, ya sea por las raíces o las partes aéreas de la planta y luego se traslada (transloca) dentro del sistema hasta tejidos que pueden estar muy alejados del punto de aplicación. Este último es el que más se ha empleado, debido entre otras cosas a que puede ser trasladado a todo el sistema de la planta. A continuación se hace una descripción de éste herbicida, objeto de este estudio.

#### **4.3.5.1. Herbicida glifosato**

##### **4.3.5.1.1. Características generales**

El glifosato es un herbicida orgánico de tipo alifático, sistémico o de translocación, de amplio-espectro, no selectivo, post-emergente, absorbido fácilmente por el follaje y los retoños de la planta (Wigfield *et. al.*, 1994; Klingman *et al.*, 1975). De la superficie de la hoja, las moléculas de glifosato son absorbidas dentro de las células y después son translocadas a toda la planta por el floema a las áreas de crecimiento activo (meristemas) (Laerke, 1995; Franz *et. al.*, 1997 y Dekker, 1999).

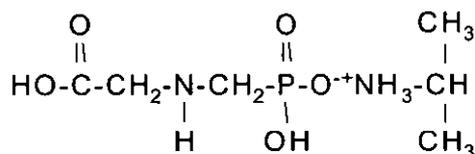
El ácido orgánico glifosato es el nombre común aprobado por la *British Standarization Institution* para la substancia química: -fosfono-metil-glicina ( $\text{H}_2\text{PO}_3\text{-CH}_2\text{-NH-CH}_2\text{-C=O-OH}$ ) (Cox, 1995; Dekker, 1999):



N-fosfono-metil-glicina

La Compañía Monsanto en los Estados Unidos lo produce como el ingrediente activo de un herbicida para el control de malezas acuáticas, conocido comercialmente como Rodeo (en México: Defensa). La concentración del ingrediente activo, N-fosono-metil-glicina en la forma de la sal isopropilamina contiene un 53.8% y un 46.2% de ingredientes inertes y no contiene surfactante (registro de la EPA 38641-94-0)(Monsanto, 1998).

La sal isopropilamina proporciona una mayor solubilidad en el agua, ésta se encuentra en una concentración de 648 gramos del principio activo del glifosato, lo que equivale a 480 gramos por litro del ácido glifosato (Registro EPA 524-343) (Monsanto, 1999).



Sal isopropilamina de glifosato

El ingrediente activo está compuesto básicamente de un radical ácido (carboxilo), un radical fosfonato y un derivado de la glicina, que es el aminoácido más simple que existe en la naturaleza. La parte ácida de la molécula representa la única porción con actividad herbicida. La porción agregada para formar la sal no tiene actividad sobre la planta.

El glifosato es poco soluble en solventes orgánicos comunes. Los metales alcali y sales aminas son realmente solubles en agua. Tiene un alto coeficiente de absorción en el suelo ( $K_d = 61 \text{ g/cm}^3$ ) y muy bajo el de octanol/agua ( $K_{ow} = 0.00033$ ) (Tabla 1). Estos números sugieren que el glifosato tiene una movilidad baja y solamente una tendencia insignificante a lixivarse en el suelo. Linders *et. al.*, (1994), clasifican su movilidad en el suelo como muy insignificante. El glifosato es

inactivado a través de la adsorción en el suelo, ya que el potencial de lixiviación es bajo y también su volatilidad (Franz *et. al.*, 1997).

Las instrucciones para el uso del herbicida (según recomendaciones del fabricante) es en medios acuáticos y otros sitios no dedicados al cultivo (Monsanto, 1999). Así mismo, algunos investigadores recomiendan como sitios de uso del glifosato (Rodeo): lagos, ríos, corrientes, estanques, canales y diques de irrigación, presas y sitios similares (Sisneros, 1991; Vandiver *et. al.*, 1993-1994 y Cox, 1995).

El herbicida presenta una apariencia de una solución clara y viscosa, carece de olor y se mezcla rápidamente con el agua. Su pH es ácido y se presenta en el ámbito de 4.6 a 4.8 (Monsanto, 1998).

Tabla 1. Características del herbicida glifosato.

**Generales**

Peso molecular	169.08 g
Solubilidad en el agua	11,600 ppm (a 25°C)
Presión de vapor	$7.5 \times 10^{-8}$ mm Hg
Constante de Henry's	$<1.44 \times 10^{-12}$ atm-m <sup>3</sup> /mol
Vida-media Hidrólisis	>35 días
Coefficiente de absorción en el suelo (Kd)	61 g/m <sup>3</sup>
Coefficiente log octanol-agua (Kow)	-3.5
Vida-media anaerobia	22.1 días
Vida-media aeróbica	96.4 días
Vida-media de disipación en campo	44 días

Fuente: Schuett, 1998

#### 4.3.5.1.2. Modo y mecanismo de acción

El modo de acción se refiere a la secuencia completa de eventos para la introducción del herbicida en el ambiente hasta la muerte de la planta (Ashton, 1981).

La forma de actuar del glifosato lo hace apropiado para las malezas acuáticas de hoja ancha y estoloníferas ya que es fácilmente absorbido por el follaje y es traslocado hasta el interior de las raíces donde afecta el crecimiento y provoca la muerte de los tejidos (Sprankle *et. al.*, 1975; Barret, 1989; NAS, 1990).

Bajo condiciones favorables el glifosato penetra rápidamente a las hojas, posteriormente la proporción es muy reducida (Brecke y Duke, 1980; Malik *et. al.*, 1989). Caseley y Coupland (1985), sugieren que el glifosato es absorbido por dos procesos básicos; una penetración rápida inicial, seguida por una penetración simplástica lenta. La duración de los procesos depende de numerosos factores que incluyen especies, edad, condiciones ambientales, concentración del glifosato y concentración del surfactante, éste incrementa la absorción del glifosato, al favorecer la difusión en la membrana (Wyrill y Bursine, 1976).

La translocación del glifosato dentro de la planta después de la penetración es a través de la cutícula de célula a célula y posteriormente por la vía de los tejidos vasculares. El glifosato es transportado a través de células membranosas y permite la entrada en el simplasto y se mueve dentro del sistema del floema. El glifosato produce efectos fitotóxicos del sistema general de la planta en los tejidos meristemáticos, la planta debe estar en un estado activo de crecimiento para realizar la penetración y translocación (Malik *et. al.*, 1989).

Los efectos del glifosato bajo condiciones de campo tardan de dos a tres semanas después de la aplicación (Asthon, *et. al.*, 1981.; NAS, 1990).

Dekker (1999), menciona que la sintomatología en las plantas usualmente se desarrolla muy lentamente, como sigue:

- Las plantas tratadas detienen su crecimiento rápidamente, aunque se observan normales, los síntomas visibles ocurren muy lentamente.

- La clorosis en las hojas ocurre gradualmente, frecuentemente se presenta como un moteado intervenal.
- Los síntomas son evidentes sobre los nuevos crecimientos (meristemos).
- Los síntomas se desarrollan gradualmente (1 a 4 semanas) en plantas perennes, pero en plantas anuales pequeñas puede ocurrir muy rápidamente (días), dependiendo de la cantidad de herbicida y de las condiciones ambientales.
- Finalmente ocurre la muerte por deshidratación y desecación.

La aplicación del herbicida Rodeo se recomienda en general durante las últimas etapas de crecimiento, cerca de la maduración de la planta, en el caso del lirio acuático se recomienda cuando la planta esta creciendo activamente, durante o después de las primeras etapas del florecimiento (Monsanto, 1999).

El mecanismo de acción se refiere a las lesiones bioquímicas y biofísicas hasta la muerte de la planta (Ashton Crafts, 1981).

Los herbicidas sistémicos ejercen su acción por fitotoxicidad crónica, es decir, la acción es lenta. Sus efectos están asociados con la desorganización del funcionamiento normal de uno o más procesos fisiológicos y metabólicos de la planta.

El glifosato se mueve rápidamente a las áreas apicales de la planta e inhibe la síntesis de proteínas, por lo que ocurre la interrupción del crecimiento casi inmediatamente después que el herbicida alcanza estas zonas (Dekker, 1999).

Las vías de biosíntesis de los compuestos aromáticos existen sólo en las plantas y microorganismos por lo que la toxicidad selectiva del glifosato únicamente se

presenta en la inhibición de la reacción de la síntesis de la enzima EPSPS (Malik, 1989; Hartzler, 1998, Cobb, 1992 y DellaCioppa *et. al.*, 1986;).

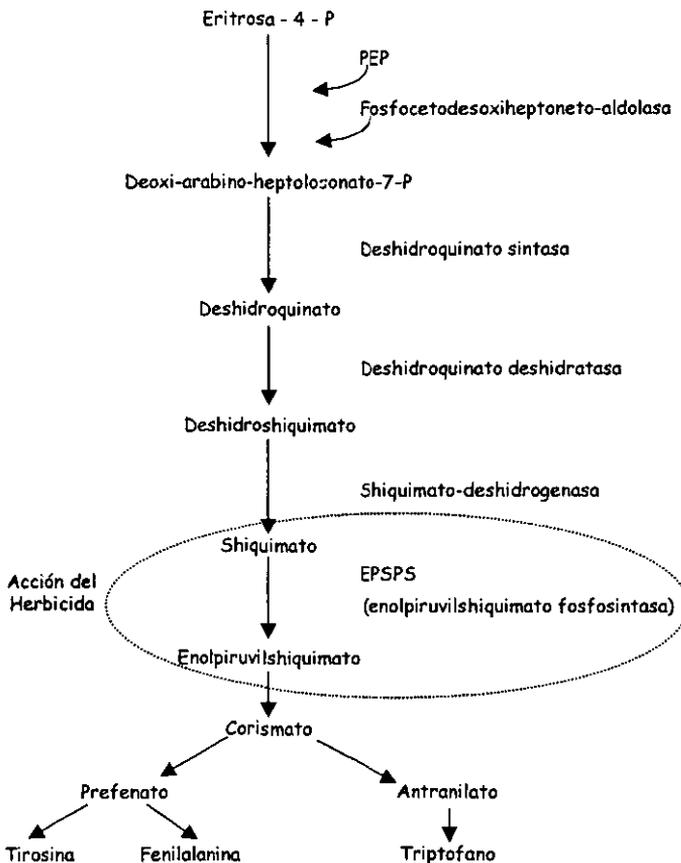
Esto impide la producción de la enzima corismato-mutasa que es requerida para la biosíntesis esencial de los aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano), que la planta utiliza para el crecimiento y supervivencia. Esta ruta es también responsable de la biosíntesis de diversos compuestos de la planta como fitoalexinas, platoquinonas, alkaloides, cumarina y flavonoides (Franz *et. al.*, 1997; Dekker, 1999).

Por otra parte, por la vía del ácido shiquímico son sintetizadas, fenilalanina y tirosina y por la vía del ácido prefénico, el triptófano a través del ácido antranílico (Figura 2). Además de grandes cantidades de lignina, que es una sustancia aromática polimerizada que compone una parte sustancial de las plantas. En la figura 2 se presenta la ruta del ácido shiquímico, la D-eritrosa-4-fosfato, que es el fosfato de un azúcar de cuatro carbonos, reacciona con el fosfoenol-piruvato para producir el ácido fosforilado de una cetosa de siete átomos de carbono; este compuesto se cicla a ácido 5-deshidroquinico, poseedor de un anillo alifático de seis carbonos.

Este producto intermedio se convierte luego en ácido shiquímico, el cual, pasando por varios compuestos fosforilados, se transforma en ácido corísmico, en el que se produce una importante ramificación metabólica; una de las ramas conduce al ácido antranílico y después al triptófano, mientras que la otra lleva al compuesto quinónico llamado ácido prefénico, que es el último compuesto no aromático de la secuencia. El ácido prefénico puede aromatizarse por dos caminos: 1) por deshidratación y descarboxilación simultánea, rindiendo ácido fenilpirúvico, que es el precursor de la fenilalanina, y 2) por deshidrogenación y descarboxilación, produciendo ácido p-hidroxifenilpiruvic, precursor de la tirosina (Lehninger, 1981).

Dos de los tres aminoácidos aromáticos (triptófano y fenilalanina) son aminoácidos esenciales en la dieta humana, pero los humanos, como todos los animales superiores carecen de la ruta ácida shiquímica por lo que no pueden sintetizar estos aminoácidos y dependen de los alimentos para proveerse de estos compuestos. La tirósina es sintetizada mediante otra ruta (Cox, 1995).

Figura 2. Acción del herbicida sobre la Ruta del Shiquimato.



Fuente: Lehninger, 1981

Actualmente se reconoce que el glifosato tiene efectos adicionales sobre el metabolismo de los fenoles y pigmentos. Algunos estudios sugieren que el glifosato induce un incremento temporal en la actividad de la fenilalanina-amonialyasa, enzima importante del metabolismo del fenilpropanoide, que producen una elevación de la concentración de fenoles. La actividad de la enzima decrece cuando se agota la fenilalanina. Debido a que muchos fenoles se consideran como inhibidores naturales de la oxidación de auxinas, entonces al reducirse la formación de fenoles, se incrementa el metabolismo de las auxinas en las plantas tratadas con glifosato, que resulta en un sobrecrecimiento apical, con el consecuente crecimiento de las plantas (Cobb, 1992).

El desarrollo de áreas cloróticas en las hojas es otra consecuencia metabólica del tratamiento con glifosato, lo cual puede deberse a la inhibición de la  $\delta$ -ALA sintetasa, como una reacción inicial en la biosíntesis de moléculas que contienen porfirina, incluyendo las clorofilas y citocromos.

Los efectos visibles en malezas anuales ocurren de 2 a 4 días y en la mayoría de las malezas perennes puede observarse a los 7 días o más. Después del tratamiento cuando el tiempo está extremadamente frío o nublado la actividad del producto será más lenta y los efectos visuales demorarán más en apreciarse. Los efectos visibles se caracterizan por un marchitamiento y amarillamiento gradual de la planta; que finalmente se tornará completamente marrón, el debilitamiento de la planta avanzará hasta completar el daño en las partes en desarrollo de la parte aérea y deterioro en la parte baja del suelo (raíz) (Monsanto, 1999; Schuette, 1998).

En cuanto a la degradación del glifosato en plantas superiores parece ser muy lenta. Los ácidos aminoetilfosfónico y sarcosine han sido detectados como metabolitos. Estas características de alta movilidad y lenta degradación con su fitotoxicidad innata son ideales para el control de malezas perennes.

#### 4.3.5.1.3. Destino en el ambiente

El empleo del glifosato se debe básicamente a sus características ambientales de compatibilidad, en términos generales cuando tiene contacto con el agua, se une con fuerza a las partículas disueltas y suspendidas y a los sedimentos del fondo y se inactiva. Se descompone por la acción microbiana en bióxido de carbono, agua, nitrógeno y fósforo (Langeland, 1991).

También Malik *et. al.*, (1989), mencionan que cuando el glifosato es aplicado en sistemas acuáticos ha mostrado rápida adsorción a la materia particulada, resultando una precipitación y una disminución rápida en su concentración en el agua y una vez adsorbida sobre la materia particulada, el glifosato no está disponible para las plantas y animales y se mineraliza rápidamente.

Cuando el herbicida Rodeo entra en contacto con un sustrato (el suelo sobre la superficie del terreno o como parte del sedimento suspendido en el agua) se une a éstas partículas; no quedando disponible para que las plantas lo absorban, así mismo, no daña la vegetación cuyas raíces se extiendan hacia el área de tratamiento o la vegetación existente donde pudiera transportarse el suelo o sedimento que entró en contacto con el producto, así como, que éste se filtre a través del suelo y contamine las aguas subterráneas (Monsanto, 1999).

La degradación principal de glifosato se realiza por la microflora del suelo tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas (Monsanto, 1999), resultando la formación de fosfato, CO<sub>2</sub> y dos moléculas de carbón que pueden incorporarse inmediatamente. Así mismo, el contenido de materia orgánica y el pH no influyen significativamente en la degradación.

- **En el Suelo**

Es esencialmente no fitotóxico cuando es aplicado al suelo (Asthon y Crafts, 1981).

En general el glifosato es moderadamente persistente en el suelo (Franz *et. al.*, 1997) ya que es fuertemente adsorbido y no se encuentra disponible para la captación de las plantas (Dekker, 1999). La vida media del glifosato se ha determinado en un intervalo de 3 a 130 días (U.S. EPA, 1990; USDA, 1984). En suelos agrícolas el promedio de la disipación de la vida media es de 44-60 días (Kollman and Segawa, 1995; WSSA, 1989).

Franz *et. al.*, (1997), mencionan que cuando es usado en la agricultura, los cultivos pueden ser plantados de semilla directamente en áreas tratadas después de la aplicación de glifosato; esencialmente no presenta actividad preemergente incluso cuando es aplicado en altas dosis.

La primer ruta de descomposición del glifosato en el medio ambiente es a través de la degradación microbiana en el suelo (Franz *op. cit.*), aunque la hidrólisis química, la oxidación y la fotodegradación juegan un papel importante. Estos procesos degradativos de largo plazo no son aparentes en el campo en tiempo de disponibilidad debido a la fuerte adsorción de las partículas al suelo (Dekker, 1999), por lo que también es relativamente no lixiviable, su fuerte adsorción a las partículas del suelo lo hace relativamente inmóvil en la mayoría de los suelos. (Ghassemi *et. al.*, 1981). El primer factor en determinar la cantidad de glifosato adsorbido por las partículas del suelo es el nivel de fosfato (Sprankle *et. al.*, 1975). El glifosato compete con el fosfato inorgánico del suelo y el grado de adhesión depende de la disponibilidad de los sitios no ocupados unidos al fosfato

El primer metabolito del glifosato es el ácido aminometilfosfónico (AMPA). La degradación de AMPA es generalmente lenta, al igual que el glifosato posiblemente

porque el AMPA puede ser adsorbido por las partículas del suelo más fuertemente que el glifosato y/o porque puede probablemente penetrar en menor cantidad en la pared celular de las membranas de los microorganismos del suelo (USDA, 1984). En la figura 3 se observan las vías de degradación del glifosato (Schuette, 1998).

En prácticas comunes el uso de agua turbia para la dilución de la concentración puede dramáticamente reducir la fitotoxicidad en aplicaciones foliares y los procesos de adsorción, junto con la relativamente pobre penetración por la raíz.

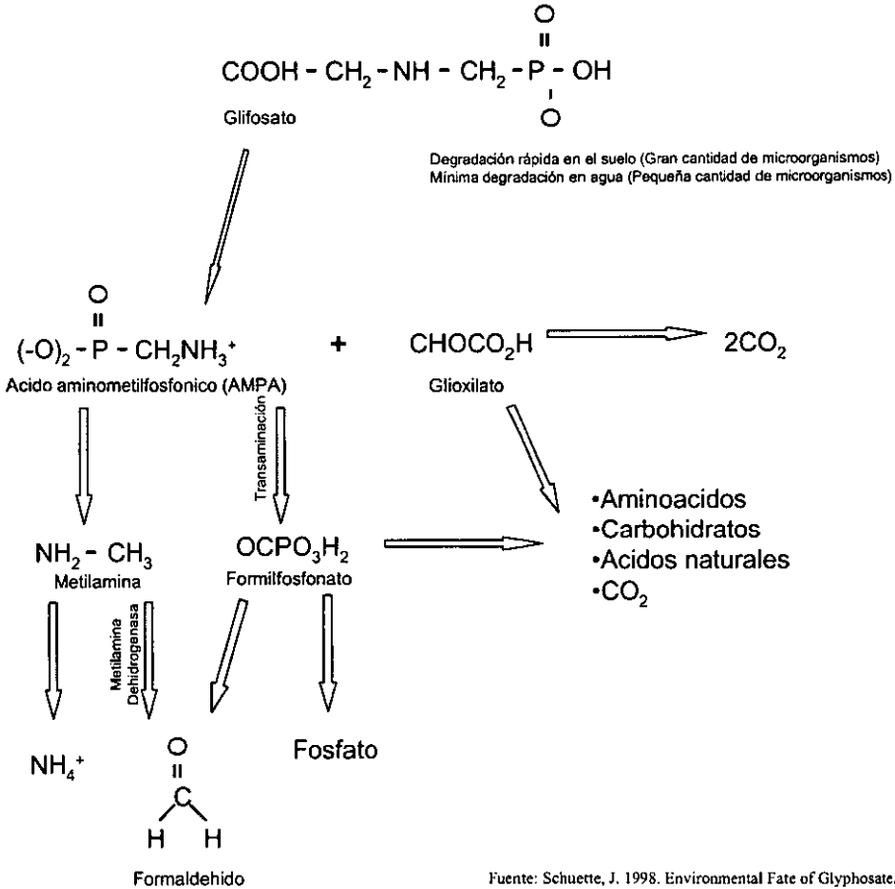
Bowmer *et. al.*, (1986), indicaron que el glifosato es inactivado al contacto con el suelo y por lo tanto no es recomendado para el control de plantas que estén completamente sumergidas o que tengan la mayor parte de su follaje bajo agua (Monsanto, 1999).

- **En el agua**

El glifosato es polar, soluble en agua, la molécula tiene una solubilidad 12 PPt [mil] en agua a 25°C (Dekker, 1999), así mismo Kollman y Segawa (1995), mencionan 11, 600 ppm a 2°C y el coeficiente octanol-agua ( $\log K_{ow}$ ) de -3.3 (Tabla 1).

Experimentos realizados por la EPA para decidir el registro (RED) indican que el glifosato es estable en el agua a pH 3, 5, 6, y 9 a 35°C. También es estable a la fotodegradación en pH 5, 7 y 9 en solución buffer bajo luz natural. La vida media de la hidrólisis es >35 días (Kollman y Segawa, 1995). En la Agencia de Protección Ambiental las pruebas usadas en agua de fuentes naturales, el rango de vida media es de 35 a 63 días (EPA, 1986). Para todos los sistemas acuáticos, el sedimento aparece con el mayor residuo de glifosato.

Figura 3. Vías de degradación del glifosato (N-fosfono-metil-glicina)



Bronstad y Friestad (1985), encontraron que el glifosato demuestra poca descomposición hidrolítica. Estudios conducidos en Manitoba Canadá (Kirkwood, 1979), sugieren que la pérdida de glifosato en el agua es a través de la adsorción del sedimento y la degradación microbiana. Ghassemi *et. al.*, (1981), concluyeron

que ese intervalo de degradación en el agua es generalmente lento porque hay pocos microorganismos en el agua y la mayor parte se encuentra en el suelo.

Feng *et. al.*, (1990), realizaron estudios en ecosistemas boscosos y encontraron que el glifosato se disipa rápidamente de la superficie del agua de estanques con alto contenido de sedimento suspendido, como primer orden la vida media oscila entre 1.5 - 11.2 días. En arroyos, los residuos no fueron detectados en 3 - 14 días.

En el caso de aplicación sobre plantas acuáticas, éste acaba por llegar al agua ya sea directamente o cuando las plantas mueren y se sedimentan. El glifosato se absorbe a los sedimentos y se degrada microbiológicamente (Brondstan y Friestad, 1993), pero puede permanecer el tiempo suficiente para entrar en contacto con la comunidad biológica presente en el sistema.

La compañía Monsanto (1999), recomienda la aplicación de Rodeo sobre malezas en todo tipo de masas de agua (dulce o salobre), circulante o no. Esto incluye lagos, ríos, arroyos, estanques, estuarios, diques, manantiales, zanjas de drenaje e irrigación, canales, represas, plantas de tratamiento de aguas y sitios donde desea restaurarse el hábitat de la fauna local. Así mismo, menciona que no hay restricciones de ningún tipo en cuanto a la utilización del agua tratada en irrigación, actividades recreativas o uso doméstico.

- **En el aire**

La presión de vapor del glifosato es insignificante (Tabla 1), las vías que sigue este herbicida a través de la volatilización son inexistentes (Franz *et. al.*, 1997). Pero puede ser un problema fundamental el movimiento fuera del objetivo. La deriva del producto frecuentemente es importante por el daño que puede causar a otros cultivos (Dekker, 1999).

La Constante de Henry's para el glifosato es baja (Tabla 1), lo cual indica que tiende a fraccionar las moléculas de agua contra aire (Franz *et. al.*, 1997).

- **Toxicidad en los animales**

El glifosato tiene una toxicidad aguda muy baja, lo cual quiere decir que las dosis letales para el 50% de la población son concentraciones altas que rara vez se presentan en el ecosistema (Tabla 2) (Dekker, 1999).

Tabla 2. Toxicidad del herbicida glifosato.

**Toxicidad acuática y en la fauna.**

Rata (oral)	LD <sub>50</sub> 4320 mg/kg
Pato silvestre 8 días	LC <sub>50</sub> >4640 ppm
Codorniz blanca	LD <sub>50</sub> >3851 mg/kg
Codorniz blanca 8 días	LC <sub>50</sub> >4640 ppm
Pez-luna	LC <sub>50</sub> ~ 78 ppm (96 hrs)
Trucha Arcoiris	LC <sub>50</sub> 38 ppm (96 hrs)
Daphnia magna	LC <sub>50</sub> 930 ppm (48 hrs)
Abeja de miel	LD <sub>50</sub> > 100 µg/abeja

Aunque los estudios de bioacumulación son escasos, se puede pensar que la acumulación potencial de glifosato en los tejidos de los organismos es mínima. Una de las causas principales de este fenómeno es la alta solubilidad del glifosato en el agua y su baja solubilidad en la grasa por su bajo coeficiente octanol/agua (Tabla 1), (Tooby, 1985 citado por Gutiérrez, 1995; Brondstad y Friestand, 1985).

Basados en los resultados de una amplia gama de estudios toxicológicos en animales, la EPA concluyó en 1991 que no existe evidencia que el glifosato pueda causar cáncer en humanos. Esta conclusión ubicó al glifosato en la categoría "E" que indica evidencia de no carcinogenicidad para humanos (Monsanto, 1998).

#### **4.4. Sustancias húmicas**

##### **4.4.1. Características generales**

Las sustancias húmicas (SH), son caracterizadas de forma general, como de color amarillo a negro, de peso molecular elevado y refractarios.

Se forman por la degradación química y biológica de residuos de plantas y animales y de actividades sintéticas de microorganismos (polimerización química de fenoles y síntesis de aminoácidos en las excreciones de los microorganismos; autólisis de células microbianas y vegetales después de su muerte). Los productos resultantes tienden a asociarse en estructuras orgánicas complejas (Stevenson, 1994).

Se encuentran en la naturaleza como sustancias extraordinariamente complejas de compuestos orgánicos heterogéneos. Se les han reconocido muchos efectos benéficos sobre el suelo y consiguientemente sobre el crecimiento de las plantas. Las SH se encuentran fuera de cualquier clasificación ya que no pertenecen a ninguna categoría química, estructuralmente se conocen en forma ambigua; son moléculas orgánicas polifuncionales de alto peso molecular y no se pueden definir en términos funcionales, porque no efectúan una función bioquímica específica (Hayes, *et. al.*, 1989).

En general las SH presentan una elevada resistencia a la degradación bacteriana y se comportan como coloides tensoactivos, polielectrólitos de tipo aniónico (Hayes, *op. cit*; MacCarthy, *et. al.*, 1990).

Para conocer estos materiales únicamente se miden los promedios de sus componentes, dado que por su carácter hidrofílico y estructura molecular no determinada, se dificulta estudiar sus componentes. Son definidas desde el punto de vista de su solubilidad en bases y ácidos acuosos.

Además de la dificultad inherente de trabajar con una mezcla tan compleja, otro factor que ha contribuido a la dificultad de estudiar estos materiales es la escasa disponibilidad de estándares para propósitos de comparación.

#### 4.4.2. Distribución en la naturaleza

Las SH se encuentran por toda la naturaleza principalmente en donde la materia orgánica es descompuesta, o es depositada en el caso de los sedimentos; se presentan en suelos, aguas naturales y en el mar. Se considera que la materia orgánica del suelo se compone por lo menos del 50% de SH (aunque las proporciones pueden variar ampliamente). En aguas superficiales representan del 40-70% del carbón orgánico disuelto (COD), y están presentes en concentraciones de 1 a 10 mg/l (Stevenson, 1994).

Hay dos conceptos fundamentales de la génesis de las SH. El primero, o concepto **degradativo**, considera que las macromoléculas biológicas son degradadas o transformadas a varios subproductos (mediante procesos biológicos y fisicoquímicos).

El segundo concepto, referido como **sintético**, considera que las macromoléculas de las SH se forman a partir de las interacciones entre la liberación de los químicos orgánicos durante los procesos metabólicos, y la degradación de las macromoléculas, tales como proteínas, polisacáridos y ligninas (Hayes, *et. al.*, 1989).

Las SH están comprendidas como una mezcla compleja de moléculas, esto hace su estudio particularmente difícil comparado con materiales más sencillos. Porque las SH pueden variar de fuente a fuente, y otros factores tal como el método de extracción.

No hay realmente ningún método analítico específico para su determinación, ya que no se puede desarrollar un método para un material que no se puede definir claramente. Por supuesto, se puede medir las cantidades de materiales que conforman a las diversas fracciones húmicas. Estos materiales pueden expresarse desde el punto de vista de la masa total en cada categoría o desde el punto de vista de la cantidad de carbono presente (MacCarthy, *et. al.*, 1990).

Por lo anterior la investigación ha sido difícil debido principalmente a la escasa disponibilidad de material estándar para la comparación de datos experimentales y la calibración de métodos.

La Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas (IHSS) en los Estados Unidos de Norte América ha establecido un departamento de normas húmicas para suelo, turba, leonardita y agua superficial.

#### **4.4.3. Composición elemental**

Es difícil conocer los componentes de las SH debido a la gran abundancia de macromoléculas orgánicas existentes en la naturaleza, la combinación de los modos de síntesis y los tipos de enlaces. Sin embargo, es necesario saber la estructura de cualquier sustancia orgánica a fin de comprender totalmente su reacción en los procesos químicos, biológicos y ambientales.

Las SH varían en la composición, dependiendo de la fuente, método de extracción, y otros parámetros, sin embargo, presentan similitudes entre diferentes SH. Esta similitud permite que las SH puedan ser identificadas como una clase. Las propiedades analizadas son el promedio de las mezclas complejas. Entre los métodos más comunes para caracterizar las SH se encuentra el grupo elemental y funcional.

La composición elemental, contenido de grupos funcionales y los pesos moleculares de estas sustancias son relativos a las condiciones operativas con las cuales se han obtenido. Además, dependen de la naturaleza e intervalo del carbón del cual se derivaron. En los procesos de humificación; las SH tienen el aspecto estructural de las moléculas de las cuales fueron derivadas. (Rausa *et. al.*, 1994).

La composición elemental (determinada por los tipos de átomos en el compuesto y sus abundancias relativas, representada por una fórmula empírica) representa los valores promedio del gran ensamble de moléculas ya que no forman una relación integral simple. Sin embargo, es una de las determinaciones más confiables que pueden efectuarse sobre las SH. Los elementos carbón e hidrógeno son los que se determinan más frecuentemente, el oxígeno generalmente es obtenido por diferencia, aunque tal estimación puede ser una fuente de error ya que las SH no solamente se constituyen de carbón, hidrógeno y oxígeno. Se ha encontrado que el carbón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre generalmente conforman el 100% de la composición de SH. En términos generales los ácidos húmicos (AH) presentan un mayor contenido de carbón y oxígeno que los ácidos fúlvicos (AF) (Tabla 2) (MacCarthy, *et. al.*, 1990).

Tabla 2. Composición elemental promedio de las sustancias húmicas

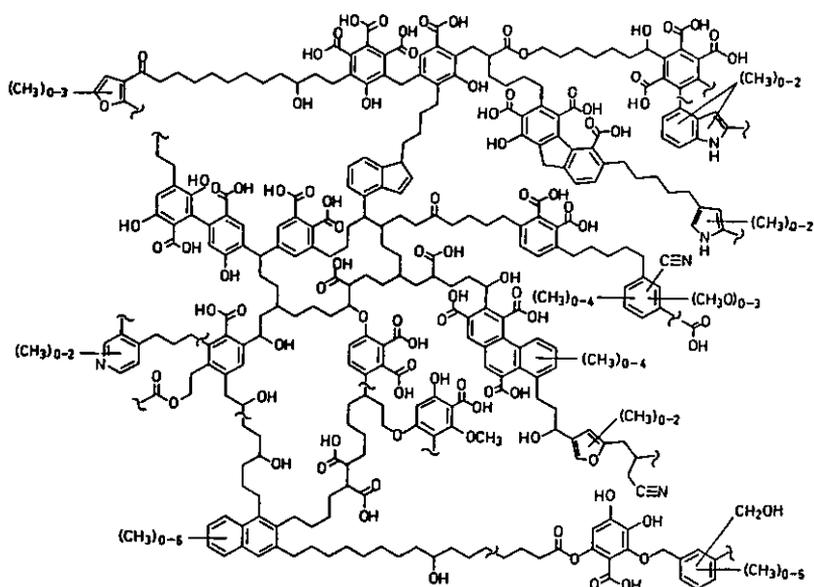
Elemento	Acido húmico(%)	Acido fúlvico(%)
• Carbón	53.8 - 58.7	40.7 - 50.6
• Oxígeno	32.8 - 38.3	39.7 - 49.8
• Hidrógeno	3.2 - 6.2	3.8 - 7.0
• Nitrógeno	0.8 - 4.3	0.9 - 3.3
• Azufre	0.1 - 1.5	0.1 - 3.6

Sus unidades estructurales o los bloques de moléculas, no presentan estructuras regulares o se repiten en orden, por lo que no se consideran como macromoléculas. Contienen grupos funcionales ionizables, como los carboxilos, que contienen múltiples cargas bajo condiciones apropiadas de pH (Hayes, *op. cit.*; MacCarthy, *et. al.*, 1990).

Las SH presentan una estructura polifuncional que comprende grupos de tipo carboxílico, fenólico, enólico, alcohólico, metóxico, quinónico, cetónico e hidroxiquinónico.

En la figura 4 se representan sus grupos funcionales (carboxilos, alcohol, hidroxil fenólico y carbonil) (Schulten, 1994).

Figura 4. Concepto estructural de las sustancias húmicas.



Fuente:Schulten, 1994

Los métodos para determinar los grupos funcionales en las SH no son tan confiables como lo es la composición elemental, debido principalmente a los multicomponentes naturales de las SH. En el caso de las determinaciones elementales, las SH se someten generalmente a un procedimiento riguroso de degradación, el material es descompuesto en moléculas simples, tal como CO<sub>2</sub>, en el caso de la determinación de C, o en agua en el caso de H. Un enfoque similar no existe para la determinación de los grupos funcionales y tales determinaciones deben efectuarse sobre el material intacto. Sin embargo los grupos funcionales más importantes son carboxilos y fenólicos responsables del comportamiento de estas sustancias en la solución (Rausa *et. al.*, 1994).

Los grupos funcionales pueden interactuar con iones metálicos, hidróxidos, minerales orgánicos, incluyendo contaminantes tóxicos (plaguicidas, herbicidas, etc), para formar complejos solubles e insolubles en agua. Estas interacciones incluyen reacciones de intercambio iónico, complejación, adsorción y coagulación (Stevenson, 1994).

Aiken *et. al.*, (1985), en MacCarthy, *et. al.*, (1990), Hayes, *et. al.*, (1989), mencionan que se conocen tres fracciones básicas de las SH con base a la solubilidad en el agua como una función del pH, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humina. Dentro de los cuales los más importantes son los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF).

**Ácidos húmicos:** Son una fracción de las SH que se precipitan en soluciones acuosas cuando el pH se disminuye a menos de 2 y pueden estar presentes en solución en aguas naturales.

Las investigaciones realizadas en suelos señalan a los AH como una fracción de la materia orgánica del suelo cuando es precipitado a un pH de 1 a partir de extractos de suelo alcalino (Stevenson, *op. cit.*).

**Acidos Fúlvicos:** Son la fracción de las SH que es soluble bajo todas las condiciones físicas y químicas. No obstante, los ácidos obtenidos de la materia orgánica aunque pueden considerarse homogéneos, presentan una composición muy heterogéneas.

James y Weil (1994), obtuvieron el peso molecular de los AF en dos suelos diferentes obteniendo un peso de 475 y 515 daltons.

**Humina:** Corresponde a la fracción de las SH que no es soluble en agua a ningún valor de pH, por lo que no se le asocia alguna actividad metabólica importante en las plantas o en el suelo (Stevenson, 1994).

Las tres fracciones tienen estructuras similares pero difieren en su peso molecular y grupos funcionales, siendo los AF el material de relativamente menor peso molecular y con más grupos funcionales que contienen oxígeno en su estructura.

#### **4.4.4. Influencias agronómicas y ambientales**

En condiciones adecuadas de nutrición mineral, los efectos de las SH sobre el crecimiento de las plantas, estimulan un incremento en la biomasa de la planta (longitud, peso, crecimiento de las plántulas después de la germinación, etc.), principalmente sobre la raíz (número lateral, iniciación) acelerando su metabolismo, lo cual se considera como resultado de la actividad de una auxina (Chen, *et. al.*, 1994). De manera similar se describió en el inciso 4.3.5.1.1. que se incrementa el metabolismo de las auxinas en las plantas tratadas con glifosato, lo que resulta en un sobrecrecimiento apical, con el consecuente crecimiento de las plantas (Cobb, 1992).

Este crecimiento se atribuye a una mejor captación de los nutrientes, debida a la actividad de una pequeña fracción de las SH (de peso molecular bajo) que pueden ser tomadas por las plantas. Se considera que estos componentes incrementan la

permeabilidad de la membrana celular y tal actividad se reconoce como semejante a la actividad de las hormonas. Sin embargo, en concentraciones altas de SH se disminuye el crecimiento (Chen, *et. al.*, 1994).

Brun, *et. al.*, (1994), mencionan que las sustancias húmicas tienen determinados efectos sobre el sistema radicular al tomar algunos nutrientes (particularmente fósforo, y también en menor cantidad, nitrógeno).

Así mismo, Henos y Veloces (1978) en Hayes, *et. al.*, (1989) y Stevenson, (1982) citado por MacCarthy, *et. al.*, (1990), mencionan que las sustancias húmicas pueden influir en los siguientes procesos:

1. Formación y mantenimiento de suelos con buena estructura, actuando como adhesivo para unir partículas de arcilla y limo.
2. Transformación y mineralización del substrato y liberación lenta de: nitrógeno, fósforo, sulfuro y algunos elementos trazas (menores).
3. Inmovilización de algunos químicos antropogénicos (fertilizantes) agregados al suelo para el crecimiento de los cultivos.
4. Mejoramiento de la retención y entrada de agua a los suelos.
5. Aumento de la capacidad buffer del suelo para amortiguar los cambios de pH
6. Elevación de la temperatura del suelo, resultado del aumento en la absorción de la radiación solar
7. Transporte de metales a través de la raíz y posible estimulación del crecimiento de la planta.
8. Retención de nutrientes por la planta a través de procesos de intercambio catiónico.

En relación a los cambios en el metabolismo de las plantas asociados con los AH, Biondi, *et. al.*, (1989), mencionan que la aplicación de AH mezclados con fertilizantes minerales al suelo aumentan el rendimiento y en general estimulan el metabolismo celular, mientras que de la aplicación de AH sin combinar con fertilizantes resultan efectos negativos sobre varios cultivos.

Con base en las determinaciones de la actividad enzimática, encontraron que el efecto de la aplicación de AH, estimula el proceso de incorporación, traslado de amonio y la síntesis de aminoácidos. En general mencionan que los efectos sobre las plantas se deben básicamente a los siguientes procesos:

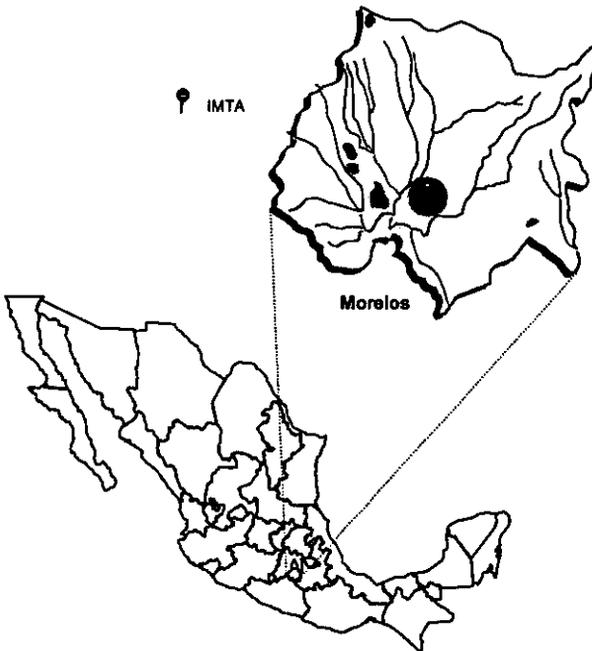
1. Acción directa; hormonal ligada a una
2. Acción indirecta; sobre el metabolismo de los microorganismos del suelo y sobre la dinámica de los nutrientes.

Chen, *et. al.*, (1994), estimaron que la concentración óptima de SH para los parámetros de crecimiento (raíz, peso de la planta, concentración de clorofila, área foliar, altura de la planta) resultó dentro del rango de 35 a 55 mg l<sup>-1</sup>. Sin embargo, en un estudio realizado con pepino (*Cucumis sativus L.*) en donde se adicionaron AF a la solución Hoagland's se observó que el aumento en peso y longitud de las plantas fue importante a concentraciones de 100 a 300 mg l<sup>-1</sup>.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), ubicado en el Estado de Morelos en el municipio de Jiutepec a los  $18^{\circ} 53' 00''$  de Latitud Norte y a los  $99^{\circ} 09' 30''$  de Longitud Oeste (Figura 4). Presenta un clima  $Aw_0(w)(i)g$ , cálido subhúmedo con poca oscilación térmica con temperaturas promedio máximas de 30 y mínimas de  $12.8^{\circ}\text{C}$  en los meses de abril y enero respectivamente, la precipitación promedio de 1,130.4 mm en el periodo de mayo a octubre, sin presencia de heladas o granizadas (García, 1987).

Figura 4. Ubicación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.



Para la evaluación del herbicida con los ácidos orgánicos se aplicó un diseño experimental del tipo factorial completamente al azar.

Los efectos provocados por el herbicida son el amarillamiento en las hojas del lirio acuático; se realizó la evaluación contando el número de hojas amarillas, se consideró aquellas láminas que rebasaban más del 50% de amarillamiento. Las hojas evaluadas fueron marcadas con tinta indeleble, con la finalidad de no volver a contabilizarlas en evaluaciones posteriores.

### ***5.1. Obtención y preparación del material vegetal***

Para realizar la evaluación se recolectó material vegetal (lirio acuático) en sitios cercanos a las instalaciones del IMTA (cuerpos de agua y arroyos, figura 4). Fue transportado en contenedores de plástico (cajas agrícolas con área de 0.27 m<sup>2</sup> y una capacidad de 44.08 l, fotografía 1), con agua del mismo lugar para evitar la deshidratación de las plantas. Posteriormente se lavaron con agua corriente (grifo), con la finalidad de retirar elementos extraños, principalmente en la raíz donde hay acumulación de sedimento, fauna alojada en la planta, que puedan interferir en su nutrición.



Fotografía 1. Contenedores para el desarrollo del lirio acuático.

Se mantuvieron las plantas en los contenedores en las condiciones nutricionales necesarias para su buen desarrollo, éstas fueron usadas cultivo para la obtención de nuevas plantas que fueron separadas y trasladadas a nuevos contenedores, desarrolladas en las mismas condiciones nutricionales. Lo anterior con la finalidad de obtener material uniforme de experimentación

### ***5.2. Nutrición y adaptación del material vegetal***

Con el objeto de mantener al lirio acuático en las mejores condiciones nutricionales se mantuvo en una solución con nutrimentos. La solución nutritiva es aquella que cubre las necesidades nutricionales de la planta para un buen desarrollo y crecimiento. Una de las soluciones nutritivas más completas es la "Hoagland", la cual es usada para muchas especies de plantas como etapa inicial, posteriormente es adaptada a las necesidades particulares de cada especie, de acuerdo a la demanda de los elementos nutricionales. En el caso del lirio acuático ha sido

evaluada por diversos investigadores y adecuada a las condiciones de la planta. Gopal (1987), menciona que con la solución "Hoagland" a una concentración del 50% la planta presenta un mejor crecimiento y desarrollo.

En la tabla 3 se presentan los reactivos para una solución al 100%, su concentración y el peso de cada uno de ellos.

Tabla 3. Reactivos para la preparación de la solución nutritiva (Hoagland):

Macronutrientes:			Micronutrientes:		
• $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	1M	115g	• $\text{H}_3\text{BO}_3$	0.05 M	3.1g
• $\text{KNO}_3$	1M	101g	• $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.01 M	1.98g
• $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1M	236.15g	• $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.3 mM	0.075g
• $\text{MgSO}_4$	1M	246.49g	• $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5 mM	0.121g
			• $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.8 mM	0.23g
			• Quelatos de fierro	500 mg	0.5g

El procedimiento de preparación se describe a continuación:

- Se pesaron los fertilizantes (sales, grado industrial) de forma individual en una balanza granataria para los macronutrientes y en una balanza analítica para los micronutrientes.
- Los macronutrientes se agregaron cada uno en un litro de agua, mezclándose perfectamente.
- Los micronutrientes se agregaron a un litro de agua, mezclándose todos juntos.

Con la finalidad de preparar 100 litros de la solución al 50% se procedió a tomar de cada uno de los reactivos las indicadas en la tabla 4. El procedimiento de preparación se realizó agregando agua corriente (grifo) al 50% de la capacidad del recipiente, se vertieron las sales iniciando con los micronutrientes, posteriormente los macronutrientes (en el orden de la tabla 4) y por último los quelatos de fierro. Al agregar cada uno de los nutrientes se agitó perfectamente. Finalmente se llevó a la capacidad total del recipiente, agitando nuevamente la mezcla.

Tabla 4. Cantidades para preparar 100 l de solución

Macronutrientes:		Micronutrientes:	
• $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	50 ml	• Mezcla de 1l	25 ml
• $\text{KNO}_3$	250 ml	• Quelatos de hierro	0.5 g
• $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	75 ml		
• $\text{MgSO}_4$	50 ml		

De la mezcla preparada se procedió a verter la solución nutritiva a cada uno de los contenedores, posteriormente se colocaron las plantas. Dejándose en estos recipientes para el desarrollo de nuevas plantas, las cuales fueron separadas y colocadas en nuevos contenedores, con la finalidad de mantener a las plantas con las mismas características. En cada uno de los contenedores se revisó periódicamente el nivel del agua y se llevó al volumen inicial cuando este bajo. El cambio de la solución nutritiva se realizó en promedio cada ocho días debido al desbalance de los nutrimentos provocado por la absorción, así como las pérdidas debidas a la evaporación y evapotranspiración.

### **5.3. Obtención de ramets (retoños) de las plantas cultivadas**

- Con la finalidad de uniformizar la población se separaron todos aquellos ramets nuevos y se colocaron en contenedores con solución nutritiva, siguiendo el mismo procedimiento para el cultivo de los mismos.
- En el momento que los contenedores presentaron una cobertura del 100% se procedió a realizar la evaluación ya que estas plantas presentaban características similares (Fotografía 2).



Fotografía 2. Plantas similares de lirio acuático.

#### ***5.4. Caracterización de la población***

Con la finalidad de evaluar las características de la población y verificar su homogeneidad se realizaron las mediciones de biomasa, densidad, longitud de la parte aérea, radical y finalmente se determinó el área foliar de las plantas. Estas mediciones se realizaron al inicio del ensayo así como a los 18 días con la finalidad de observar los cambios en las plantas a las que no se les aplicó ninguno de los tratamientos (testigos).

Las mediciones se realizaron en plantas de contenedores que tenían la función de testigo, ésto debido a que las evaluaciones implican sacar a las plantas de su medio lo que provoca deshidratación y estrés. Dichas determinaciones para la biomasa y densidad se realizaron de acuerdo a los procedimientos incluidos dentro del sistema de aseguramiento de calidad (ISO 9000/NMX-CC Clave: CAHB6-08) del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Gutiérrez (1989). La medición del

área foliar se realizó con el equipo "Leaf Area Meter" modelo CI-202, el cual permite conocer el área de las hojas en  $\text{cm}^2$ , el largo, ancho y perímetro en cm (Tabla 5).

Tabla 5. Procedimiento para la determinación de biomasa y densidad.

<b>Biomasa</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se sacaron las plantas de los contenedores y se depositaron en costales entretejidos de plástico.</li> <li>• Se dejaron drenar aproximadamente de cinco a siete minutos.</li> <li>• Se pesaron en báscula granataria previamente calibrada.</li> </ul>
<b>Densidad</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de plantas por contenedor.</li> </ul>
<b>Longitud</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se midió la longitud de la parte aérea y la raíz con flexómetro.</li> </ul>
<b>Area foliar</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición de las hojas con un medidor de área foliar.</li> </ul>

### **5.5. Preparación de sustancias húmicas y el herbicida glifosato**

Los ácido húmicos y fúlvicos fueron proporcionadas por Grupo Bioquímico Mexicano S.A de C.V. con 60% (600 g/kg) de ácido soluble, indican que con 120 gramos por hectárea da una buena potencia de la acción herbicida, pudiéndose reducir la dosis hasta en un 50%. El herbicida glifosato utilizado correspondió al comercialmente conocido como Rodeo con una concentración de 480 i.a.

En la tabla 6 se presentan las sustancias orgánicas y el herbicida utilizadas por hectárea y por unidad experimental. Las cuales fueron mezcladas en un volumen de 100 l para aplicarse en una hectárea (Cantidad de mezcla utilizada en condiciones de campo) y ajustada a cada una de las unidades experimentales.

Tabla 6. Cantidades de herbicida y ácidos orgánicos

	Hectárea	ingrediente activo	Unidad experimental (0.27 m <sup>2</sup> )
Ác. húmicos y fúlvicos	120 g	12 g	3.24 mg
	30 g	3 g	0.81 mg
Herbicida glifosato	7.5 g	0.75 g	0.20 mg
	3.5 l	1.68 kg	0.0945 ml
	1.75 l	0.84 kg	0.04725 ml

Las cantidades de las sustancias orgánicas se pesaron en una balanza analítica, posteriormente se agregaron en 500 ml de agua destilada mezclándose perfectamente para después aforarse a un litro.

Para realizar la aplicación de la mezcla de herbicida con los ácidos húmicos y fúlvicos se consideraron 4 m<sup>2</sup> con la finalidad de contar con un mayor volumen; aplicándose únicamente la mezcla al área de los contenedores (0.27 m<sup>2</sup>).

Con una probeta graduada se midieron 38.6 ml de las sustancias orgánicas más 1.4ml del herbicida glifosato, este último con micropipetas de 0.5 y 0.1 ml (500 y 100 µl). Se agregaron las dos sustancias a un recipiente de 100 ml de vidrio con tapa para realizar la mezcla, la aplicación se realizó con un aspersor manual sobre un área previamente marcada de 4 m<sup>2</sup>.

### 5.6. Diseño experimental

El diseño empleado en la evaluación fue de tipo factorial totalmente aleatorio con todas las combinaciones posibles entre las sustancias orgánicas y el herbicida, resultando 21 unidades experimentales (u.e), (Fotografía 3 y tabla 7). De la 1 a la 6 y de la 8 a la 13 se realizaron las combinaciones de los ácidos húmicos y fúlvicos con las dosis del herbicida para la primera de 1.68 kg i.a. y para la segunda de 0.84 kg i.a, mientras que para las u.e. 7 y 14 únicamente contenían el herbicida y de la

15 a la 20 se les aplicaron los ácidos tanto húmicos como fúlvicos y el tratamiento 21 correspondió al testigo. La evaluación fue realizada por triplicado (tres repeticiones) haciendo un total de 63 unidades experimentales. En la fotografía 4 se observa la aleatorización de las unidades experimentales.



Fotografía 3. Panorámica de las unidades experimentales.

Tabla 7. Tratamientos evaluados.

Tratamientos		Descripción
1	G1H1	Glifosato (1) 1.68kg i.a/ha + Húmicos (1) 72g i.a/ha
2	G1F1	Glifosato (1) 1.68kg i.a/ha + Fúlvicos (1) 72g i.a/ha
3	G1H2	Glifosato (1) 1.68kg i.a/ha + Húmicos (2) 18g i.a/ha
4	G1F2	Glifosato (1) 1.68kg i.a/ha + Fúlvicos (2) 18g i.a/ha
5	G1H3	Glifosato (1) 1.68kg i.a/ha + Húmicos (3) 4.5g i.a/ha
6	G1F3	Glifosato (1) 1.68kg i.a/ha + Fúlvicos (3) 4.5g i.a/ha
7	G1	Glifosato (1) 1.68kg i.a/ha
8	G2H1	Glifosato (2) 0.84kg i.a/ha + Húmicos (1) 72g i.a/ha
9	G2F1	Glifosato (2) 0.84kg i.a/ha + Fúlvicos (1) 72g i.a/ha
10	G2H2	Glifosato (2) 0.84kg i.a/ha + Húmicos (2) 18g i.a/ha
11	G2F2	Glifosato (2) 0.84kg i.a/ha + Fúlvicos (2) 18g i.a/ha
12	G2H3	Glifosato (2) 0.84kg i.a/ha + Húmicos (3) 4.5g i.a/ha
13	G2F3	Glifosato (2) 0.84kg i.a/ha + Fúlvicos (3) 4.5g i.a/ha

Tratamientos		Descripción
14	G2	Glifosato (2) 0.84kg i.a/ha
15	H1	Húmicos (1) 72g i.a/ha
16	H2	Húmicos (2) 18g i.a/ha
17	H3	Húmicos (3) 4.5g i.a/ha
18	F1	Fúlvicos (1) 72g i.a/ha
19	F2	Fúlvicos (2) 18g i.a/ha
20	F3	Fúlvicos (3) 4.5g i.a/ha
21	T	Testigo

### 5.7. Método de análisis estadístico

Los resultados se evaluaron a través de un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la variación de los diferentes tratamientos y definir la diferencia de las unidades experimentales, estas mediciones se realizaron cada dos días a partir de la aplicación. Así mismo, se realizó la comparación de los promedios en donde el ANOVA presentó diferencia de los tratamientos. La comparación de los promedios se realizó a través de la Prueba de Intervalos Múltiples de Duncan que compara todas las parejas de medias, las cuales se disponen en orden ascendente y se determina el error estándar de cada promedio, utilizando la siguiente ecuación:

$$S_x = \sqrt{\frac{CM_E}{n}}$$

Donde:

$S_x$  = Desviación estándar de la media

$CM_E$  = Cuadrado Medio del Error

$n$  = Número de tratamientos



Fotografía 4. Aleatorización de las unidades experimentales.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Caracterización de la población de lirio acuático

Después de mantener las plantas en cultivo y para iniciar los tratamientos, se seleccionó la población de lirio acuático, separándose 30 plantas de 10 contenedores tomados al azar. Posteriormente se realizó la caracterización de éstas treinta plantas, la cual consistió en medir la raíz, los pecíolos y se contaron el número de hojas de cada una (Tabla 8). Las plantas presentaron una altura máxima entre 24 y 2 cm la más pequeña, esta última unida por el estolón a la planta madre. El número de hojas por planta resultó de  $4 \text{ a } 7 \pm 1$ . En cuanto a la raíz la mayor longitud fue de 56 cm y de 9 cm la menor, con una desviación estándar de  $\pm 12$ . En cuanto a la variabilidad que se presentó en la población, la mayor fue en el tamaño de la planta y la raíz con un coeficiente de variación de 34 y 31%, respectivamente. Los pecíolos más pequeños (5, 6 y 7 cm) presentaron la mayor variación con C.V. de 38 a 50 %. Esta variación puede ser debida a que muchas de las plantas se encontraban adheridas a la planta madre por medio del estolón y por lo tanto la diferencia en los tamaños fue considerable. En general la variabilidad que presentaron las plantas en los diferentes elementos evaluados se considera mínima y la población uniforme para la realización del ensayo.

Tabla 8. Caracterización de las plantas de lirio acuático.

	Mínima	Máxima	Promedio	Desv. std. std.	C.V.
Longitud de plantas (cm)	2	24	14	5	34
Longitud de raíz (cm)	9	56	38	12	31
No. hojas/planta	4	7	6	1	12
Pecíolo 1 (cm)	11	24	18	3	17
Pecíolo 2 (cm)	10	22	16	3	17
Pecíolo 3 (cm)	9	20	15	2	16
Pecíolo 4 (cm)	6	19	13	3	21
Pecíolo 5 (cm)	2	17	11	4	38
Pecíolo 6 (cm)	3	13	8	4	41
Pecíolo 7 (cm)	2	8	4	2	50

Así mismo, se realizó la evaluación de la densidad (número de plantas), la biomasa (kg) y área foliar (cm<sup>2</sup>) (Fotografía 5) por unidad experimental, estas mediciones también se efectuaron a los 18 y 24 días después de la aplicación (dda) de las combinaciones del herbicida y los ácidos, excepto para el área foliar. Los contenedores presentaron una cobertura del 100% y de acuerdo a las evaluaciones el número de plantas varió muy poco como se observa en la tabla 9 en donde se presentan los promedios obtenidos de 10 contenedores tomados al azar en cada una de las evaluaciones. Para la biomasa el aumento en peso de las plantas de la primera a la segunda evaluación, presentó un incremento de aproximadamente un kilogramo mientras que para la densidad, el incremento fue de aproximadamente 9 plantas y en la tercera evaluación (24 dda) en general se mantuvo en condiciones similares.

Tabla 9. Biomasa y densidad del lirio acuático.

	Biomasa (kg)	Densidad (número)	Area foliar (cm <sup>2</sup> )
Inicio de aplicación	3 ± 0.3	51 ± 5	38.2
A 18 dda	4 ± 0.2	60 ± 5	-
A 24 dda	4 ± 0.3	57 ± 5	-

## 6.2. Descripción de los síntomas y efectos de los tratamientos

La aplicación a las plantas de cada uno de los tratamientos se realizó en forma aleatoria. Las primeras observaciones se realizaron a las 24 horas, observándose que los cambios que se presentaron en este lapso fueron mínimos.

A los dos días después de la aplicación (dda) se visualizaron los primeros cambios en algunas unidades experimentales, como la floración (Fotografía 6) y el inicio de amarillamiento o clorosis (Fotografía 7). Estos cambios se prolongaron hasta los 10 dda para la primera y 21 dda para el segundo.



Fotografía 5. Medición del área foliar de lirio acuático.



Fotografía 6. Floración del lirio acuático antes y después de la aplicación.



Fotografía 7. Secuencia del amarillamiento de las hojas del lirio acuático.

### 6.2.1 Efectos de los tratamientos sobre la floración

Los cambios en la floración se manifestaron en la modificación del color lila característico a blanco en las unidades experimentales que contenían el herbicida y sus combinaciones, incrementándose en relación al número de días después de la aplicación. En las unidades experimentales a las que se aplicaron únicamente ácidos orgánicos y en la testigo no se observó dicho cambio, como se muestra en la tabla 10. Además en éstos últimos se presentaron inflorescencias en general hasta el octavo y décimo día, pero en número superior a las unidades tratadas con el herbicida y sus combinaciones.

Con respecto al número de inflorescencias, los subtotales de los tratamientos con el herbicida y sus combinaciones presentan valores inferiores a los tratamientos con ácidos orgánicos y testigo en proporción de 1:5 para el octavo día y 1:8 para el décimo. Del total de las inflorescencias 64 fueron blancas y 497 lilas, presentando una proporción de 1:8

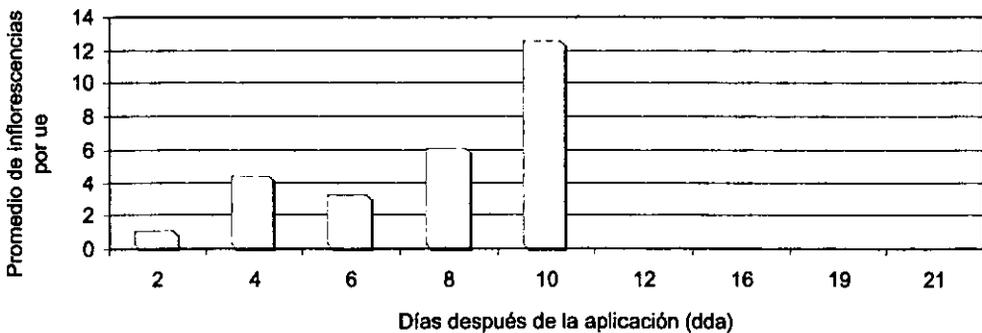
A partir de los 10 dda ya no se presentó el efecto del cambio del color en las inflorescencias.

Tabla 10. Efectos de los tratamientos sobre la inflorescencia.

No.	Trat	2		4		6		8		10		Subtotal		Total	
		lila	blanca	lila	blanca										
1	G1H1											0	0	0	
2	G1F1			3		1						3	1	4	
3	G1H2		1		1	3		12		12		27	2	29	
4	G1F2		1	1				6		8		15	1	16	
5	G1H3								1			0	1	1	
6	G1F3											0	0	0	
7	G1		2		10		1		1			0	14	14	
8	G2H1		1						5			0	6	6	
9	G2F1				7				4			7	10	17	
10	G2H2						6					0	11	11	
11	G2F2		2				1	1	14	2		3	17	20	
12	G2H3				4			4		17		25	0	25	
13	G2F3											0	0	0	
14	G2								1	1		1	1	2	
SUBTOTAL		0	7	15	11	3	17	23	29	40	0				
H1		15						28		47		75		0	75
H2		16						5		33		38		0	38
H3		17		5				12		35		52		0	52
F1		18				1		15		46		62		0	62
F2		19						10		35		45		0	45
F3		20						16		35		51		0	51
T		21		8		7		27		51		93		0	93
SUBTOTAL		0	0	13	0	8	0	113	0	282	0				
TÓTAL		0	7	28	11	11	17	136	29	322	0	497	64		

En la gráfica 1 se presenta el promedio de inflorescencias de lirio acuático por unidad experimental. La mayor cantidad de flores observadas fue a los 10 dda, posteriormente no se presentaron inflorescencias en los ensayos.

Gráfica 1. Floración de las plantas de lirio acuático





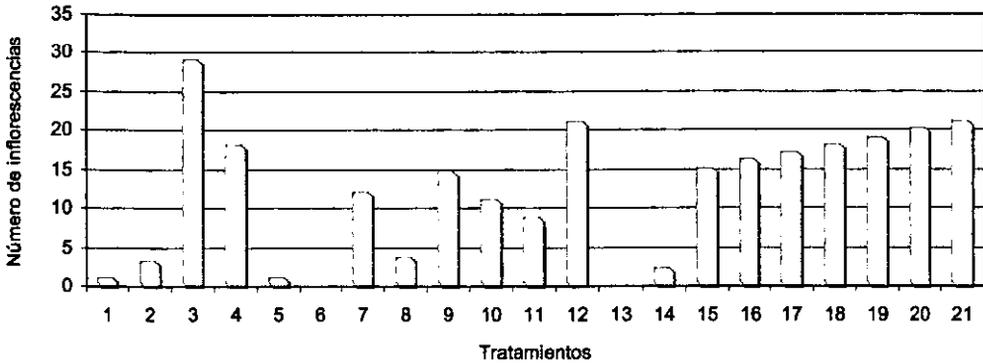
Fotografía 8. Características de las flores, sin efecto y el cambio de color.

En la gráfica 2 se observa la presencia de inflorescencias por tratamiento; la mayor cantidad de inflorescencias para los tratamientos con herbicida y sus combinaciones se observó en el ensayo 3 (glifosato 1.68 kg i.a./ha + ác. húmicos 18 g i.a./ha) que correspondió a la dosis más alta del herbicida y la concentración media de los ácidos húmicos, aunque la mayoría de las inflorescencias fueron de color lila (Tabla 10), a diferencia de 14 inflorescencias blancas que se observaron en el tratamiento con el herbicida al 50% G1.

El número de inflorescencias blancas se incrementó en los tratamientos con el herbicida al 25% y sus combinaciones con los ácidos orgánicos, resultando en forma contraria en el tratamiento donde se aplicó únicamente el herbicida en esta dosis G2, donde se presentó solamente una inflorescencia blanca (Tabla 10).

En las unidades experimentales que contenían únicamente ácidos húmicos y fúlvicos (15 a la 20) el comportamiento fue muy similar con el testigo (21), presentándose la floración en general superior en número y de manera uniforme.

Gráfica 2. Floración en los diferentes tratamientos

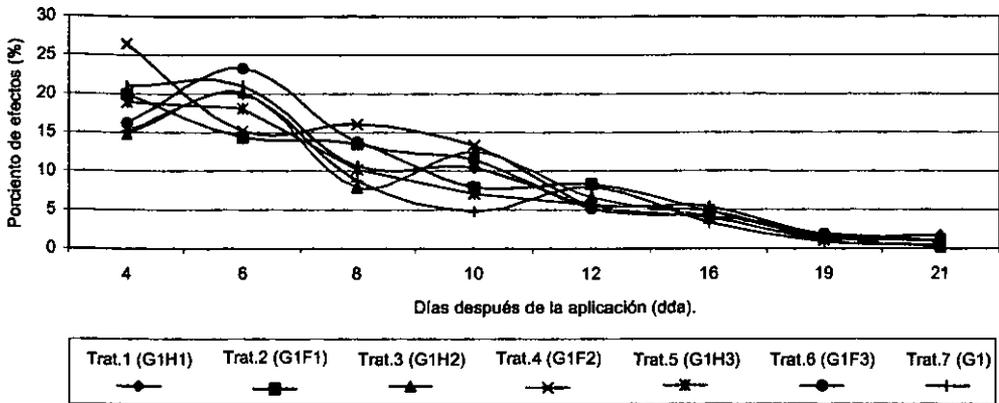


### 6.2.2. Efectos de los tratamientos sobre el amarillamiento o clorosis

La sintomatología que presentaron las hojas a la aplicación del herbicida y la combinación con los ácidos orgánicos se inició con el amarillamiento de la punta de la hoja de forma gradual hasta tornarse de color café y finalmente secarse, estos síntomas se generalizaron a toda la lámina y pecíolo hasta afectar por completo la planta (Fotografía 7).

El porcentaje de amarillamiento o clorosis del tejido fotosintético observado a los diferentes días después de la aplicación y debido a las combinaciones de dosis que contienen la concentración más alta del herbicida 1.68 kg i.a/ha (correspondiente al 50% de la dosis recomendada), se observa en la gráfica 3.

Gráfica 3. Porcentaje de efectos del herbicida glifosato (1.68 kg i.a./ha) con ácidos húmicos y fúlvicos.



Los datos se analizaron únicamente con los resultados obtenidos a los 21 dda, ya que a partir de esta fecha los cambios en cuanto al efecto de clorosis fueron mínimos. Las observaciones de los tratamientos se prolongaron hasta los 40 días, procediendo a finalizar el ensayo. Durante la evaluación de los tratamientos no se presentaron recrecimientos (plantas nuevas) en los que se aplicó el herbicida, mientras que en los tratamientos que contenían únicamente ácidos húmicos y fúlvicos, así como en el testigo, si se apreció el recrecimiento de plantas como se observa en las mediciones de biomasa y densidad realizadas a los 18 dda en las unidades experimentales testigo.

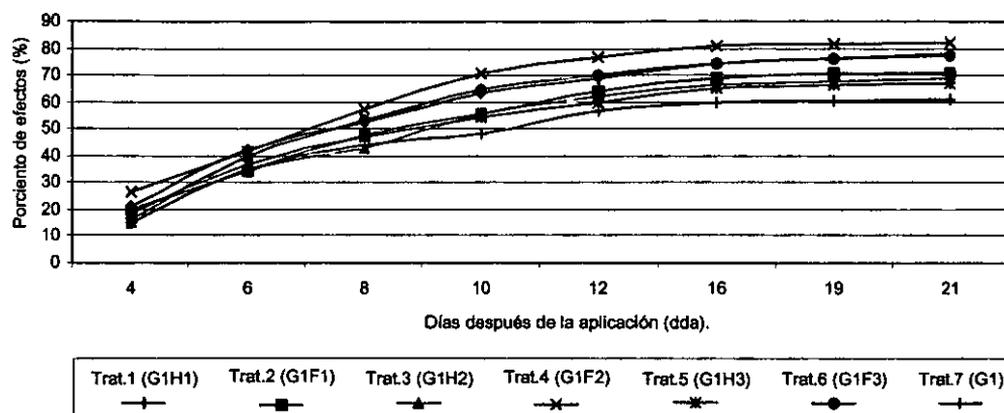
A los 4 dda se presentó el mayor efecto de clorosis en el tratamiento 4 y posteriormente los síntomas fueron decayendo para todos los tratamientos hacia el día 19, manteniéndose con cambios mínimos hasta los 21 dda.

El tratamiento que contenía únicamente el herbicida (Trat. 7) presentó el menor efecto 15%, comparado con el tratamiento 4 del 26%, que correspondió al tratamiento que contenía la combinación del herbicida con la dosis intermedia de ácidos fúlvicos (Trat. 4; 18 g i.a./ha). De esta observación y hasta los 21 dda el

incremento en los efectos fue menor en el tratamiento con el herbicida solo y mayor en los tratamientos en donde se combinó el herbicida con los ácidos orgánicos.

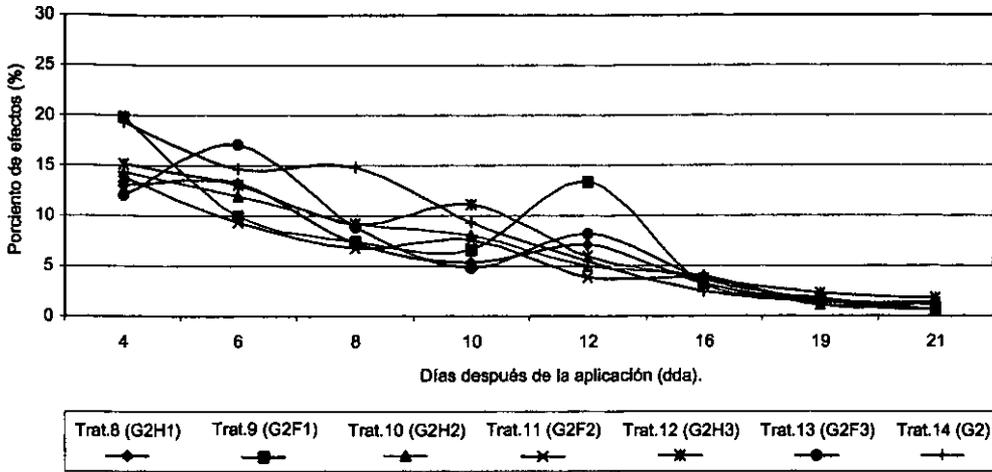
Por otro lado, el efecto acumulado hasta el día 21 dda (última medición) en cada unidad experimental y por tratamiento se observa en la gráfica 4. El tratamiento que presentó un mayor efecto resultó ser el de la combinación del herbicida al 50% con los ácidos fúlvicos a una dosis de 18 g i.a./ha (Trat. 4), el cual alcanzó un 82% de amarillamiento; mientras que el tratamiento que contenía únicamente el herbicida (Trat. 7) presentó el 61%.

Gráfica 4. Incremento de efectos del herbicida glifosato (1.68 kg i.a./ha) con ácidos húmicos y fúlvicos.



En lo que respecta a la dosis de glifosato de 0.84 kg i.a./ha (25% de la dosis recomendada) y su combinación con los ácidos orgánicos, el comportamiento en la cantidad de hojas cloróticas se presenta en las gráficas 5 y 6, en donde para la primera se observa el comportamiento de efecto en porcentaje para cada una de las observaciones y para la segunda el incremento acumulado hasta los 21 días.

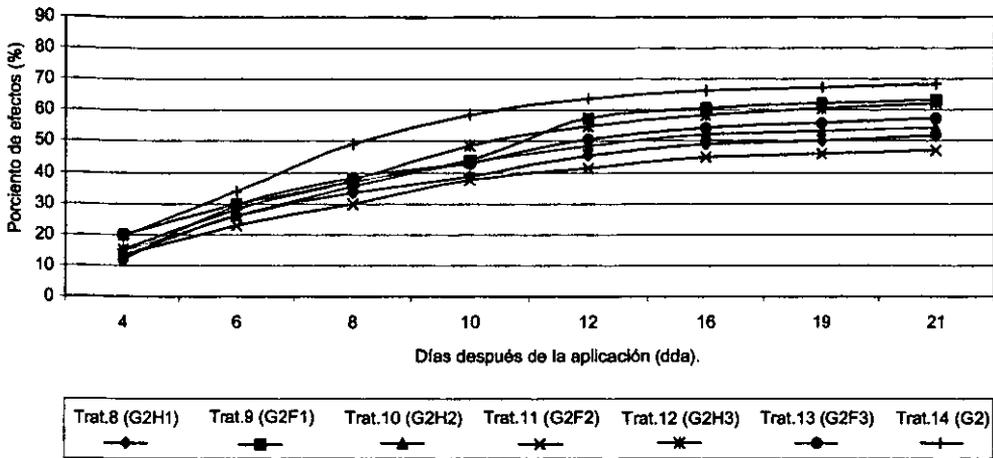
Gráfica 5. Porcentaje de efectos del herbicida glifosato (0.84 kg i.a./ha) con ácidos húmicos y fúlvicos.



El tratamiento con el herbicida solo (Trat. 14) presentó una mayor cantidad de hojas cloróticas con respecto a los tratamientos en los que se combinó con los ácidos orgánicos (Trat. 8 al 13). Lo anterior se observó a partir de los 6 y hasta los 21 dda.

En la gráfica 6 se observa la diferencia con respecto al tratamiento que contiene el herbicida solo y en los que se combina con los ácidos orgánicos. El tratamiento 14 (herbicida solo) resultó con mayor efecto en relación a todos los tratamientos que contenían tanto el herbicida como los ácidos orgánicos. El tratamiento con mayor efecto (herbicida solo) presentó un 68% de clorosis y el de menor de 52% que correspondió a la combinación del herbicida con los ácidos fúlvicos en una dosis de 18 g i.a./ha (Trat. 11).

Gráfica 6. Incremento de efectos del herbicida glifosato (0.84 kg i.a./ha) con ácidos húmicos y fúlvicos.



Resulta interesante observar que el tratamiento que contiene a los ácidos fúlvicos en la dosis de 18 g i.a./ha, trat 4, con concentración al 50% del herbicida presenta el mayor efecto con respecto a los otros tratamientos. De igual forma, el tratamiento 11 con la misma dosis de ácidos fúlvicos pero con una concentración al 25% del herbicida (0.84 kg i.a./ha) resulta ser el tratamiento que tiene el menor efecto (Gráfica 4 y 6).

### 6.3. Análisis de Varianza (ANOVA)

Del tratamiento 1 al 14 se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar los resultados del incremento acumulado del efecto de clorosis del herbicida y sus combinaciones con ácidos orgánicos. Los tratamientos 15 al 20 y 21 corresponden únicamente a concentraciones de ácidos orgánicos y al testigo. En estos no se presentaron hojas con los síntomas de clorosis.

De la tabla 11 a la 18 se presenta el número de hojas con clorosis, el porcentaje de efecto y el incremento acumulado a los diferentes días después de la aplicación (dda).

Del tratamiento 1 al 7 se evaluó la dosis más alta del herbicida (1.68 kg i.a./ha 50% de la dosis recomendada), del 1 al 6 se realizó la combinación del herbicida con los ácidos orgánicos y el ensayo 7 correspondió al herbicida sin ninguna mezcla.

En los resultados del ANOVA a los 4 dda todos los tratamientos resultaron iguales, es decir que estadísticamente no hay diferencias entre los tratamientos (Tabla 11); sin embargo, el tratamiento 4 (G1; 1.68 kg i.a./ha de herbicida y F2; 18 g i.a./ha de ácidos fúlvicos) es el que presenta el mayor porcentaje de efecto de amarillamiento (26.39%) mientras que el tratamiento que contiene únicamente el herbicida (G7) presentó el efecto menor (15.17%). En la tabla 11a se presentan los promedios del porcentaje de efecto de los tratamientos de forma ascendente.

Tabla 11. Efectos de clorosis a los 4 días después de la aplicación.

Tratamiento	Repeticiones								
	I			II			III		
	Núm. hojas	Por ciento de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Por ciento de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Por ciento de clorosis	Incremento de clorosis
1	38	19	19	39	20	20	57	24	24
2	37	16	16	28	12	12	80	33	33
3	38	15	15	26	14	14	34	15	15
4	44	23	23	47	24	24	54	32	32
5	50	24	24	39	20	20	29	12	12
6	32	13	13	28	15	15	44	20	20
7	45	19	19	18	9	9	38	17	17
8	31	13	13	37	15	15	26	11	11
9	54	28	28	33	13	13	44	18	18
10	48	22	22	17	8	8	26	13	13
11	49	22	22	6	3	3	36	16	16
12	37	15	15	23	16	16	31	14	14
13	50	19	19	14	7	7	23	11	11
14	46	23	23	35	16	16	45	20	20

ANOVA (Incremento de los efecto de clorosis)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.c.	F.t	Conclusión
TRATAMIENTOS	13	596	46	1.59	2.15	Los tratamientos son iguales
REPETICIONES	2	247	123	4.28	3.37	
ERROR	26	749	29			
TOTAL	41	1592	39			

Tabla 11a. Promedios de clorosis de los tratamientos.

Tratamientos	Promedios	
13	G2F3	12.12
8	G1H1	13.03
11	G2F2	13.84
10	G2H2	14.41
3	G1H2	14.80
12	G2H3	15.12
7	G1	15.17
6	G2F3	16.21
5	G1H3	18.96
14	G2	19.34
9	G2F2	19.84
2	G1F1	19.96
1	G2H1	21.03
4	G1F2	26.39

De acuerdo al ANOVA, a partir de los 6 dda y hasta los 21 dda los resultados del incremento en el efecto de amarillamiento presentaron diferencias por los distintos tratamientos. En la tabla 12 se presentan los efectos de amarillamiento en el número de hojas y en por ciento de clorosis a las 6 dda.

Tabla 12. Efectos de clorosis a los 6 días después de la aplicación.

Tratamiento	Repeticiones								
	I			II			III		
	Núm. hojas	Por ciento de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Por ciento de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Por ciento de clorosis	Incremento de clorosis
1	46	22	41	47	24	45	38	16	41
2	39	18	32	46	19	31	19	8	40
3	44	18	33	45	24	38	42	19	35
4	40	21	44	12	6	31	32	19	51
5	36	18	42	31	16	36	49	21	33
6	49	20	33	48	26	42	52	24	44
7	54	23	42	32	16	25	46	21	38
8	31	13	26	28	12	27	36	15	26
9	12	6	35	26	10	23	33	14	32
10	10	5	27	47	22	30	18	9	22
11	11	5	27	3	1	4	47	21	38
12	29	12	26	21	15	31	28	13	27
13	43	16	34	32	15	22	41	20	31
14	32	16	38	34	15	31	30	13	33

ANOVA (Incremento de los efecto de clorosis)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.c.	F.t	Conclusión
TRATAMIENTOS	13	1394	107	2.49	2.15	Hay diferencia en los tratamientos
REPETICIONES	2	234	117	2.72	3.37	
ERROR	26	1119	43			
TOTAL	41	2747	67			

Para identificar que tratamientos resultaron diferentes y su porcentaje de incremento acumulado del efecto de amarillamiento, se procedió a realizar una comparación de medias, utilizando la prueba de Duncan, a un nivel de significación ( $\alpha = 0.05$ ) del 95% (Montgomery, 1991). De acuerdo a dicha prueba se calculó el error estándar de cada promedio con la fórmula que se indica.

Cálculo del error estándar de cada promedio:

$$S_{\bar{y}_i} = \sqrt{\frac{CM_E}{n}}$$

$$S_{\bar{y}_i} = \sqrt{\frac{43.04}{14}} = 1.75$$

Se ordenaron del menor al mayor porcentaje de efecto y se determinó el rango mínimo significativo de cada una de las medias (Tabla 12<sup>a</sup>). Posteriormente se compararon cada uno de los promedios de los tratamientos contra los demás. Los resultados se presentan en la tabla 12b.

Tabla 12a. Rangos mínimos significativos de los promedios.

Tratamientos	Promedio	Rangos mínimos significativos
11	23.14	
8	26.21	$R_2 = r_{0.05}(2, 26) = S_x = (2.89)(1.75) = 5.07$
10	26.32	$R_3 = r_{0.05}(3, 26) = S_x = (3.04)(1.75) = 5.33$
12	28.23	$R_4 = r_{0.05}(4, 26) = S_x = (3.12)(1.75) = 5.47$
13	29.14	$R_5 = r_{0.05}(5, 26) = S_x = (3.20)(1.75) = 5.61$
9	29.91	$R_6 = r_{0.05}(6, 26) = S_x = (3.25)(1.75) = 5.70$
14	34.07	$R_7 = r_{0.05}(7, 26) = S_x = (3.29)(1.75) = 5.77$
2	34.39	$R_8 = r_{0.05}(8, 26) = S_x = (3.32)(1.75) = 5.82$
3	34.97	$R_9 = r_{0.05}(9, 26) = S_x = (3.35)(1.75) = 5.87$
7	35.19	$R_{10} = r_{0.05}(10, 26) = S_x = (3.37)(1.75) = 5.91$
5	37.09	$R_{11} = r_{0.05}(11, 26) = S_x = (3.37)(1.75) = 5.91$
6	39.62	$R_{12} = r_{0.05}(12, 26) = S_x = (3.37)(1.75) = 5.91$
4	41.69	$R_{13} = r_{0.05}(13, 26) = S_x = (3.37)(1.75) = 5.91$
1	42.04	$R_{14} = r_{0.05}(14, 26) = S_x = (3.37)(1.75) = 5.91$

Tabla 12b. Comparación de los promedios de los tratamientos.

Tratamientos	Promedios	Resultado	Rango	Conclusión
1 vs 11	42.04 - 23.14	= 18.91 >	5.91 (R <sub>14</sub> )	diferentes
1 vs 8	42.04 - 26.21	= 15.83 >	5.91 (R <sub>13</sub> )	diferentes
1 vs 10	42.04 - 26.32	= 15.72 >	5.91 (R <sub>12</sub> )	diferentes
1 vs 12	42.04 - 28.23	= 13.81 >	5.91 (R <sub>11</sub> )	diferentes
1 vs 13	42.04 - 29.14	= 12.91 >	5.91 (R <sub>10</sub> )	diferentes
1 vs 9	42.04 - 29.91	= 12.13 >	5.87 (R <sub>9</sub> )	diferentes
1 vs 14	42.04 - 34.07	= 7.98 >	5.82 (R <sub>8</sub> )	diferentes
1 vs 2	42.04 - 34.39	= 7.65 >	5.77 (R <sub>7</sub> )	diferentes
1 vs 3	42.04 - 34.97	= 7.07 >	5.70 (R <sub>6</sub> )	diferentes
1 vs 7	42.04 - 35.19	= 6.85 >	5.61 (R <sub>5</sub> )	diferentes
1 vs 5	42.04 - 37.09	= 4.95 <	5.47 (R <sub>4</sub> )	iguales
1 vs 6	42.04 - 39.62	= 2.43 <	5.33 (R <sub>3</sub> )	iguales
1 vs 4	42.04 - 41.69	= 0.36 <	5.07 (R <sub>2</sub> )	iguales
4 vs 11	41.69 - 23.14	= 18.55 >	5.91 (R <sub>13</sub> )	diferentes
4 vs 8	41.69 - 26.21	= 15.48 >	5.91 (R <sub>12</sub> )	diferentes
4 vs 10	41.69 - 26.32	= 15.37 >	5.91 (R <sub>11</sub> )	diferentes
4 vs 12	41.69 - 28.23	= 13.46 >	5.91 (R <sub>10</sub> )	diferentes
4 vs 13	41.69 - 29.14	= 12.55 >	5.87 (R <sub>9</sub> )	diferentes
4 vs 9	41.69 - 29.91	= 11.78 >	5.82 (R <sub>8</sub> )	diferentes
4 vs 14	41.69 - 34.07	= 7.62 >	5.77 (R <sub>7</sub> )	diferentes
4 vs 2	41.69 - 34.39	= 7.30 >	5.70 (R <sub>6</sub> )	diferentes
4 vs 3	41.69 - 34.97	= 6.72 >	5.61 (R <sub>5</sub> )	diferentes
4 vs 7	41.69 - 35.19	= 6.50 >	5.47 (R <sub>4</sub> )	diferentes
4 vs 5	41.69 - 37.09	= 4.60 <	5.33 (R <sub>3</sub> )	iguales
4 vs 6	41.69 - 39.62	= 2.07 <	5.07 (R <sub>2</sub> )	iguales
6 vs 11	39.62 - 23.14	= 16.48 >	5.91 (R <sub>12</sub> )	diferentes
6 vs 8	39.62 - 26.21	= 13.41 >	5.91 (R <sub>11</sub> )	diferentes
6 vs 10	39.62 - 26.32	= 13.30 >	5.91 (R <sub>10</sub> )	diferentes
6 vs 12	39.62 - 28.23	= 11.39 >	5.87 (R <sub>9</sub> )	diferentes
6 vs 13	39.62 - 29.14	= 10.48 >	5.82 (R <sub>8</sub> )	diferentes
6 vs 9	39.62 - 29.91	= 9.71 >	5.77 (R <sub>7</sub> )	diferentes
6 vs 14	39.62 - 34.07	= 5.55 <	5.70 (R <sub>6</sub> )	iguales
6 vs 2	39.62 - 34.39	= 5.23 <	5.61 (R <sub>5</sub> )	iguales
6 vs 3	39.62 - 34.97	= 4.65 <	5.47 (R <sub>4</sub> )	iguales
6 vs 7	39.62 - 35.19	= 4.43 <	5.33 (R <sub>3</sub> )	iguales
6 vs 5	39.62 - 37.09	= 2.53 <	5.07 (R <sub>2</sub> )	iguales
5 vs 11	37.09 - 23.14	= 13.95 >	5.91 (R <sub>11</sub> )	diferentes
5 vs 8	37.09 - 26.21	= 10.88 >	5.91 (R <sub>10</sub> )	diferentes
5 vs 10	37.09 - 26.32	= 10.77 >	5.87 (R <sub>9</sub> )	diferentes
5 vs 12	37.09 - 28.23	= 8.86 >	5.82 (R <sub>8</sub> )	diferentes
5 vs 13	37.09 - 29.14	= 7.95 >	5.77 (R <sub>7</sub> )	diferentes
5 vs 9	37.09 - 29.91	= 7.18 >	5.70 (R <sub>6</sub> )	diferentes
5 vs 14	37.09 - 34.07	= 3.02 <	5.61 (R <sub>5</sub> )	iguales
5 vs 2	37.09 - 34.39	= 2.70 <	5.47 (R <sub>4</sub> )	iguales
5 vs 3	37.09 - 34.97	= 2.12 <	5.33 (R <sub>3</sub> )	iguales
5 vs 7	37.09 - 35.19	= 1.90 <	5.07 (R <sub>2</sub> )	iguales

## RESULTADOS

Tratamientos	Promedios		Resultado		Rango	Conclusión
7 vs 11	35.19 - 23.14	=	12.05	>	5.91 (R <sub>10</sub> )	diferentes
7 vs 8	35.19 - 26.21	=	8.98	>	5.87 (R <sub>9</sub> )	diferentes
7 vs 10	35.19 - 26.32	=	8.87	>	5.82 (R <sub>8</sub> )	diferentes
7 vs 12	35.19 - 28.23	=	6.96	>	5.77 (R <sub>7</sub> )	diferentes
7 vs 13	35.19 - 29.14	=	6.05	>	5.70 (R <sub>6</sub> )	diferentes
7 vs 9	35.19 - 29.91	=	5.28	<	5.61 (R <sub>5</sub> )	iguales
7 vs 14	35.19 - 34.07	=	1.12	<	5.47 (R <sub>4</sub> )	iguales
7 vs 2	35.19 - 34.39	=	0.80	<	5.33 (R <sub>3</sub> )	iguales
7 vs 3	35.19 - 34.97	=	0.22	<	5.07 (R <sub>2</sub> )	iguales
3 vs 11	34.97 - 23.14	=	11.83	>	5.87 (R <sub>9</sub> )	diferentes
3 vs 8	34.97 - 26.21	=	8.76	>	5.82 (R <sub>8</sub> )	diferentes
3 vs 10	34.97 - 26.32	=	8.65	>	5.77 (R <sub>7</sub> )	diferentes
3 vs 12	34.97 - 28.23	=	6.74	>	5.70 (R <sub>6</sub> )	diferentes
3 vs 13	34.97 - 29.14	=	5.83	>	5.61 (R <sub>5</sub> )	diferentes
3 vs 9	34.97 - 29.91	=	5.06	<	5.47 (R <sub>4</sub> )	iguales
3 vs 14	34.97 - 34.07	=	0.90	<	5.33 (R <sub>3</sub> )	iguales
3 vs 2	34.97 - 34.39	=	0.58	<	5.07 (R <sub>2</sub> )	iguales
2 vs 11	34.39 - 23.14	=	11.25	>	5.82 (R <sub>9</sub> )	diferentes
2 vs 8	34.39 - 26.21	=	8.18	>	5.77 (R <sub>7</sub> )	diferentes
2 vs 10	34.39 - 26.32	=	8.07	>	5.70 (R <sub>6</sub> )	diferentes
2 vs 12	34.39 - 28.23	=	6.16	>	5.61 (R <sub>5</sub> )	diferentes
2 vs 13	34.39 - 29.14	=	5.25	<	5.47 (R <sub>4</sub> )	iguales
2 vs 9	34.39 - 29.91	=	4.48	<	5.33 (R <sub>3</sub> )	iguales
2 vs 14	34.39 - 34.07	=	0.32	<	5.07 (R <sub>2</sub> )	iguales
14 vs 11	34.07 - 23.14	=	10.93	>	5.77 (R <sub>7</sub> )	diferentes
14 vs 8	34.07 - 26.21	=	7.86	>	5.70 (R <sub>6</sub> )	diferentes
14 vs 10	34.07 - 26.32	=	7.75	>	5.61 (R <sub>5</sub> )	diferentes
14 vs 12	34.07 - 28.23	=	5.84	>	5.47 (R <sub>4</sub> )	diferentes
14 vs 13	34.07 - 29.14	=	4.93	<	5.33 (R <sub>3</sub> )	iguales
14 vs 9	34.07 - 29.91	=	4.16	<	5.07 (R <sub>2</sub> )	iguales
9 vs 11	29.91 - 23.14	=	6.77	>	5.70 (R <sub>6</sub> )	diferentes
9 vs 8	29.91 - 26.21	=	3.70	<	5.61 (R <sub>5</sub> )	iguales
9 vs 10	29.91 - 26.32	=	3.59	<	5.47 (R <sub>4</sub> )	iguales
9 vs 12	29.91 - 28.23	=	1.68	<	5.33 (R <sub>3</sub> )	iguales
9 vs 13	29.91 - 29.14	=	0.77	<	5.07 (R <sub>2</sub> )	iguales
13 vs 11	29.14 - 23.14	=	6.00	>	5.61 (R <sub>5</sub> )	diferentes
13 vs 8	29.14 - 26.21	=	2.93	<	5.47 (R <sub>4</sub> )	iguales
13 vs 10	29.14 - 26.32	=	2.82	<	5.33 (R <sub>3</sub> )	iguales
13 vs 12	29.14 - 28.23	=	0.91	<	5.07 (R <sub>2</sub> )	iguales
12 vs 11	28.23 - 23.14	=	5.09	<	5.47 (R <sub>4</sub> )	iguales
12 vs 8	28.23 - 26.21	=	2.02	<	5.33 (R <sub>3</sub> )	iguales
12 vs 10	28.23 - 26.32	=	1.91	<	5.07 (R <sub>2</sub> )	iguales
10 vs 11	26.32 - 23.14	=	3.18	<	5.33 (R <sub>3</sub> )	iguales
10 vs 8	26.32 - 26.21	=	0.11	<	5.07 (R <sub>2</sub> )	iguales
8 vs 11	26.21 - 23.14	=	3.07	<	5.07 (R <sub>2</sub> )	iguales

En la tabla 12c se presenta el resultado de la comparación de cada uno de los promedios de los tratamientos contra los demás. Se observa que el de mayor efecto a los 6 dda fue el número 1 (G1H1) con 42.04%, que corresponde al que contiene la dosis de herbicida de 1.68 kg i.a./ha y ácidos húmicos de 72 g de i.a./ha. Estadísticamente este tratamiento resulta igual a los tratamientos 4, 5 y 6. Así mismo, es diferente a los tratamientos 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 como se observa en la tabla 12c. Mientras que los tratamientos (7 y 14) que contenían únicamente el herbicida en las dos concentraciones al 50 y 25% de la dosis recomendada resultaron iguales entre ellos.

Tabla 12c. Comparación de los promedios de los tratamientos a los 6 dda

Tratamiento	1	4	6	5	7	3	2	14	9	13	12	10	8
%	G1H1 42.04	G1F2 41.89	G1F3 39.62	G1H3 37.09	G1 35.19	GIH2 34.97	G1F1 34.39	G2 34.07	G2F1 29.91	G2F3 29.14	G2H3 28.23	G2H2 26.32	G2H1 26.21
4 G1F2	41.89												
6 G1F3	39.62												
5 G1H3	37.09												
7 G1	35.19												
3 GIH2	34.97												
2 G1F1	34.39												
14 G2	34.07												
9 G2F1	29.91												
13 G2F3	29.14												
12 G2H3	28.23												
10 G2H2	26.32												
8 G2H1	26.21												
11 G2F2	23.14												

Tratamientos:            Iguales            Diferentes

El comportamiento de los resultados entre los 8 y 21 dda (Tablas 13 a 18), resultó consistente ya que el tratamiento con el mayor porcentaje de efecto fue el número 4 (G1F2) en todos los casos, el cual corresponde a la dosis de herbicida de 1.68 kg i.a./ha y ácidos fúlvicos de 18g de i.a./ha. Además, este tratamiento resultó estadísticamente igual al 1 (G1H1) y 6 (G1F3), en los que la dosis de herbicida fue la misma, asumiéndose que las diferencias en los porcentajes entre ellos, aunque no son significativas, pueden asociarse a los ácidos húmicos y fúlvicos. Así mismo, el tratamiento 4 resultó diferente a los tratamientos 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 como se observa en las tablas 13a, 14a, 15a, 16a, 17a y 18a. Con respecto a los

tratamientos que se les aplicó únicamente el herbicida 7 (G1) y 14 (G2), presentaron menor efecto con respecto a los tratamientos 1, 4 y 6 en todo el experimento, esto se observa en las tablas de la 12a a la 18a. El efecto entre los tratamientos 7 y 14 resultó estadísticamente similar, aunque la diferencia fue del 25%, resaltando que la dosis menor, 25% de la recomendada, presentó un porcentaje de efecto del 7% mayor de la dosis más alta (50%).

Tabla 13. Efectos de clorosis a los 8 días después de la aplicación.

Tratamiento	Repeticiones								
	I			II			III		
	Núm. hojas	Porcentaje de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Porcentaje de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Porcentaje de clorosis	Incremento de clorosis
1	24	12	53	18	9	54	26	11	52
2	17	7	39	23	10	40	58	24	64
3	17	7	40	15	8	46	20	9	44
4	30	16	59	27	14	45	31	18	69
5	20	10	52	17	9	45	29	12	45
6	24	10	43	25	14	55	38	17	61
7	35	15	57	13	7	32	10	5	43
8	14	6	32	18	7	34	20	8	34
9	25	13	48	8	3	26	15	6	38
10	21	10	38	12	6	36	24	12	35
11	17	8	35	13	6	11	14	6	44
12	21	8	35	11	8	39	25	12	39
13	22	8	43	16	8	30	22	11	42
14	34	17	55	31	14	45	32	14	47

ANOVA (Incremento de los efecto de clorosis)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.c.	F.t	Conclusión
TRATAMIENTOS	13	2699	208	3.15	2.15	Hay diferencia en los tratamientos
REPETICIONES	2	539	270	4.10	3.37	
ERROR	26	1711	66			
TOTAL	41	4949	121			

Tabla 13a. Comparación de los promedios de los tratamientos a los 8 dda

Tratamiento	%	4	6	1	14	2	5	7	3	13	12	9	10	8
		G1F2	G1F3	G1H1	G2	G1F1	G1H3	G1	G1H2	G2F3	G2H3	G2F1	G2H2	G2H1
6 G1F3	53.27													
1 G1H1	52.76													
14 G2	48.96													
2 G1F1	47.86													
5 G1H3	47.37													
7 G1	43.87													
3 G1H2	42.91													
13 G2F3	37.95													
12 G2H3	37.47													
9 G2F1	37.40													
10 G2H2	35.48													
8 G2H1	33.43													
11 G2F2	29.94													

Tratamientos:

Iguales

Diferentes

Tabla 14. Efectos de clorosis a los 10 días después de la aplicación.

Tratamiento	Repeticiones								
	I			II			III		
	Núm. hojas	Por ciento de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Por ciento de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Por ciento de clorosis	Incremento de clorosis
1	14	7	60	32	17	70	19	8	60
2	13	5	45	10	4	45	35	14	78
3	28	11	51	23	12	58	31	14	58
4	25	13	72	20	10	55	28	16	85
5	18	9	60	17	9	54	8	3	49
6	34	14	57	14	8	63	28	13	74
7	16	7	64	2	1	33	14	6	49
8	9	4	35	12	5	38	17	7	41
9	16	8	56	10	4	30	18	7	46
10	18	8	44	12	6	41	20	10	45
11	16	7	42	13	6	17	20	9	53
12	24	10	44	17	12	51	26	12	51
13	10	4	46	9	4	34	13	6	48
14	28	14	69	10	5	50	23	10	57

ANOVA (Incremento de los efecto de clorosis)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.c.	F.t	Conclusión
TRATAMIENTOS	13	4061	312	3.19	2.15	Hay diferencia en los tratamientos
REPETICIONES	2	884	442	4.52	3.37	
ERROR	26	2544	98			
TOTAL	41	7490	183			

Tabla 14a. Comparación de los promedios de los tratamientos a los 10 dda

Tratamiento	%	4	6	1	14	2	3	5	12	7	9	10	13	8
		G1F2	G1F3	G1H1	G2	G1F1	G1H2	G1H3	G2H3	G1	G2F1	G2H2	G2F3	G2H1
6 G1F3	64.74													
1 G1H1	63.27													
14 G2	58.38													
2 G1F1	55.83													
3 G1H2	55.40													
5 G1H3	54.37													
12 G2H3	48.68													
7 G1	48.60													
9 G2F1	43.99													
10 G2H2	43.50													
13 G2F3	42.72													
8 G2H1	38.70													
11 G2F2	37.50													

Tratamientos:

Iguales

Diferentes

Tabla 15. Efectos de clorosis a los 12 días después de la aplicación.

Tratamiento	Repeticiones								
	I			II			III		
	Núm. hojas	Por ciento de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Por ciento de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Por ciento de clorosis	Incremento de clorosis
1	10	5	64	13	7	77	13	6	65
2	15	6	51	22	9	54	24	10	88
3	14	6	56	13	7	65	16	7	65
4	8	4	77	8	4	59	15	9	94
5	9	4	65	6	3	57	22	9	58
6	19	8	64	9	5	68	7	3	78
7	19	8	72	16	8	41	17	8	57
8	20	8	44	17	7	46	14	6	47
9	32	17	73	20	8	38	38	16	61
10	7	3	48	16	7	49	8	4	49
11	12	5	48	6	3	20	7	3	57
12	15	6	50	10	7	58	11	5	56
13	22	8	54	17	8	42	17	8	56
14	9	4	73	12	5	55	15	7	63

ANOVA (Incremento de los efecto de clorosis)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.c.	F.t	Conclusión
TRATAMIENTOS	13	3854	296	2.67	2.15	Hay diferencia en los tratamientos
REPETICIONES	2	1011	506	4.55	3.37	
ERROR	26	2889	111			
TOTAL	41	7754	189			

Tabla 15a. Comparación de los promedios de los tratamientos a los 12 dda

Tratamiento	%	4	6	1	2	14	3	5	9	7	12	13	10	8
		G1F2	G1F3	G1H1	G1F1	G2	G1H2	G1H3	G2F1	G1	G2H3	G2F3	G2H2	G2H1
6	G1F3	70.05												
1	G1H1	88.99												
2	G1F1	64.25												
14	G2	63.85												
3	G1H2	61.98												
5	G1H3	59.97												
9	G1F1	57.46												
7	G1	56.56												
12	G2H3	54.72												
13	G2F3	50.89												
10	G2H2	48.43												
8	G2H1	45.77												
11	G2F2	41.35												

Tratamientos:

Iguals

Diferentes

Tabla 16. Efectos de clorosis a los 16 días después de la aplicación.

Tratamiento	Repeticiones								
	I			II			III		
	Núm. hojas	Porcentaje de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Porcentaje de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Porcentaje de clorosis	Incremento de clorosis
1	10	5	69	11	6	83	13	6	71
2	11	5	55	11	5	58	13	5	93
3	11	4	61	8	4	69	9	4	69
4	7	4	80	8	4	64	7	4	98
5	14	7	72	6	3	60	12	5	63
6	14	6	70	6	3	71	8	4	81
7	13	6	78	4	2	43	5	2	59
8	10	4	48	11	5	51	2	1	48
9	9	5	77	8	3	41	4	2	63
10	9	4	52	8	4	52	8	4	53
11	9	4	52	2	1	21	13	6	63
12	8	3	54	6	4	62	8	4	60
13	5	2	56	12	6	48	7	3	60
14	2	1	74	3	1	57	11	5	68

ANOVA (Incremento de los efecto de clorosis)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.c.	F.t	Conclusión
TRATAMIENTOS	13	4105	316	2.56	2.15	Hay diferencia en los tratamientos
REPETICIONES	2	1073	536	4.35	3.37	
ERROR	26	3204	123			
TOTAL	41	8382	204			

Tabla 16a. Comparación de los promedios de los tratamientos a los 16 dda

Tratamiento	%	4	1	6	2	3	14	5	9	7	12	13	10	8
		G1F2 80.662	G1H1 74.370	G1F3 74.275	G1F1 69.088	G1H2 66.225	G2 66.221	G1H3 64.982	G2F1 60.832	G1 59.844	G2H3 58.431	G2F3 54.541	G2H2 52.411	G2H1 48.957
1 GIH1	74.370													
6 GIF3	74.275													
2 G1F1	69.088													
3 G1H2	66.225													
14 G2	66.221													
5 G1H3	64.982													
9 G2F1	60.632													
7 G1	59.844													
12 G2H3	58.431													
13 G2F3	54.541													
10 G2H2	52.411													
8 G2H1	48.957													
11 G2F2	45.005													

Tratamientos:

Iguales

Diferentes

Tabla 17. Efectos de clorosis a los 19 días después de la aplicación.

Tratamiento	Repeticiones								
	I			II			III		
	Núm. hojas	Porcentaje de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Porcentaje de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Porcentaje de clorosis	Incremento de clorosis
1	1	0	70	5	3	85	4	2	73
2	2	1	56	4	2	60	5	2	96
3	1	0	61	5	3	71	2	1	70
4	2	1	81	1	1	64	3	2	100
5	2	1	73	2	1	61	5	2	65
6	5	2	72	3	2	73	4	2	83
7	0	0	78	1	1	43	4	2	61
8	0	0	48	7	3	54	4	2	50
9	3	2	79	8	3	44	2	1	64
10	0	0	52	4	2	54	3	2	55
11	2	1	52	1	0	21	4	2	64
12	2	1	54	2	1	63	10	5	64
13	0	0	56	4	2	50	6	3	63
14	3	1	75	4	2	59	3	1	69

ANOVA (Incremento de los efectos de clorosis)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.c.	F.t	Conclusión
TRATAMIENTOS	13	4143	319	2.47	2.15	Hay diferencia en los tratamientos
REPETICIONES	2	1069	534	4.15	3.37	
ERROR	26	3350	129			
TOTAL	41	8562	209			

Tabla 17a. Comparación de los promedios de los tratamientos a los 19 dda

Tratamiento	%	4	6	1	2	14	3	5	9	12	7	13	10	8
		G1F2	G1F3	G1H1	G1F1	G2	G1H2	G1H3	G2F1	G2H3	G1	G2F3	G2H2	G2H1
6 (G1F3)	78.12													
1 (G1H1)	75.97													
2 (G1F1)	70.60													
14 (G2)	87.75													
3 (G1H2)	87.54													
5 (G1H3)	88.36													
9 (G2F1)	82.48													
12 (G2H3)	80.71													
7 (G1)	80.62													
13 (G2F3)	56.15													
10 (G2H2)	53.54													
8 (G2H1)	50.48													
11 (G2F2)	46.08													

Tratamientos:            Iguales            Diferentes

Tabla 18. Efectos de clorosis a los 21 días después de la aplicación.

Tratamiento	Repeticiones								
	I			II			III		
	Núm. hojas	Porcentaje de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Porcentaje de clorosis	Incremento de clorosis	Núm. hojas	Porcentaje de clorosis	Incremento de clorosis
1	4	2	72	2	1	87	5	2	75
2	0	0	56	2	1	61	0	0	96
3	2	1	62	2	1	72	3	1	71
4	0	0	81	2	1	65	0	0	100
5	2	1	74	1	1	62	2	1	66
6	3	1	73	2	1	74	2	1	84
7	2	1	79	0	0	43	1	0	61
8	3	1	49	3	1	55	4	2	51
9	1	1	80	2	1	45	1	0	64
10	2	1	53	1	0	55	1	1	55
11	3	1	54	4	2	23	1	0	65
12	4	2	56	2	1	65	5	2	67
13	2	1	57	6	3	52	0	0	63
14	0	0	75	0	0	59	4	2	71

ANOVA (Incremento de los efecto de clorosis)

	F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.c.	F.t	Conclusión
TRATAMIENTOS		13	4055	312	2.50	2.15	Hay diferencia en los tratamientos
REPETICIONES		2	1049	524	4.21	3.37	
ERROR		26	3241	125			
TOTAL		41	8345	204			

Tabla 18a. Comparación de los promedios de los tratamientos a los 21 dda

Tratamiento	%	4	1	6	2	3	14	5	9	12	7	13	10	8
		G1F2	G1H1	G1F3	G1F1	G1H2	G2	G1H3	G2F1	G2H3	G1	G2F3	G2H2	G2H1
1 (G1H1)	77.67													
8 (G1F3)	77.20													
2 (G2)	70.88													
3 (G1H2)	68.62													
14 (G2)	68.33													
5 (G2H3)	67.14													
9 (G2F1)	63.06													
12 (G2H3)	62.49													
7 (G1)	61.05													
13 (G2F2)	57.35													
10 (G2H2)	54.18													
8 (G2H1)	51.87													
11 (G2F2)	47.33													

Tratamientos:

Iguales

Diferentes

A manera de resumen en la tabla 19 se presenta el promedio de la evaluación a diferentes días y el resumen del ANOVA para el número de hojas con amarillamiento, el porcentaje y el incremento de efecto de los tratamientos.

Tabla 19. Resumen de los promedios de amarillamiento y el ANOVA

Tr.	Días después de la aplicación																							
	4			6			8			10			12			16			19			21		
	No	%	▲	No	%	▲	No	%	▲	No	%	▲	No	%	▲	No	%	▲	No	%	▲	No	%	▲
Dosis de herbicida de 1.68 kg i.a./ha																								
1	45	21	21	44	21	42	23	11	53	22	11	63	12	6	69	11	5	74	3	2	76	4	2	78
2	48	20	20	35	14	34	33	13	48	19	8	56	20	8	64	12	5	69	4	2	71	1	0	71
3	33	15	15	44	20	35	17	8	43	27	12	55	14	7	62	9	4	66	3	1	68	2	1	69
4	48	26	26	28	15	42	29	16	58	24	13	71	10	6	77	7	4	81	2	1	82	1	0	82
5	39	19	19	39	18	37	22	10	47	14	7	54	12	6	60	11	5	65	3	1	66	2	1	67
6	35	16	16	50	23	40	29	14	53	25	11	65	12	5	70	9	4	74	4	2	76	2	1	77
7	34	15	15	44	20	35	19	9	44	11	5	49	17	8	57	7	3	60	2	1	61	1	0	61
Dosis de herbicida de 0.84 kg i.a./ha																								
8	31	13	13	32	13	26	17	7	33	13	5	39	17	7	46	8	3	49	4	2	50	3	1	52
9	44	20	20	24	10	30	16	7	37	15	7	44	30	13	57	7	3	61	4	2	62	1	1	63
10	30	14	14	25	12	26	19	9	35	17	8	44	10	5	48	8	4	52	2	1	54	1	1	54
11	30	14	14	20	9	23	15	7	30	16	8	37	8	4	41	8	4	45	2	1	46	3	1	47
12	30	15	15	25	13	28	19	9	37	22	11	49	12	6	55	7	4	58	5	2	61	4	2	62
13	29	12	12	39	17	29	20	9	38	11	5	43	19	8	51	8	4	55	3	2	56	3	1	57
14	42	19	19	32	15	34	32	15	49	20	9	56	12	5	64	5	2	66	3	2	68	1	1	68
Re	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	*	*	*	*	*	*	*	*	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	NS	*

- No : Número de hojas amarillas
- % : Porcentaje de clorosis
- ▲ : Incremento de clorosis
- Tr. : Tratamientos
- Re : Resultado
- NS : No significativo, los tratamientos son iguales
- \* : Significativo, hay diferencia en los tratamientos

## 7. CONCLUSIONES

Conforme al objetivo de este trabajo de evaluar la efectividad del control del lirio acuático con bajas concentraciones del herbicida glifosato (50%; 1.68 kg i.a/ha y 25%, 0.84 kg i.a/ha) en combinación con sustancias que promuevan el crecimiento de las plantas (ácidos húmicos: 72, 18 y 4.5 g i.a/ha y fúlvicos 72, 18 y 4.5 g i.a/ha) resultó lo siguiente:

- ✓ Debido a que la reducción en el número de inflorescencias y cambios en el color de lila a blanco se presentaron únicamente en los tratamientos que se aplicó el herbicida y sus combinaciones, a diferencia del testigo y los tratamientos con ácidos orgánicos que fueron de 5 a 8 veces superiores en número de inflorescencias y que no presentaron ninguna blanca, se asume que se deben a la acción del herbicida.
- ✓ De igual forma, la presencia temprana de inflorescencias desde el 2 dda puede deberse a la acción del herbicida, ya que en los tratamientos con ácidos orgánicos y el testigo se presentaron únicamente en los días 8 y 10 dda.
- ✓ Los primeros efectos de amarillamiento de las plantas de lirio acuático se observaron a los 2 días después de la aplicación del herbicida con los ácidos orgánicos prolongándose hasta los 21 días. Sin embargo, las diferencias debidas a los tratamientos no fueron evidentes sino hasta los 6 días después de la aplicación.

- ✓ El mayor efecto de amarillamiento de las plantas de lirio acuático se presentó en los tratamientos que contenían la dosis de glifosato de 1.68 kg i.a./ha (50% de la dosis recomendada) combinado con los ácidos orgánicos. Es decir, se aumentó la efectividad cuando se combinó el herbicida con los ácidos orgánicos y por lo tanto se observó una reducción en el tiempo en que se presentó el efecto de amarillamiento.
- ✓ De igual forma puede decirse que bajo condiciones controladas, el efecto de las concentraciones del herbicida al 50% y 25% se presentaron en un tiempo menor al esperado, ya que autores como Asthon, *et. al.*, (1981) y NAS (1990), mencionan que los efectos del glifosato bajo condiciones de campo tardan de dos a tres semanas después de la aplicación.
- ✓ De acuerdo al análisis de varianza los tratamientos en los primeros cuatro días dda resultaron iguales estadísticamente. Sin embargo, el tratamiento 4 (G1F2) con la dosis de herbicida de 1.68 kg i.a./ha y ácidos fúlvicos de 18 g ia./ha resultó con un mayor efecto de amarillamiento en las plantas (26%), seguido del tratamiento 1 (G1H1), 21%. con la dosis de herbicida de 1.68 kg i.a./ha y ácidos húmicos de 72 g ia./ha. Como al comparar los efectos de los tratamientos con el herbicida solo 7 (G1) y 14 (G2) con concentraciones de 1.68 y 0.84 kg i.a./ha y efectos de 15 y 19% respectivamente, puede asumirse que el incremento a 21 y 26% de efecto en las primeras combinaciones se debe a los ácidos orgánicos
- ✓ A los 6 días dda, el tratamiento con el mayor efecto de amarillamiento es el 1 (G1H1) con 42.04%, resultando estadísticamente igual al tratamiento 4 con 41.6%, siendo ambos superiores a los efectos con el herbicida solo, por lo cual se mantiene la aseveración que el incremento en el porcentaje de efecto se debe a la acción de los ácidos orgánicos.

- ✓ Como a partir del día 8 y hasta el 21 dda el tratamiento 4 presenta el mayor porcentaje de efecto, en relación con las demás combinaciones y las dosis del herbicida solo, incrementándose de 57.66 a 82.12% es posible atribuir tal incremento a la acción del ácido fúlvico en la dosis intermedia de 18 g ia/ha. Así mientras que con el glifosato al 25% de la dosis recomendada se esperaría lograr un efecto de hasta 68%, la combinación G1F2 (tratamiento 4) lograría un incremento del 14%.
- ✓ La predominancia del tratamiento 4 como el de mayor efecto puede deberse a las propiedades de solubilidad bajo todas las condiciones físicas y químicas de los ácidos fúlvicos, así como a sus propiedades electrolíticas que hacen que se considere un elemento clave en el transporte de nutrientes.
- ✓ La actividad del glifosato y las combinaciones de éste con los ácidos orgánicos, al parecer se relacionan con la actividad metabólica de las auxinas, las cuales se activan como parte de los primeros efectos del herbicida, promoviendo el crecimiento apical y preparando en forma alguna el sustrato donde actúa el glifosato, el cual se reconoce que se mueve rápidamente la zona apical de la planta e inhibe la síntesis de proteínas.
- ✓ Otra observación de importancia fue el nulo recrecimiento de las plantas a las que se les aplicó la mezcla del herbicida con los ácidos orgánicos lo que resulta de interés para el manejo de ésta maleza, ya que una parte fundamental en un programa de control es la recuperación de las plantas y la reinfestación de los cuerpos de agua.

- ✓ Como el análisis estadístico permitió estimar los porcentajes de efectos y clasificó como iguales a los tratamientos aplicados, fundamentalmente del herbicida a 50% y 25% de la dosis recomendada, se puede concluir que la dosis empleada actualmente para el control de lirio acuático puede ser reducida, toda vez que la evaluación se realice bajo condiciones de campo.
  
- ✓ Finalmente, la reducción de las dosis del herbicida puede favorecer potencialmente la reducción de los costos y daños al ambiente, así como los riesgos por su manejo técnico. Por otro lado la combinación con los ácidos orgánicos podrá verse favorecida, toda vez que se siga reconociendo la importancia de éstos compuestos no sólo a nivel del transporte de nutrientes en las plantas, sino en otros organismos, incluso el humano y se comercialice su producción, distribución y uso.

## 8. SUGERENCIAS

- Conforme a los resultados se sugiere probar concentraciones de ácidos fúlvicos entre 18 y 72 g, combinadas con la dosis de herbicida de 1.68 kg i.a/ha (50% de la actualmente recomendada por los fabricantes) para comprobar si se incrementa el efecto de amarillamiento debido a la acción de los ácidos fúlvicos, que en la concentración intermedia 18g ia/ha resultó de 82%.
- Evaluar la combinación del herbicida con ácidos húmicos y fulvicos en diferentes condiciones ambientales de temperatura, humedad relativa, entre otros.
- Evaluar combinaciones asociadas con otros productos como surfactantes, adherentes, que mejoren su penetración y transporte en el lirio.
- Evaluar la toxicidad de la combinación del herbicida con los ácidos orgánicos y los productos que resulten adecuados, así como un posible efecto residual y sinérgico por su permanencia e interacción en el ambiente.
- Realizar el ensayo en condiciones de campo con las dosis que resulten con los mayores porcentajes de efecto, tratando de confinar las poblaciones sujetas a experimentación.
- Llevar a cabo ensayos en los cuales se evalúen aplicaciones repetidas de ácidos húmicos y fúlvicos solos, para distinguir en forma precisa sus efectos sobre la floración y el amarillamiento de las plantas y se recrecimiento.

- Dependiendo de los resultados obtenidos en campo se estaría en la posibilidad de recomendar el uso de los ácidos húmicos y fúlvicos para aumentar la eficiencia del herbicida y de esta manera reducir la dosis o cantidad de producto químico utilizado, con su consecuente análisis económico y de reducción de aporte de contaminantes.
- Evaluar diferentes productos comerciales certificados de ácidos húmicos y fúlvicos, considerando tanto sus efectos sobre las plantas, como la factibilidad técnica y económica para su aplicación, esto es su aceptación social, costos, disponibilidad en el mercado, riesgos a la salud y los ecosistemas.

## 9. LITERATURA CONSULTADA

Ashton, F. M. y A. S. Crafts, 1981. Mode of action of herbicides. USA, A Wiley-Interscience Publication 2a. ed., 525 p

Barret, S. C.H. 1989; Water weed invasions, Sci. Amer., Oct., 90-97.

Biondi, F.A.; Figliolia, A.; Indiaty, R.; Izza, C. 1994. Effects of fertilization with humic acids on soil and plant metabolism: a multidisciplinary approach. Note III: Phosphorus dynamics and behaviour of some plant enzymatic activities. En: Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health. Elsevier Science B.V. USA. Pág. 239-244.

Bowmer, K.H., D.M.P. Boulton., D.L. Short y L.M. Higgins. 1986. Glyphosate-Sediment Interactions and Phytotoxicity in Turbid Water. Pestic. Sci. 17, 79-88.

Brecke, B.J., and W.B. Duke. 1980. Effect of glyphosate on intact bean plants. Plant Physiol. 66:656-659.

Bronstad, O. J. y H. O. Friestad. 1983. Behaviour of glyphosate in the aquatic environment, In: E. Grossard, D. Atkinson (eds), The Herbicide Glyphosate, Butterworths. London, UK. 200.205.

Brun, G.; Sayag, D.R. and L. Andre. 1994. The potentiometric and conductimetric characterization of the complexing power of humic substances. En: Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health. Elsevier Science B.V. USA. Pág. 193-198.

Charudattan, R., 1997. Experience on Water Hyacinth Control in USA. En: Memorias de la Reunión Regional sobre Control Integrado del Lirio Acuático. IMTA/FAO Nov. Pág. 47-51.

Chen, Y.; Magen, H. and Riov J. 1994. Humic substances originating from rapidly decomposing organic matter: properties and effects on plant growth. En: Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health. Elsevier Science B.V. USA. Pág. 427-441.

Caseley, J.C. and D. Coupland. 1985. Environmental and plant factors affecting glyphosate uptake, movement and activity. Chap. 7. The herbicide Glyphosate. Butterworths & Co. Ltd. London.

CICOPLAFEST, 2000. <http://www.sagar.gob.mx/users/cicoplafest/frame.html>

Cobb, A. 1992. *Herbicides and Plant Physiology*. Ed. Chapman & Hall. Printed in Great Britain by T.J. Press (Padstow) Ltd, Padstow, Cornwall. ISBN 0 412 438607. Pág. 171.

Cock, M.J.W. 1994. Biological weed control. En: *Weed management for developing countries*. FAO, Roma, Italia. Eds. Labrada, R.J.C. Caseley y C.Parker. pags. 171-176.

Comisión Nacional del Agua, 1992. *Inventario Nacional de Malezas Acuáticas*. Gerencia de Calidad del Agua. Subgerencia de Evaluación, Seguimiento e Impacto Ambiental. Informe Interno.

Cox, Caroline, 1995. "Northwest Coalition for Alternatives to Pesticides, Eugene, OR./Glyphosate, Part 1: Toxicology. *Journal of Pesticide Reform*. Volume 15, Number 3 Fall 1995" [<http://www.enviroweb.org/hecweb/archive/glyphos1.htm>]. abril de 1999.

Dekker J. 1999. <http://www.public.iastate.edu/~jdekker/homepage.html> y <http://www.agron.iastate.edu/~weeds/ag317/manage/herbicide/glyphosate.html>

DellaCioppa, G., S.C. Bauer, B.K. Klein, D.M. Shah, R.T. Fraley, and G. Kishore. 1986. Translocation of the precursor of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase into chloroplasts of higher plants in vitro. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. Vol.83. 6873-6877.

Dell'Amico, C.; Manciaro, G.; Ganni, A.; Ceccanti, B.; García, C.; Hernández, T. and F. Costa, 1994. Effects of Specific Humic Fractions on Plant Growth. En *Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health*. Elsevier Science B.V. USA. Pág. 563-566.

FAO, 1997. *Memoria de Reunión Regional sobre Control Integrado del Lirio Acuático*. División de Producción y Protección Vegetal. IMTA. México.

Feg, J.C.; Thompson D.G. y P.E. Reynolds. 1990. Fate of Glyphosate in a Canadian Forest Watershed. *Aquatic Residues and Off-Target Deposit Assessment*. *Journal Agric. Food and Chemistry*. 38(4): 1110-1118.

Franz, J.E., M.K. Mao and J.A. Sikorski. 1997. *Glyphosate: A Unique Global Herbicide*. American Chemical Society. Chap. 4 pp. 65-97.

- Gallager, J.E. 1989. Water hyacinth control whit Amitrol-T. Hyacinth Control J., 1: 17-18.
- García, Enriqueta. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 4ª Ed. México.
- Ghassemi, M., L. Fargo, P. Painter, S. Quinlivan, R. Scofield, and A. Takata. 1981. Environmental fates and impacts of major forest use pesticides. p. A-149-168. U.S. EPA.
- Gómez, B. J. G., 1993. Control Químico de la Maleza. México: Trillas, 243p.
- Gopal, B. 1987. Water Hyacinth Aquatic Plant, Studies 1, Elsevier Science. Amsterdam, The Netherlands. 471p.
- Gottrup, O., P.A. O'Sullivan, R.J. Schaa, and W. H. Vander Born. 1976. Uptake, translocation, metabolism, and selectivity of glyphosate in Canada Thistle and Leafy Spurge. Weed Rresearch. 16:197-201.
- Gutiérrez, L.E., 1989. Técnicas de evaluación del lirio acuático: densidad, cobertura y crecimiento. En: Control y Aprovechamiento del lirio acuático en México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Serie de Divulgación, No. 17, 79-100.
- Gutiérrez, L.E. 1993. Effect of Glyphosate on Different Densities of Water Hyacinth. J. Aquatic Plant Management 31:255-257.
- Gutiérrez, L.E.; Uribe G.E. y E.F. Ruiz 1994. Control de malezas acuáticas. Control de lirio acuático. IMTA-CNA México 105 p.
- Gutiérrez, L.E., 1995. Experiencias sobre el control del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en México. Tesis Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM. México, 178p
- Gutiérrez, E.; Arreguín, F.; Huerto, R. y Saldaña, P. 1994. Aquatic Weed Control. Water Resources Development, Vol.10, No. 3.
- Gutiérrez, E.; Rangel, R.; Arreguín, F.; Huerto, R.; Uribe, E.; Ruiz, E.; Malpica, F.; Mata, O.; Tamariz, L.; Martínez, M. 1998. Resultados del Control del lirio acuático en México (1993-1998). En Memorias XV Congreso Nacional de Hidráulica, Oaxaca México. Vol. 3 Octubre. Pág. 289-295.

Gutiérrez, L.E.; Saldaña F.P. y R.D. Huerto 1994. Informe final de proyecto: Programa de Control de Malezas Acuáticas (Procma). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Informe interno). México.114p.

Haider, K., 1994. Advances in the Research of the Biochemistry of humic substances. Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human health. Edited by N. Senesi and T. M. Miano. Elsevier Science. 91-107 pp.

Harley, K. L. S., 1995. Weed management for developing countries. FAO Plan Production and Protection Paper 123-134p.

Hartzler Bob, 1998. <http://www.weeds.iastate.edu/reference/siteofaction.htm>

Hayes, M.H.B.; MacCarthy, P.; Malcolm R.L. and R:S. Swift, 1989. The Search for Structure. Chapter 1. Humic Substances II. A Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons . USA 4-30 pp.

Huang, P.M. and M. Schnitzer, 1986. Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes Soil Science Society of America. USA .

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), 1993. Programa de Control de Malezas Acuáticas (PROCMA). Coordinación de Tecnología Urbano Industrial, Subcoordinación de Calidad del Agua. Informe Interno.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), 1993. Resumen y conclusiones Control de malezas acuáticas método mecánico, Coordinación de Certificación de materiales. Jiutepec. Morelos 25p.

James A. R. and D.A. Weil, 1994. Absolute molecular-weight distribution of fulvic acid. En Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health Edit by N. Senesi and T. M. Miano. Elsevier Sciencie. USA. Pág. 355-359.

Kirkwood, R.C. 1979. Advence in Pesticide Science. Geissbuhler, H. Ed. Pergamon Press. Oxford. pp 420-429

Klingman, G. C.; Aston, F. M. y J. L. Noordhoff. 1975. Weed Science: Principles and practice, John Wiley and Soons, New York. 425 p.

Kollman, W., and R. Segawa. 1995. Interim report of the pesticide chemistry database. Environmental hazards Assessment Program. Department of Pesticide.

- Labrada R. 1997. Consideraciones sobre el Control del lirio acuático. En: Memorias de la Reunión Regional sobre Control Integrado del Lirio Acuático. IMTA/FAO Nov. Pág. 53-59
- Laerke, P.E., 1995 Foliar Absorption of Some Glyphosate Formulation and their Efficacy on Plants. Pesticide Science. Vol. 44. pp. 107-106.
- Langeland, A. K. 1991. Training Manual for Aquatic Herbicide applicators in the Southeastern United States, University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences Center for Aquatic Plants. Gainesville, Florida. EU. 107 P.
- Linders, J.B.H.J., J.W. Jansma, BJWG, Mensink, y K. Otermann. 1994. Pesticides: benefation or Pandora's box. A synopsis of the environmental aspect of 243 pesticides. Research for Man and Environment. National Institute of Public Health and Environment. Bilthoven, the Netherlands. Report # 67101014.
- Lehninger, L.A. 1981. Bioquímica. Edit. Omega. España. 2ª.edición. 1117 pp
- MacCarthy, P.; Clapp, C.E.; Malcom, R.L. y P.R. Bloom, 1990. Humic Substances in Soil and Crop Sciencies. Chapter 1. American Society of Agronomy. USA. 2-12 p.
- Malik, j., G. Barry y G. Kishore, 1989. Miniireview the herbicide gyphosate. Biofactors 2(1): 17-25.
- Mitchell, D.S. 1978. Aquatics Weeds in Australian Inland Waters, Dept. Environment and Comunity Development, Australian Guverment Publishing Service, Camberra, Australia. 189 p.
- Monsanto, 1998. <http://www.cdms.net/ldat/mp07B002.pdf> y <http://www.monsanto.com>
- Monsanto, 1999 <http://www.cdms.net/ldat/ld07B001.pdf> y  
<http://www.monsanto.com/ag/-asp/monsanto.asp>
- Montgomery, D.C. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos. Edit. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 589 pp. Tra. Design and analysis of experiments.
- NAS, 1990. Plantas Nocivas y Cómo Combatirlas. En serie Control de Plagas de Plantas y Animales. Volumen 2. National Academy of Sciences. Ed. Limusa. México. 574pp.

Niño, S. M. y A Lot 1983. Estudio demográfico del lirio acuático *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms. Dinámica de crecimiento en dos localidades selectas de México, Boletín de la Sociedad Botánica de México. 45: 71-83.

Olvera, V.V. 1989. Biología y ecología del lirio acuático *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms. En control y aprovechamiento del lirio acuático en México. IMTA, serie divulgación 17:9-42 p.

Parija P. 1934. Anote on the reappearance of waterhyacinth, seedlings in cleared tanks. Indian Journal of Science. 4:1049.

Penfound W.T. y T.T. Earle. 1948. The biology of the waterhyacinth, Ecological Monographs. 18: 447-472.

Pieterse, A. H. 1978. The water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) a review. Trop. Agric., 4(2): 9-42.

Rangel, M. R. 1995. Diagnóstico de malezas acuáticas y su control en México. Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Autónoma de México, 101 p.

Rangel, M. R. 1997. Programa de Control de Malezas Acuáticas. En: Memorias de la Reunión Regional sobre Control Integrado del Lirio Acuático. IMTA/FAO Nov. Pág. 29-35

Rausa, R.; Girardi, E.; V. Calemma, 1994. Humic acids foam coal. Production, Characterization and Utilization. En: Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health Edit by N. Senesi and T. M. Miano. Elsevier Science. USA. Pág. 1225-1243.

Riemer, N.D. 1984. Introduction to freshwater vegetation. The VI Publishing Company. INC., Wesport, Connecticutt. 207 Pág.

Rodríguez, N.F.; Ramírez, S.F. y R.F. Sustaita. 1994. Materia Orgánica. Efecto en el Suelo e Influencia Directa en la Planta. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. México, 52p.

Sánchez, S.O. 1980. La Flora del Valle de México. Herrero. México. 519p.

SEPESCA, INE, 1995. Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1993-1994.

Schuette J. 1998. Environmental fate of glyphosate. Environmental Monitorin & Pest Management Department of Pesticide Regulation Sacramento, CA 95824-5624.

Schulten, H. R. 1994. A chemical structure for Humic Acid. Pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry and pyrolysis-soft ionization mass spectrometry evidence. En: Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health Edit by N. Senesi and T. M. Miano. Elsevier Sciencie. USA. Pág. 43-54.

Sisneros D. 1991. Herbicide Analysis: Lower Colorado River Saltcedar Vegetation management Study, R-91-06. US Departament of the Interior Bureau of Reclamation Denver Office. Research and laboratory Services División Applied Sciences Branchs. 167 p.

Sprankle,P. Meggitti, W.F. y D. Ponner. 1975.Asortion, action and translocation of glyphosate. Weed Science. 23(3):235-240.

Stevenson F. J. 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. Edit. Jhon Wiley & Sons, Inc. 2nd ed. U.S.A. Pag. 496.

Thayer D. Aand V. Ramey. 1986. Mechanical hervesting of aquatic weeds Florida Departament of Natural Resources Technical, Publication Tallahassee, Florida E.U.

Torres, M. G. 1997. Norma Oficial Mexicana para el Control Biológico de Malezas. En: Memorias de la Reunión Regional sobre Control Integrado del Lirio Acuático. IMTA/FAO Nov. Pág. 43-45

U.S. EPA. 1986. Guidance for the reregistration of pesticide products containing glyphosate. Washington, D.C.: Office of Pesticide Programs.

U.S. EPA. 1990. Pesticide Fact Handbook. vol. 2. p. 301-312. Noyes Data Corporation. Park Ridge, New Jersey.

U.S.D.A. Forest Service 1984. Pesticide background statements. p. G1-G72. In Agriculture Handbook No. 633. Vol. 1. Herbicides. Part 2.

Vandiver, V.V. Jr.; Center D.T.; Dray A.F.; Bagnall O.L.; Sutton L.D.; Neitzke, J.C. y R.E. Eplee. 1993-94. Florida Aquatic Weed Control Guide, Florida Cooperative Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida John T. Woeste. Dean. U.S.A. 112 p.

Wigfield, Y.Y., F. Deneault y J. Fillion. 1994. Residues of Glyphosate and its Principle metabolite in Certain Cereals, Oilseeds, and Pulses Grown in Canada, 1990-1992. Bull. Environ. Contam.,. Toxicol. 53:543-547.

Weed Science Society of America. 1989. Herbicide Handbook 6a. ed. Champaign, Illinois, USA.

Wyrill, J.B. and O.C. Burnside. 1976. Adsorption, translocation, and metabolism of 2, 4-D and glyphosate in Common Milkweed and Hemp Dogbane. Weed Science. 23:557-566.