

## Evaluación de *Spirogyra spp.* como potencial bioindicador de plaguicidas organofosforados

### Evaluation of *Spirogyra spp.* as a potential bioindicator of organophosphorus pesticides

Juan C. González-García<sup>1</sup>, Ana R. Pacurucu-Reyes<sup>2</sup>, Noemí Silva-Quiguiri<sup>3</sup>

#### Resumen

Se estudió la tolerancia de *Spirogyra spp.* a diferentes concentraciones de los plaguicidas organofosforados curacrón, malathión y acefato durante 72 horas de exposición. Tras la evaluación cualitativa, se observaron cambios en el color y en la cohesión de la biomasa relacionados directamente al tiempo de exposición y a las concentraciones experimentales. El análisis de bioacumulación evidenció que *Spirogyra spp.* bioacumuló 3848,19 mg/Kg del plaguicida curacrón y 0,0444 mg/Kg del plaguicida malathión en su biomasa.

Los resultados señalaron que el alga demuestra sensibilidad ante la presencia de plaguicidas organofosforados relacionada con una capacidad bioindicadora, además de un potencial bioacumulador, propiedades útiles como una alternativa económica y eficaz para el control y tratamiento de aguas contaminadas con estas sustancias.

**Palabras clave:** *Spirogyra spp.*, plaguicidas organofosforados, curacrón, malathión, acefato, bioindicador, bioacumulación.

#### Abstract

The tolerance of *Spirogyra spp.* was studied to different concentrations of the organophosphorus pesticides curacrón, malathión and acefato during 72 hours of exhibition. After the qualitative evaluation, many changes were observed in the color and in the cohesion of the biomass related directly to the time of exhibition and to the experimental concentrations. The analysis of bioaccumulation demonstrated that *Spirogyra spp.* bioaccumulate 3848,19 mg/Kg of the pesticide curacrón and 0,0444 mg/Kg of the pesticide malathión in its biomass.

The results indicated that the alga demonstrates sensibility to the presence of organophosphorus pesticides related to a capacity bioindicadora, besides a potential bioacumulador, useful properties as an economic and effective alternative for the control and treatment of waters contaminated with these substances.

**Keywords:** *Spirogyra spp.*, organophosphorus pesticides, curacrón, malathión, acefato, bioindicator, bioaccumulation.

---

1 Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba – Ecuador. Email [jc\\_jcgg@yahoo.es](mailto:jc_jcgg@yahoo.es)

2 Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba – Ecuador. Email. , [rafaela.pacurucu@gmail.com](mailto:rafaela.pacurucu@gmail.com)

3 Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba – Ecuador. Email. [noemisilva05@hotmail.com](mailto:noemisilva05@hotmail.com)

## Introducción

Los plaguicidas organofosforados se han convertido en una de las opciones más eficaces para el control de plagas por su eficacia, posicionándose como el grupo más adquirido en el mercado. La contaminación del agua, así como la resistencia que adquieren las plagas por el uso masivo de estos plaguicidas, son cada vez problemas más serios ya que alteran la diversidad natural de las regiones en las que se aplican [1].

Los bioindicadores son una alternativa eficaz y más económica, en comparación a los análisis químicos, para el control de la contaminación ambiental. Las algas son consideradas bioindicadores de la calidad de aguas por su sensibilidad a contaminantes como detergentes, metales pesados y herbicidas, y por su facilidad para ser cultivadas [2].

Las especies del género *Spirogyra* se han utilizado en estudios de biosorción de metales pesados como Cr III [3], así como en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con los metales pesados Pb II y Cu II junto a *Cladophora* [4], demostrando capacidad de detección a bajo coste. Se evidencia también la eficacia de *Spirogyra* en la degradación del colorante sintético Reactive Yellow 22 en el tratamiento biológico de efluentes [5].

Estos antecedentes han sido tomados como base para plantear el supuesto de su capacidad de captación de otros compuestos químicos como los plaguicidas organofosforados en función de cambios fisiológicos en las estructuras celulares, al igual que sucede en algunas microalgas.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

La Comunidad de San Antonio se encuentra ubicada en la parroquia rural San Luis perteneciente al cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo – Ecuador, zona agrícola del centro del país. En esta zona se observa el crecimiento de algas dentro de cuerpos acuáticos alimentados a partir de los efluentes generados por el riego de los cultivos.

El muestreo de tipo simple se realizó empleando la técnica de recolección y conservación de algas de agua dulce planteada por Carmen Vergara del Herbario de la Universidad de Panamá [6]. La identificación de la especie se basó en la guía de campo para la identificación de algas, agricultura y agroalimentación de Canadá, propuesta por Nancy Serediak y Mai-Linh Huynh [7].

Los tres plaguicidas utilizados en el estudio fueron seleccionados en base al resultado de encuestas aplicadas a los agricultores del sector.

### Ensayo de experimentación

La experimentación se desarrolló dentro de 27 reactores de 10 litros con 6,3 g de biomasa algal cada uno.

La dosificación de nitrógeno, fósforo y potasio se realizó por adición directa de 10 g de abono en cada reactor al inicio del ensayo. Fueron consideradas condiciones ambientales similares a las de la zona de recolección de las muestras: fuente lumínica, temperatura promedio de 17,7 °C, pH promedio de 8,21. Se establecieron 3 muestras control para el desarrollo de la experimentación.

Tras 21 días de cultivo se realizó la aplicación de los tratamientos a las respectivas muestras, considerando la dosis recomendada, una dosis más baja y una dosis más alta del plaguicida, con tres repeticiones en cada caso como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones de los plaguicidas adicionados a los cultivos

Plaguicida	Cultivo			Concentración (g/L)
	A1a	A1b	A1c	
Acefato	A1a	A1b	A1c	0,5
	A2a	A2b	A2c	1,0
	A3a	A3b	A3c	1,5
Malathión	B1a	B1b	B1c	1,5
	B2a	B2b	B2c	2,5
	B3a	B3b	B3c	3,5
Curacrón	C1a	C1b	C1c	0,29
	C2a	C2b	C2c	0,58
	C3a	C3b	C3c	0,87

Fuente: Noemí Silva, 2016

Las variables control: pH, temperatura, conductividad y sólidos totales, fueron monitoreadas en tres intervalos: 24 horas antes, durante la aplicación y tras las 72 horas de exposición. Los cambios en la biomasa de *Spirogyra* a nivel estructural fueron analizados mediante microscopía óptica con un aumento de 40X.

Las muestras finales del proceso de experimentación se enviaron a un laboratorio certificado para el análisis de bioacumulación de los plaguicidas.

### Análisis estadístico

Los datos cualitativos de las observaciones fueron transformados a una escala numérica que tomó como base a las muestras control, siendo 5 el valor óptimo (Tabla 2). Mediante el software SPSS se realizó los análisis de varianza Anova y el Test de Tukey, los mismos que determinaron la incidencia de productos y dosis de plaguicidas sobre la biomasa de *Spirogyra*. Se registraron datos durante el tiempo de exposición a los plaguicidas, en tres intervalos: día, tarde y noche.

Tabla 2. Escala colorimétrica.

Color	Valoración Numérica
Verde	5
Verde amarillento	4
Marrón claro	3
Marrón oscuro	2
Blanco	1

Fuente: Noemi Silva, 2016

### Resultados

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación de acefato no fueron considerados en el análisis de bioacumulación al no encontrarse cambios morfológicos significativos en comparación a las otras muestras.

### Control de Variables

Las variables control: pH, temperatura, conductividad y sólidos totales, fueron monitoreadas en tres intervalos: 24 horas antes, durante la aplicación y tras las 72 horas de exposición.

Se observó un considerable incremento de temperatura al término del tratamiento con el plaguicida curacrón (Tabla 3).

Tabla 3. Control de la temperatura durante el ensayo

Plaguicida	Temperatura media (°C)		
	24 h antes de la aplicación	Al momento de la aplicación	72 h después de la aplicación
Acefato	18,3	17,0	17,9
Malathión	18,0	16,5	18,0
Curacrón	17,9	17,1	18,5

Fuente: Noemi Silva, 2016

La mayor alcalinidad alcanzada se evidenció con el plaguicida acefato 24 horas antes de la dosificación; durante el tratamiento, los cultivos expuestos a los tres plaguicidas presentan valores cercanos a la neutralidad (Tabla 4).

Tabla 4. Control del pH durante el ensayo

Plaguicida	pH medio		
	24h antes de la aplicación	Al momento de la aplicación	72h después de la aplicación
Acefato	9,2	7,8	7,8
Malathión	8,6	7,8	7,7
Curacrón	9,0	7,7	8,1

Fuente: Noemi Silva, 2016

Los valores más altos de la conductividad se registraron en las muestras expuestas a acefato (Tabla 5), al igual que en el caso de los sólidos totales (Tabla 6).

Tabla 5. Control de la conductividad durante el ensayo

Plaguicida	Conductividad media (mS/cm)		
	24h antes de la aplicación	Al momento de la aplicación	72h después de la aplicación
Acefato	0,5	1,9	2,2
Malathión	0,5	1,6	2,0
Curacrón	0,5	1,8	1,9

Fuente: Noemi Silva, 2016

Tabla 6. Control de sólidos totales durante el ensayo

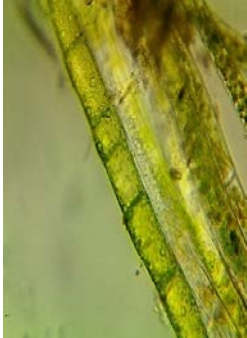
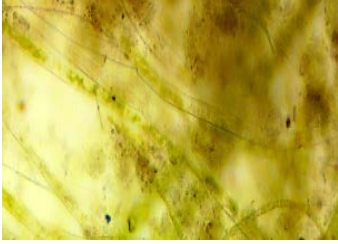
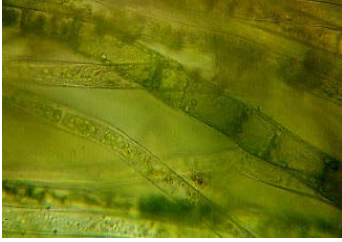
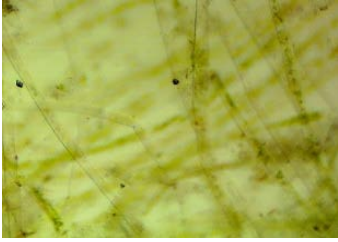

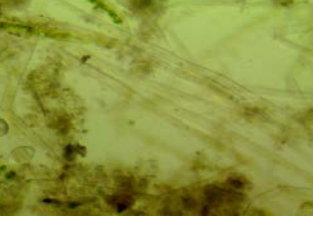
Plaguicida	Sólidos totales medios (g/L)		
	24h antes de la aplicación	Al momento de la aplicación	72h después de la aplicación
Acefato	0,27	1,0	1,2
Malathión	0,27	0,9	1,0
Curacrón	0,27	1,0	1,1

Fuente: Noemi Silva, 2016

### Observación Microscópica


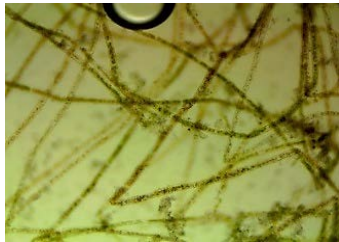

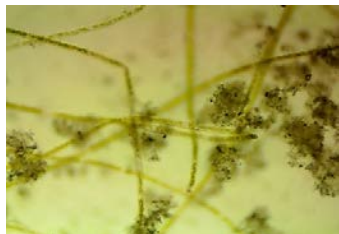

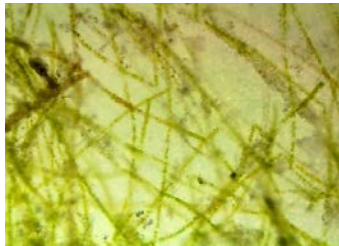
Además de la visualización directa de los cambios físicos en las muestras, se realizaron observaciones microscópicas. Las tablas 7,8 y, 9 reúnen la evidencia fotográfica de los principales cambios estructurales mostrados por *Spirogyra* tras la adición de los plaguicidas, lo cual contrasta a la morfología de la muestra control (Tabla 10).

Tabla 7. Fotografías comparativas de las muestras algales expuestas a diferentes dosificaciones de acefato

ACEFATO (40X)		
Concentración (g/L)	Antes	Después
0,5		
1,0		
1,5		

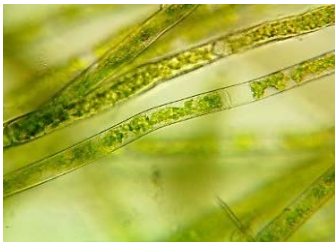
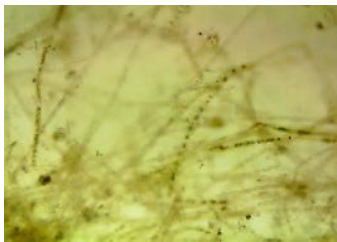

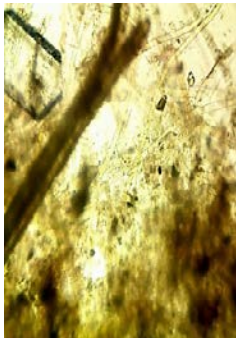


Fuente: Noemi Silva, 2016

Tabla 8. Fotografías comparativas de las muestras algales expuestas a diferentes dosificaciones malathión.

MALATHIÓN		
(40X)		
Concentración (g/L)	Antes	Después
0,5		
1,0		
1,5		

Fuente: Noemi Silva, 2016

Tabla 9. Fotografías comparativas de las muestras algales expuestas a diferentes dosificaciones curacrón.

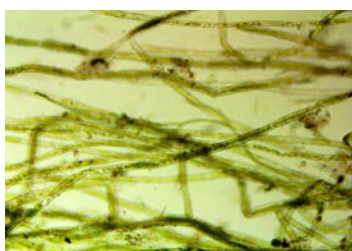
CURACRÓN		
(40X)		
Concentración (g/L)	Antes	Después
0,5		
1,0		
1,5		

Fuente: Noemi Silva, 2016

Tabla 10. Fotografía de una muestra algal control.

MUESTRA CONTROL

(40X)



Fuente: Noemi Silva, 2016

Se observaron importantes variaciones a partir de las 48 horas de exposición; los mayores cambios a nivel de la estructura celular se observaron bajo la aplicación del plaguicida curacrón a la más alta concentración, siendo notorias las alteraciones en los procesos de captación de nutrientes, un crecimiento limitado, desintegración de los filamentos y degradación de pigmentos fotosintéticos

### **Análisis de Bioacumulación**

Las muestras enviadas a análisis fueron la biomasa expuesta a la concentración recomendada y concentración más alta de cada plaguicida.

Los resultados de los análisis de bioacumulación determinan que *Spirogyra spp.* bioacumuló 3845,53 mg/Kg del plaguicida curacrón a la concentración recomendada y 2,66 mg/Kg a una alta concentración. Para el plaguicida malathión a la concentración recomendada se bioacumuló <0,0004 mg/Kg y 0,0444 mg/Kg a una alta concentración.

### **Discusión**

Finalizado el estudio, la muestras de *Spirogyra* presentaron degradaciones del color debido a que estos plaguicidas actúan sobre la fase luminosa de la fotosíntesis, desviando a los electrones de las cadenas de transporte en el cloroplasto, y dando paso a la formación de radicales de oxígeno muy reactivos que destruyen la clorofila y las membranas celulares.

Los resultados del análisis de varianza, Anova, determinaron un p- valor de <0,0001,

demostrándose que existe una relación significativa respecto a la dosis, siendo en todos los cultivos la concentración más alta, la que presenta mayor incidencia sobre la biomasa de *Spirogyra*. Los resultados obtenidos del test de Tukey confirman las observaciones realizadas al determinar que la dosis más alta de curacrón produce las mayores alteraciones en la biomasa de *Spirogyra*.

En base a los valores de los análisis de bioacumulación, el estudio determina que *Spirogyra spp.* presenta mayor capacidad de acumulación del organofosforado curacrón, derivación que puede justificarse por las condiciones favorables que ejerce la alcalinidad sobre la hidrólisis de este plaguicida.

### **Conclusiones**

La evaluación de la sensibilidad de *Spirogyra spp.* sugiere su capacidad como bioindicador de la presencia de los plaguicidas organofosforados empleados en la experimentación. La respuesta del alga frente a las condiciones de estrés propiciadas por la adición de los plaguicidas estuvo relacionada con la interrupción de los procesos de captación de nutrientes evidenciándose un crecimiento limitado e alteraciones celulares fácilmente observables.

La potencial capacidad bioacumuladora de *Spirogyra spp.* y las facilidades para su cultivo, la convertirían en un organismo útil en procesos de biorremediación de aguas contaminadas por plaguicidas organofosforados a bajos costos.



## Referencias Bibliográficas

1. Orta L, Contaminación de las aguas por Plaguicidas Químicos [Internet]. Fitosanidad. Cuba; 2002. [Citado el 25 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2091/209118292006.pdf>
2. González C, Vallarino A, Pérez J, Low A. [Internet]. Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental. México 2014. [Citado el 19 de agosto de 2016]. Disponible en: [http://www.academia.edu/15617373/BIOINDICADORES\\_Guardianes\\_de\\_nuestro\\_futuro\\_ambiental](http://www.academia.edu/15617373/BIOINDICADORES_Guardianes_de_nuestro_futuro_ambiental)
3. Narsi R, Rajender K, Sunil K, Suman R. Biosorption of Cr (III) from aqueous solution using algal biomass *Spirogyra* spp. ELSEVIER. Junio 2007. 145: 142-147
4. Yi- Chao L, Shui-Ping Ch. [Internet]. The biosorption of heavy metals from aqueous solution by *Spirogyra* and *Cladophora* filamentous macroalgae. ELSEVIER. Mayo 2011. 102: 5297-5304. [Citado el 15 de julio de 2016]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410020936>
5. Venkata M, Chandrasekhar R, Krishna P, Karthikeyan J. [Internet]. Treatment of simulated Reactive Yellow 22 (Azo) dye effluents using *Spirogyra* species. ELSEVIER. 2002. 22: 575-582. [Citado el 16 de julio de 2016]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X02000302>
6. Vergara C. Descripción de métodos de recolección y conservación de Algas. Herbario de la Universidad de Panamá. s.f. [Citado el 10 de agosto de 2016]. Disponible en: [www.inbio.ac.cr/web\\_herbarios/web/pdf/protocolo-macroalgas.pdf](http://www.inbio.ac.cr/web_herbarios/web/pdf/protocolo-macroalgas.pdf)
7. Sederiak N, Huynh M. Algae Identification Field Guide. Canadá. 2006.
8. Quinto, J. [Internet]. Plaguicidas Organofosforados: Aspectos generales y toxicocinética. España. 1999. [Citado el 25 de junio de 2016]. Disponible en: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp\\_512.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_512.pdf)
9. Vázquez G, Castro G, González I, Pérez R, Castro T. [Internet]. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. ContacoS. 2006 60(1): 41-48. [Citado el 25 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n60ne/Bio-agua.pdf>
10. Peña E, Palacios M, Ospina N. Algas como indicadoras de contaminación. Colombia. 2006.
11. Benítez, R. Plaguicidas y efectos sobre la salud humana: Un estado del arte. [Internet]. 2012. [Citado el 15 marzo 2016]. Disponible en: <http://www.serpajpy.org.py/wp-content/uploads/2014/03/Plaguicidas-y-efectos-sobre-la-salud-humana1.pdf>
12. Mariño, D. Determinación de residuos de plaguicidas organofosforados en el cultivo de mora (*Rubus Glaucus*) en dos cantones de la Provincia de Tungurahua Sangolquí-Ecuador. [Tesis]. Escuela Politécnica del Ejército "GRAD. CARLOMAGNO ANDRADE PAREDES". Facultad de Ingeniería de Ciencias Agropecuarias; 2005.

### Correspondencia

**Autor.** Juan Carlos Gonzales García

**Teléfono.** (593) 996644511

**Email.** [jc\\_jcgg@yahoo.es](mailto:jc_jcgg@yahoo.es)