



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Campus

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD VICTORIA

Programa

**DOCTORADO EN CIENCIAS EN BIOLOGÍA**

Tesis

**DISTRIBUCIÓN DE PLAGUICIDAS NO  
ORGANOCOLORADOS EN EL ECOSISTEMA  
ACUÁTICO DE LA PRESA “VICENTE GUERRERO”**

Que presenta

**NAZDRY IVETTE BRIONES ESCOBEDO**

Para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS EN BIOLOGÍA**

Director

**DR. JOSÉ ANTONIO RANGEL LUCIO**

Co-Director

**DR. FLAVIANO BENAVIDES GONZÁLEZ**

Ciudad Victoria, Tamaulipas

Diciembre 2022



Instituto Tecnológico de Cd. Victoria  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Ciudad Victoria, Tam. 28/Noviembre/2022

**ASUNTO:** Carta de Autorización

**DR. AUSENCIO AZUARA DOMÍNGUEZ**

**Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Presente**

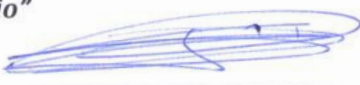
**Atención: DR. Edgar Pérez Arriaga  
Coordinador Doctorado en Ciencias en Biología**

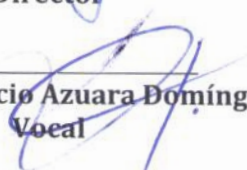
Los numerales 2.15.4 y 2.15.5 de los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el TecNM (2018), establecen los requisitos para la obtención del examen de grado de Doctorado en Ciencias. En tal sentido, el H. Comité Tutorial del C. **Nazdry Ivette Briones Escobedo**, estudiante del programa de Doctorado en Ciencias en Biología, con No. de control **G-17380868**, después de haber realizado la revisión del contenido y formato de la tesis: **"DISTRIBUCION DE PLAGUICIDAS NO ORGANOCORADOS EN EL ECOSISTEMA ACUATICO DE LA PRESA VICENTE GUERRERO"**, tiene a bien emitir su **APROBACIÓN** a fin de continuar el proceso de obtención del grado académico correspondiente.

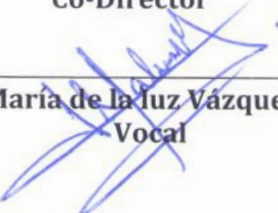
Por ese motivo se le pide a Usted, autorizar al C. Nazdry Ivette Briones Escobedo, la impresión y reproducción electrónica de la tesis *in comento*.

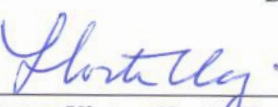
**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica*  
*"Verdad, Honestidad y Servicio"*

  
**Dr. José Antonio Rangel Lucio**  
Director

  
**Dr. Flaviano Benavides González**  
Co-Director

  
**Dr. Ausencio Azuara Domínguez**  
Vocal

  
**Dra. María de la Luz Vázquez Saucedo**  
Vocal

  
**Dr. Jorge Victor Horta Vega**  
Vocal

ccp - Nazdry Ivette Briones Escobedo  
ccp - Archivo, DEPI ITC Victoria



Blvd. Emilio Portes Gil No. 1301, Cd. Victoria, Tamaulipas Tel. 01 (834) 153-2000, Ext. 180  
e-mail: dir\_cd victoria@tecnm.mx tecnm.mx | cdvictoria.tecnm.mx



**2022 Flores**  
Año de  
Magón  
FUNDACIÓN DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Ciudad Victoria, Tam. 28/11/2022

**DEPENDENCIA:** DEPI  
**No. de oficio:** 200/2022

**ASUNTO:** Autorización de impresión de tesis

**C. Nazdry Ivette Briones Escobedo**  
**Estudiante de Doctorado en Ciencias en Biología**  
**No. de control: G-17380868**  
**Presente**

Conforme a los numerales 2.15.4 y 2.15.5 de los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el TecNM (ver. 2018) y por recomendación del H. Comité Tutorial, esta división le **AUTORIZA** imprimir y reproducir digitalmente la Tesis: **DISTRIBUCIÓN DE PLAGUICIDAS NO ORGANOCORADOS EN EL ECOSISTEMA ACUÁTICO DE LA PRESA "VICENTE GUERRERO"**, que tuvo a bien desarrollar en la División de Estudios de Posgrado e Investigación de este instituto.

Ruego a Usted dar puntual seguimiento al formato en vigor que, para tal caso, indica las características de diseño que deberá contener tan importante documento.

**ATENTAMENTE**  
**Excelencia en Educación Tecnológica**  
**"Verdad, Honestidad y Servicio"**  
  
**Dr. Ausencio Azuara Dominguez**  
**Jefe de la División de Estudios de Posgrado**  
**e Investigación**



ccp.- Dr. Edgar Pérez Arriaga. Coordinador del programa de Doctorado en Ciencias en Biología. ITC Victoria. Presente.  
ccp.- Expediente del estudiante. Presente.  
ccp.- Archivo DEPI. ITC Victoria.



Blvd. Emilio Portes Gil No. 1301, Cd. Victoria, Tamaulipas Tel. 01 (834) 153-2000, Ext. 180  
e-mail: [dir\\_cdvictoria@tecnm.mx](mailto:dir_cdvictoria@tecnm.mx) [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [cdvictoria.tecnm.mx](http://cdvictoria.tecnm.mx)



**2022 Flores**  
Año de Magón  
PRECIACIÓN DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS  
REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, la que suscribe, **C. Nazdry ivette Briones Escobedo** como estudiante del Doctorado en Ciencias en Biología de esta Institución, con No. de Control G-17380868, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas o académicas, de procedencia nacional o internacional, que deriven del trabajo de investigación que realicé. Por tal motivo **OTORGO LOS DERECHOS DE AUTORÍA DE MI TESIS "DISTRIBUCIÓN DE PLAGUICIDAS NO ORGANOCLORADOS EN EL ECOSISTEMA ACUÁTICO DE LA PRESA VICENTE GUERRERO"** y de **LOS PRODUCTOS DE DICHA INVESTIGACIÓN** al Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Las patentes y secretos industriales que deriven de la tesis serán registrados a nombre del Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria y las regalías económicas distribuidas equitativamente entre esta Institución, el Director de la Tesis y quien suscribe, de acuerdo con las negociaciones entre las tres partes. También, **ME COMPROMETO A NO REALIZAR NINGUNA ACCIÓN** que dañe el proceso de aprovechamiento comercial de dichos productos a favor de ésta misma Institución.

Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, a 28 de noviembre de 2022.

**C. Nazdry ivette Briones Escobedo**



INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE CD. VICTORIA  
DEPARTAMENTO DE  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN





## CERTIFICADO

### C. Nazdry Ivette Briones Escobedo

Estudiante de Doctorado en Ciencias en Biología  
Presente

Resulta grato informar a Usted, que después de haber realizado un contraste entre los trabajos publicados y su tesis desarrollada en este instituto que lleva por título: **DISTRIBUCIÓN DE PLAGUICIDAS NO ORGANOCORADOS EN EL ECOSISTEMA ACUÁTICO DE LA PRESA "VICENTE GUERRERO"** se encontró que su trabajo presenta una semejanza del 12 % con contenidos similares a otros textos, producto del análisis desarrollado en el portal [www.turnitin.com](http://www.turnitin.com). El límite máximo acordado por el Consejo de Posgrado es del 25%.

Por tal motivo, se le extiende el presente **CERTIFICADO DE NO PLAGIO** en Ciudad Victoria, Tamaulipas, a los veintiocho días del mes de noviembre del año dos mil veintidós.

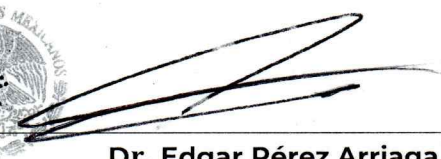
### ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica*  
*"Verdad, Honestidad y Servicio"*

  
**Dr. Ausencio Azuara Domínguez**

Jefe de la División de Estudios de  
Posgrado e Investigación



  
**Dr. Edgar Pérez Arriaga**

Coordinador Doctorado en Ciencias  
en Biología

INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE CD. VICTORIA  
DEPARTAMENTO DE  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C. c. p. División de Estudios de Posgrado e Investigación.  
C. c. p. Coordinación de Doctorado en Ciencias en Biología.



## **AGRADECIMIENTOS**

Al Instituto Nacional de México, *campus* Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria y al programa del Doctorado en Ciencias en Biología, por brindarme la oportunidad de continuar mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo recibido como becaria número 47649, durante los años 2017-2021.

A la Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, por la información generada a través del proyecto DSA/103.5/16/10526 "Análisis prospectivo de las condiciones sanitarias de la presa Vicente Guerrero (Las Adjuntas), de Tamaulipas, México".

A mi director de tesis, el Dr. José Antonio Rangel Lucio por el apoyo, confianza, respeto y solidaridad recibidas de forma incondicional durante mi formación doctoral. Así como, su invaluable amistad y mentoría que espero honrar en mi desempeño profesional futuro.

A mi Co-director, el Dr. Flaviano Benavides González por la generosidad de compartir su información y experiencia en el área de estudio, y por el acompañamiento brindado durante este proceso.

Al Dr. Ausencio Azuara Domínguez, por sus valiosas aportaciones durante el desarrollo de la investigación.

A la Dra. María de la Luz Vázquez Saucedo, por el apoyo con la elaboración de los análisis químicos de las muestras.

Al Dr. Jorge Víctor Horta Vega, por sus convenientes observaciones realizadas al documento final.

## **DEDICATORIAS**

A Dios Padre que, sin importar la oscuridad e incertidumbre de los caminos, me guía y me fortalece en su fe.

A mi familia por ser mi fortaleza y apoyo en todos mis proyectos, pero sobre todo por creer siempre en mí. Los amo.

## ÍNDICE

|                                                                                                                                                                                  | <b>Pág.</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b>                                                                                                                                                          | <i>v</i>    |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>                                                                                                                                                         | <i>vi</i>   |
| <b>RESUMEN GENERAL</b>                                                                                                                                                           | <i>vii</i>  |
| <b>ABSTRACT</b>                                                                                                                                                                  | <i>viii</i> |
| <b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b>                                                                                                                                                      | 1           |
| <b>Hipótesis</b>                                                                                                                                                                 | 3           |
| <b>Objetivo General</b>                                                                                                                                                          | 3           |
| <b>Objetivos Específicos</b>                                                                                                                                                     | 4           |
| <b>CAPÍTULO I. Distribución espacio-temporal de plaguicidas y clasificación de áreas de contaminación en un embalse al noreste de México: Análisis espacial y multivariante.</b> | 5           |
| <b>RESUMEN</b>                                                                                                                                                                   | 5           |
| <b>ABSTRACT</b>                                                                                                                                                                  | 6           |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                                                                                                                                              | 7           |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>                                                                                                                                                      | 10          |
| <b>Área de estudio</b>                                                                                                                                                           | 10          |
| <b>Muestreo</b>                                                                                                                                                                  | 10          |
| <b>Materiales, reactivos y soluciones</b>                                                                                                                                        | 11          |
| <b>Preparación de las muestras</b>                                                                                                                                               | 11          |
| <b>Cromatografía Líquida / Espectrometría en Tándem</b>                                                                                                                          | 12          |
| <b>Análisis exploratorio de datos</b>                                                                                                                                            | 14          |
| <b>Análisis espacio-temporal de plaguicidas</b>                                                                                                                                  | 15          |

|                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Clasificación de áreas por grado de contaminación                                                                                                                                              | 15 |
| <b>RESULTADOS</b>                                                                                                                                                                              | 18 |
| Distribución espacio-temporal de plaguicidas                                                                                                                                                   | 21 |
| Sedimento                                                                                                                                                                                      | 21 |
| Tejido muscular de lobina                                                                                                                                                                      | 24 |
| <b>DISCUSIÓN</b>                                                                                                                                                                               | 29 |
| Distribución espacio-temporal de plaguicidas en<br>sedimentos                                                                                                                                  | 33 |
| Distribución espacio-temporal de plaguicidas en tejido<br>de Lobina                                                                                                                            | 36 |
| <b>CONCLUSIONES</b>                                                                                                                                                                            | 39 |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                                                                                                                                                              | 48 |
| <b>ANEXOS</b>                                                                                                                                                                                  | 47 |
| <b>CAPÍTULO II. Relación entre parámetros morfométricos y la<br/>concentración de plaguicidas en tejido de <i>Micropterus</i> spp.<br/>(Lacepède 1802), en una presa al noreste de México.</b> | 52 |
| <b>RESUMEN</b>                                                                                                                                                                                 | 52 |
| <b>ABSTRACT</b>                                                                                                                                                                                | 53 |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                                                                                                                                                            | 54 |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>                                                                                                                                                                    | 58 |
| Área de Estudio                                                                                                                                                                                | 58 |
| Muestreo                                                                                                                                                                                       | 58 |
| Materiales, reactivos y soluciones                                                                                                                                                             | 59 |
| Preparación de muestras                                                                                                                                                                        | 59 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <b>Análisis HPLC-MS en Tándem</b>     | 60 |
| <b>Análisis exploratorio de datos</b> | 60 |
| <b>Análisis multivariado de datos</b> | 61 |
| <b>RESULTADOS</b>                     | 61 |
| <b>DISCUSIÓN</b>                      | 65 |
| <b>CONCLUSIONES</b>                   | 68 |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>     | 69 |
| <b>CONCLUSIONES GENERALES</b>         | 75 |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>     | 77 |
| <b>ANEXOS</b>                         | 78 |

## ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla No.: | Título                                                                                                                                                                 | Pág. |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>1</b>   | Descripción de los sitios de muestreo de sedimentos y músculo de lobina, presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México.                                                 | 14   |
| <b>2</b>   | Valores promedio ( $\mu\text{g/kg}$ ) $\pm$ desviación estándar mensual de los plaguicidas, determinados en sedimento por sitio de muestreo en la presa.               | 19   |
| <b>3</b>   | Valores promedio ( $\mu\text{g/kg}$ ) $\pm$ desviación estándar mensual de los plaguicidas, determinados en músculo de lobina por sitio de muestreo en la presa.       | 20   |
| <b>4</b>   | Porcentaje de recuperación, desviación estándar y límite de detección de plaguicidas por tipo de muestra.                                                              | 22   |
| <b>5</b>   | Matrices de significancia estadística ( $F/p$ ) para determinar las variaciones espaciales y temporales de plaguicidas en sedimento y músculo de lobina.               | 22   |
| <b>6</b>   | Clústeres por grado de contaminación y centroides, generados por el Análisis $K$ -medias para las muestras mensuales de sedimento.                                     | 25   |
| <b>7</b>   | Clústeres por grado de contaminación y centroides generados por el Análisis $K$ -medias para las muestras mensuales de músculo de lobina.                              | 30   |
| <b>8</b>   | Parámetros de importancia ecotoxicológica de los plaguicidas encontrados en la presa “Vicente Guerrero”.                                                               | 32   |
| <b>9</b>   | Valores promedio ( $\mu\text{g/kg}$ ) $\pm$ desviación estándar, porcentaje de recuperación y límite de detección de los plaguicidas determinados en tejido de lobina. | 62   |
| <b>10</b>  | Valores promedio espaciales y temporales de peso y longitud total de lobina $\pm$ desviación estándar y significancia estadística ( $H/P$ ).                           | 64   |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Figura No.:</b> | <b>Título</b>                                                                                                                                                                                         | <b>Pág.</b> |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>1</b>           | Área de estudio y sitios de muestreo de sedimentos y músculo de lobina. Presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México.                                                                                 | 13          |
| <b>2</b>           | Frecuencia de residuos de plaguicidas en sedimento y músculo de lobina en la presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México.                                                                            | 21          |
| <b>3</b>           | Funciones Discriminantes en sedimento. Análisis espacial y distribución de las variables más significativas.                                                                                          | 24          |
| <b>4</b>           | Clasificación de sitios por grado de contaminación de sedimento.                                                                                                                                      | 27          |
| <b>5</b>           | Funciones Discriminantes en tejido de lobina. Análisis espacial y distribución de las variables más significativas.                                                                                   | 28          |
| <b>6</b>           | Clasificación de sitios por grado de contaminación de tejido muscular de lobina.                                                                                                                      | 31          |
| <b>7</b>           | Gráfico de “ <i>loadings</i> ” obtenidos por Mínimos Cuadrados Parciales para las medidas morfométricas (LT: Longitud total; P: Peso) y la concentración de plaguicidas en tejido muscular de lobina. | 63          |
| <b>8</b>           | Coeficientes de regresión por Mínimos Cuadrados Parciales para longitud total, peso y concentración de plaguicidas en el tejido muscular de lobina.                                                   | 63          |

## RESUMEN GENERAL

El análisis de distribución de residuos de plaguicidas en muestras de sedimento y tejido de lobina (*Micropterus* spp.) de la presa Vicente Guerrero, identificó la presencia de 13 plaguicidas no organoclorados, cuya concentración media fue de 0.37 a 8.33  $\mu\text{g kg}^{-1}$  en sedimento y de 0.05 a 2.88  $\mu\text{g kg}^{-1}$  en lobina. Las técnicas de análisis espacial y multivariantes (Análisis de Funciones Discriminantes y K-medias) empleadas, estimaron variaciones espaciales significativas en la concentración de plaguicidas en sedimento [*Wilk's lambda* = 0.0097;  $F_{(52.26)} = 11.964$ ;  $p < 0.001$ ] — con mayor concentración y número de plaguicidas hacia el centro y Este del embalse—; y tejido muscular de lobina [*Wilks lambda* = 0.0039;  $F_{(52.26)} = 16.503$ ;  $p < 0.001$ ]. Las variaciones temporales en la concentración de plaguicidas fueron significativas en sedimento [*Wilks lambda* = 0.0331;  $F_{(65.32)} = 5.2837$ ;  $p < 0.001$ ] durante el período de estudio; mientras que las diferencias en tejido muscular de lobina, sólo lo fueron en diciembre y mayo [*Wilks lambda* = 0.2971;  $F_{(65.32)} = 1.4653$ ;  $p < 0.0174$ ].

Paralelamente, se determinó la relación existente entre las medidas morfométricas y la concentración de 28 plaguicidas no organoclorados, localizados en músculo de lobina. La concentración media de plaguicidas en el tejido muscular varió de 0.079 a 0.51  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , la longitud total media de la lobina fue  $314.4 \pm 50.83$  mm y el peso medio de  $405.7 \pm 245.71$  g. De acuerdo a la regresión por Mínimos Cuadrados Parciales, la longitud total y el peso de la lobina presentaron correlación positiva débil ( $R=0.273$ ), con respecto a la concentración total de plaguicidas en tejido

muscular; en cambio, 19 plaguicidas correlacionaron negativamente con la morfometría.

Dado que amitraz, etión, paratión, piriproxifen y propargita presentaron la mayor frecuencia en sedimento y tejido muscular de lobina, y fueron encontrados en individuos de mayor tamaño, se sugiere la vigilancia sanitaria del embalse respecto a estos compuestos. Los resultados sugieren la traslocación de plaguicidas, principalmente con estructura lipofílica, del sedimento a la fauna bentónica consumida por la lobina de acuerdo a los hábitos alimentarios que presenta en sus etapas iniciales del desarrollo; y la bioacumulación de compuestos persistentes en su etapa adulta.

## ABSTRACT

The analysis of the distribution of pesticide residues in sediment and tissue of largemouth bass (*Micropterus* spp.), identified the presence of 13 non-organochlorine pesticides, whose mean concentration was from 0.37 to 8.33  $\mu\text{g kg}^{-1}$  in sediment and from 0.05 to 2.88  $\mu\text{g kg}^{-1}$  in bass. The spatial and multivariate analysis techniques (Discriminant Function Analysis and k-means) used, estimated significant spatial variations in the concentration of pesticides in sediment [*Wilks's lambda* = 0.0097;  $F_{(52.26)} = 11.964$ ;  $p < 0.001$ ] — with a higher concentration and number of pesticides recorded in the center and east of the reservoir—; and fish [*Wilks's lambda* = 0.0039;  $F_{(52.26)} = 16.503$ ;  $p < 0.001$ ]. The seasonal variations in the concentration of pesticides were significant in sediment [*Wilks's lambda* = 0.0331;

$F_{(65.32)} = 5.2837$ ;  $p < 0.001$ ] throughout the evaluated period; while differences in the concentration of bass tissue were only significant in December and May ( $Wilks\ lambda = 0.2971$ ;  $F_{(65.32)} = 1.4653$ ;  $p < 0.0174$ ).

Additionally, the relationship between morphometric measurements and the concentration of 28 non-organochlorine pesticides detected in the muscle of largemouth bass was determined. The mean concentration of pesticides in the muscle ranged from 0.079 to 0.51  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , the mean total length of the bass was  $314.4 \pm 50.83$  mm and the mean weight was  $405.7 \pm 245.71$  g. According to the regression of Partial Least Squares, the total length and weight of the bass showed a weak positive correlation ( $R = 0.273$ ) with respect to the total concentration of pesticides in tissue; however, 19 pesticides were negatively correlated with morphometry.

Since amitraz, ethion, parathion, pyriproxyfen and propargite presented the highest frequency in sediment and muscle tissue of bass, and were found in larger individuals, sanitary surveillance of the reservoir regarding these compounds is suggested. The results suggest the translocation of pesticides, mainly those with a lipophilic structure, from the sediment towards the benthic fauna consumed by the bass due to the feeding habits exhibited during initial stages of development; and the bioaccumulation of persistent compounds in adult stage.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Los plaguicidas son compuestos químicos que controlan plagas, vectores de enfermedades humanas y animales, y especies no deseadas que perjudican o interfieren con las actividades productivas (LGS, 2009). El uso de productos para el control de plagas se remonta a 3000 a.C.; sin embargo, la creación de formulaciones sintéticas de bajo costo y alta efectividad, empleadas desde la década de 1920, propició el uso intensivo a nivel mundial (Albert y Viveros, 2019).

Los efectos ecotoxicológicos causados por la aplicación de plaguicidas de primera generación (compuestos organoclorados) fueron expuestos por Carson (1962), lo que originó la elaboración de compuestos de “menor peligrosidad” como organofosforados, carbamatos, piretroides, neonicotinoides, etc. Sin embargo, estudios recientes han documentado efectos letales y subletales ocasionados por plaguicidas no organoclorados a nivel neurológico, reproductivo y conductual sobre poblaciones no objetivo, principalmente en ambientes acuáticos (Yucra *et al.*, 2008; Goldman *et al.*, 2017; Sabarwal *et al.* 2018; Zijian y Jennings, 2018).

La presencia de plaguicidas en los cuerpos de agua, ha sido asociada a escurrimientos superficiales y subterráneos y al arrastre de sedimentos contaminados, provenientes de zonas agropecuarias (Mateo-Sagasta *et al.*, 2017; Pascual-Aguilar *et al.* 2017). La distribución de los plaguicidas, dentro del entorno acuático, depende de las características físico-químicas de los compuestos; los de mayor persistencia y movilidad pueden alcanzar los diversos compartimientos

ambientales y ser transferidos por las redes tróficas (Delle-Site, 2001; Kafilzadeh, 2015; Zijian y Jennings, 2018).

Por lo anterior, este estudio presenta el análisis de distribución de residuos de plaguicidas no organoclorados realizado dentro del ecosistema lacustre de la presa “Vicente Guerrero”, ubicada en Tamaulipas, México. Los análisis HPLC-MS/MS determinaron la presencia de 33 plaguicidas en sedimento y 28 en el tejido muscular de lobina, los valores promedio y desviación estándar se presentan en el Anexo A del Capítulo I. La información obtenida por el análisis cromatográfico fue organizada y seleccionada conforme a los objetivos del estudio. El Capítulo I muestra la distribución espacio-temporal de 13 plaguicidas no organoclorados en sedimento y tejido de lobina (*Micropterus* spp.) seleccionados por su peligrosidad alta o moderada, a partir de la elaboración de una matriz de riesgo (Anexos B, C, D y E). Los resultados confirman la presencia de estos 13 plaguicidas con variaciones espaciales y temporales significativas ( $p < 0.001$ ), en ambos tipos de muestra. Las variaciones espacio-temporales en sedimento fueron asociadas a la estacionalidad del control químico aplicado en los cultivos de la región y a las propiedades físico-químicas de los compuestos. Las variaciones observadas en el tejido de lobina fueron relacionadas con sus hábitos alimentarios.

En el Capítulo II, se presenta la relación entre las medidas morfométricas y la concentración de plaguicidas no organoclorados presentes en la lobina. El estudio confirmó la presencia de 28 plaguicidas, de los cuales 19 mostraron correlación negativa con la morfometría, aunque la concentración total de plaguicidas en tejido presentó correlación positiva débil con las medidas morfométricas. Lo anterior

sugiere que las lobinas de menor tamaño concentran mayor proporción de plaguicidas, posiblemente asociada a los hábitos alimentarios bentónicos en las primeras etapas de su desarrollo.

## **Hipótesis**

- a) El control sanitario en las actividades agropecuarias que se desarrolla en la cuenca Río Soto la Marina, representa una de las principales fuentes de origen de residuos de pesticidas vertidos por arrastre o filtración a los afluentes de la presa Vicente Guerrero; de manera que la distribución espacio-temporal en el sedimento y tejido muscular de lobina, está asociada a la temporalidad de aplicación de agroquímicos por tipo de cultivo y ganado producidos.
- b) La estructura química de algunos pesticidas contribuye a la bioacumulación en el tejido muscular de la lobina de la presa “Vicente Guerrero”; con base en ello, la máxima concentración de agroquímicos estará localizada en los individuos de lobina que muestran mayores dimensiones morfométricas.

## **Objetivo General**

Determinar la concentración y distribución de plaguicidas fitozoosanitarios no organoclorados en sedimento y tejido muscular de la lobina (*Micropterus* spp.) muestreada en la presa “Vicente Guerrero”.

### **Objetivos Específicos**

a) Demostrar que la distribución espacio-temporal de compuestos derivados de plaguicidas en el sedimento y tejido muscular de la lobina en la presa “Vicente Guerrero”, obedece al empleo y variación en actividades agropecuarias que se desarrollan en la cuenca Río Soto La Marina.

b) Evaluar la relación entre la concentración de residuos de plaguicidas y la morfometría de los ejemplares de lobina colectados en la presa “Vicente Guerrero”.

## CAPÍTULO I.

### DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE PLAGUICIDAS Y CLASIFICACIÓN DE ÁREAS DE CONTAMINACIÓN EN UN EMBALSE AL NORESTE DE MÉXICO: ANÁLISIS ESPACIAL Y MULTIVARIANTE

#### RESUMEN

Este estudio analizó la distribución espacial y temporal de 13 plaguicidas, en sedimento y tejido de lobina (*Micropterus* spp.), por técnicas de análisis espacial y multivariantes en la presa “Vicente Guerrero” (Tamaulipas, México). La concentración de los compuestos fue obtenida mediante HPLC-MS/MS por el procedimiento de extracción QuEChERS. La concentración media de plaguicidas varió en sedimento de 0.37 a 8.33  $\mu\text{g/kg}$  y en lobina de 0.05 a 2.88  $\mu\text{g/kg}$ . La variación espacial fue significativa en los cinco sitios muestreados, tanto en el sedimento como en pescado. La mayor concentración y número de plaguicidas se registró en el centro y este del embalse y declinó hacia el vertedero. La concentración de los plaguicidas en sedimento fue significativa en todo el período evaluado, mientras que las diferencias en la concentración de la lobina sólo lo fueron en diciembre y mayo. Los plaguicidas más frecuentes en sedimento y tejido fueron amitraz, etión, paratión, piriproxifen y propargita, este último presente sólo en el centro de la presa. Los resultados sugieren bioacumulación de cinco plaguicidas desde el sedimento hacia el pescado. El paratión es un plaguicida extremadamente peligroso para la salud humana y junto a etión y propargita son altamente tóxicos para la vida acuática. Los resultados sugieren realizar monitoreo frecuente de la

presa, para detectar la presencia de plaguicidas de alto riesgo y conservar la sanidad del ecosistema.

**Palabras clave:** presa Vicente Guerrero, plaguicidas de alto riesgo, sedimento, *Micropterus* spp., HPLC-MS/MS.

## ABSTRACT

This study focused on the analysis of the spatial and temporal distribution of 13 pesticides in sediment and largemouth bass (*Micropterus* spp.) tissue, by spatial and multivariate analysis techniques in the “Vicente Guerrero” dam (Tamaulipas, Mexico). The concentration of the compounds was obtained by HPLC-MS/MS using the QuEChERS extraction procedure. The mean pesticide concentration varied in sediment from 0.37 to 8.33  $\mu\text{g/kg}$ , and in largemouth bass from 0.05 to 2.88  $\mu\text{g/kg}$ . Spatial variation was significant at the five sampled sites, both in sediment and fish. The highest concentration and number of pesticides was recorded in the center and east of the reservoir and declined towards the landfill. The concentration of pesticides in sediment was significant throughout the evaluated period, while differences in the concentration of largemouth bass were only significant in December and May. The most frequent pesticides in sediment and tissue were amitraz, ethion, parathion, pyriproxyfen and propargite, the latter present only in the center of the dam. The results obtained suggest bioaccumulation of five pesticides from sediment to fish. Parathion is an extremely dangerous pesticide for human health and together with ethion and propargite are highly toxic to aquatic life. The

results suggest carrying out frequent monitoring of the dam to detect the presence of high-risk pesticides and preserve the ecosystem health.

**Keywords:** Vicente Guerrero dam, high risk pesticides, sediment, *Micropterus* spp., HPLC-MS/MS.

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos lénticos son altamente valorados por las estructuras complejas que desarrollan al interior (Cervantes, 2007) y, a su vez, son vulnerables a las presiones antropogénicas (SEMARNAT, 2016). Las actividades urbanas, industriales (Mateo-Sagasta *et al.*, 2017), agrícolas y ganaderas son las principales causas de deterioro y contaminación de este tipo de ecosistemas (Ongley, 1996). Los compuestos que se depositan directa o indirectamente en los sistemas acuáticos incluyen plaguicidas y fármacos veterinarios. En México, el uso de plaguicidas por unidad de superficie cultivada aumentó más de 50 % en las dos últimas décadas; tan sólo en 2017 se aplicaron más de 47,000 t (EPA, 2017; FAOSTAT, 2020).

Los plaguicidas son usados en las cadenas productivas, los sistemas de salud y de forma doméstica para controlar o erradicar especies de organismos nocivos o no deseados (Damalas y Eleftherohorinos, 2011). El comercio y uso de estas sustancias ocurre en escenarios poco regulados y de vigilancia institucional mínima en México (CNDH, 2018). Actualmente, existen en el país cerca de 7,700 productos

con registro vigente (COFEPRIS, 2020). De éstos, 4,000 son prohibidos o restringidos en otros países, por organismos o tratados internacionales (Bejarano-González, 2017) por su alta persistencia, capacidad de bioacumulación y por sus efectos negativos en el ambiente y la salud humana (Martínez-Valenzuela *et al.*, 2009; Zijian y Jennings, 2018; Albert y Viveros, 2019; FAO/WHO, 2019). El ingreso de los compuestos químicos a los cuerpos de agua, representa una amenaza para los organismos, pone en riesgo al equilibrio del ecosistema (Pimentel y Edwards, 1982; Whitmore *et al.*, 2015) y sus efectos se pueden extender hasta los ambientes terrestres a lo largo de las redes tróficas (Tsaboula *et al.*, 2016).

Las actividades primarias en el noreste de México se centran en los sectores agrícola, ganadero y pesquero (Banxico, 2020). En el estado de Tamaulipas se cultivan 1.3 millones de hectáreas, principalmente con sorgo y maíz (SIAP, 2020a), bajo ciclos de temporal y riego. La superficie para el aprovechamiento pecuario, mayormente bovinos, es de 5 millones de hectáreas (SEDER, 2019). Ambos tipos de actividad usan productos químicos para controlar plagas y ectoparásitos. En el centro del Estado se localiza la segunda zona citrícola más importante del país, integrada por 32 mil hectáreas (SIAP, 2020a). El agua de riego que abastece los cítricos proviene de tres afluentes, los ríos “Corona”, “Purificación” y “Pilón”, contenidos por la presa “Vicente Guerrero” (PVG). Este embalse descarga sus aguas al río “Soto La Marina” y provee de agua a los centros poblacionales, entre los que destaca Ciudad Victoria.

La distribución, destino e impacto ambiental de los plaguicidas empleados en la zona centro del estado de Tamaulipas, es incierto. Los estudios más recientes

indican la presencia de compuestos organoclorados en agua (Heyer *et al.*, 2008) y fauna (Uresti *et al.*, 2008) de la PVG. Sin embargo, en la actualidad existe un catálogo amplio de plaguicidas disponibles en el mercado, que podrían ser incorporados al embalse por la actividad agropecuaria sin que se conozca su distribución y posible impacto en el ecosistema acuático. Por lo anterior, se requiere realizar monitoreos para conocer la identificación y distribución de los plaguicidas y los compartimientos ambientales donde representan el mayor riesgo. Los estudios de monitoreo son costosos; sin embargo, generan grandes matrices de datos (Schenone *et al.*, 2014) las cuales requieren ser organizadas y exploradas para obtener la mayor cantidad y calidad de información. Para ello, las herramientas estadísticas multivariadas (James y McCulloch, 1990; Mangeaud, 2004) y geoespaciales, representan una alternativa para el manejo y procesamiento de una cantidad importante de datos (Drake y Bauder, 2005). La integración de estas técnicas permite analizar los patrones de distribución de plaguicidas en los diferentes componentes del ecosistema, determinar variaciones espacio-temporales e identificar las regiones con mayor número y concentración de compuestos (Chaudhry *et al.*, 2019). Los objetivos del presente estudio fueron identificar la presencia y distribución espacio-temporal de plaguicidas en sedimento y músculo de lobina (*Micropterus* spp.), así como, clasificar la variedad y concentración de plaguicidas en los sitios de muestreo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***Área de Estudio***

La presa Vicente Guerrero (PVG) o Las Adjuntas, se localiza en Padilla, Tamaulipas entre las coordenadas geográficas 23° 57' 34" N y 98° 39' 57" O, y dentro de la Región Hidrológica No. 25- San Fernando-Soto La Marina (Fig. 1). La PVG es el embalse de mayor capacidad en el noreste de México con 3, 910 millones de m<sup>3</sup> al Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO; CONAGUA, 2015). Los principales usos del agua de la presa son control de avenidas, abastecimiento doméstico, riego, acuacultura en jaulas flotantes, pesca comercial y deportivo-recreativa (SEMARNAP, 1999).

### ***Muestreo***

La concentración de plaguicidas se obtuvo de muestras de sedimento y tejido de lobina (*Micropterus* spp.), las cuales se colectaron mensualmente (por triplicado) en cinco sitios de muestreo (Fig. 1) de diciembre de 2016 a mayo de 2017. La tabla 1 contiene la descripción de los sitios de muestreo.

La muestra de sedimento (500 g) fue obtenida de los primeros 15 cm de la superficie del fondo a una profundidad de 1.5 m, utilizando un tubo PVC. Los sedimentos fueron colocados en bolsas de polietileno selladas (Vázquez-Sauceda *et al.*, 2015), trasladados en hielo al laboratorio y congelados a -20 °C.

Las lobinas fueron obtenidas del embalse por método de pesca con señuelo. Los ejemplares fueron marcados en las aletas para identificar el sitio de colecta. Los peces vivos se depositaron en hielo dentro de viveros en la embarcación para inducir el letargo y su transporte. En el laboratorio, se obtuvieron las muestras de pescado (500 g) compuestas por piel, grasa subdérmica y fracción comestible de músculo de cada individuo y congeladas a -20 °C en bolsas de polietileno.

### ***Materiales, reactivos y soluciones***

Los estándares de plaguicidas fueron adquiridos en Dr. Ehrenstorfer Laboratory (Augsburg, Alemania) con una pureza superior a 95 %. Las soluciones madre (concentradas) se prepararon para cada plaguicida a 10 mg/L en metanol o acetronilo y las soluciones diluidas de plaguicidas a 0.01 mg/L, ambas conservadas a -20 °C. Los solventes grado HPLC fueron adquiridos en JT Baker (Phillipsburg, NJ, EUA). Los kits de extracción multi-residual y dispersión para método QuEChERS EN 15662:2008 (BSI, 2008) fueron provistos por Agilent (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA). Como estándar subrogado se utilizó trifenilfosfato (TTP) y como estándar interno (E.I.) bromofós metil.

### ***Preparación de las muestras***

Las muestras de sedimento y tejido fueron analizadas para detección y estimación de concentración de ametrina (AME), amitraz (AMZ), etión (ETN), malatión (MAL),

metamidofós (MPS), paratión (PAR), paratión metílico (P-MET), pirimetanil (PML), piriproxifen (PFN), propargita (PRO), propiconazol (PZL), tiabendazol (TZL) y trifloxistrobina (TBN). Las muestras congeladas de sedimento y pescado fueron molidas y homogeneizadas en licuadora, de manera independiente, para evitar la descongelación (Ernst et al., 2018). La extracción se realizó por dispersión en fase sólida (dSPE) - QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe) por sus acrónimos en inglés (Souza *et al.*, 2016). En un tubo de polipropileno para centrífuga de 50 mL se colocaron 10 g de muestra (sedimento o tejido), 10 mL de acetronilo y se agitaron manualmente por un minuto. En seguida se añadieron las sales utilizadas por la técnica para extracción por acetronilo (BSI, 2008) y el contenido del tubo se centrifugó a 3000 rpm por 5 min. Posteriormente, se agregaron 2 mL de sobrenadante al cartucho con los adsorbentes para limpieza, agitados manualmente por 30 s y centrifugados durante 5 min a 3000 rpm, nuevamente. Una alícuota de 1 mL de extracto fue depositada en un vial y acidificada con 10 µL de solución de ácido fórmico al 5 % en acetronilo. El sobrenadante fue transferido al análisis LC-MS.

### ***Cromatografía Líquida / Espectrometría en Tándem***

Los plaguicidas extraídos fueron analizados en un cromatógrafo líquido Agilent 1200 SL binario acoplado a un espectrómetro de masas triple cuadrupolo 6430 (QqQ), ambos de Agilent Technologies (Santa Clara, CA, EUA). El extracto fue inyectado a una columna Zorbax Eclipse XDB-C18 de Agilent Technologies (150 mm x 4.6 mm,

5  $\mu\text{m}$ ). La separación cromatográfica fue realizada con un gradiente lineal con ácido fórmico al 0.1 % en agua ultra pura como fase móvil (A) y acetronilo como fase orgánica (B). El programa de gradiente de elución inició en 70 % (A) y 1% (B) y se mantuvo durante 3 min; gradualmente, A alcanzó 0 % y B 100 % cerca de los 22 min y se mantuvo por 5 min. Posteriormente, A aumentó a 30 % y B a 70% en 5 min y se sostuvo 5 min. La detección MS/MS se realizó bajo las siguientes condiciones: flujo de gas de secado de 11 L/min, flujo de gas nebulizador a 15 psi, temperatura del gas a 300 °C. La obtención y procesamiento de datos se realizó con Agilent Mass Hunter y DMRM mode.

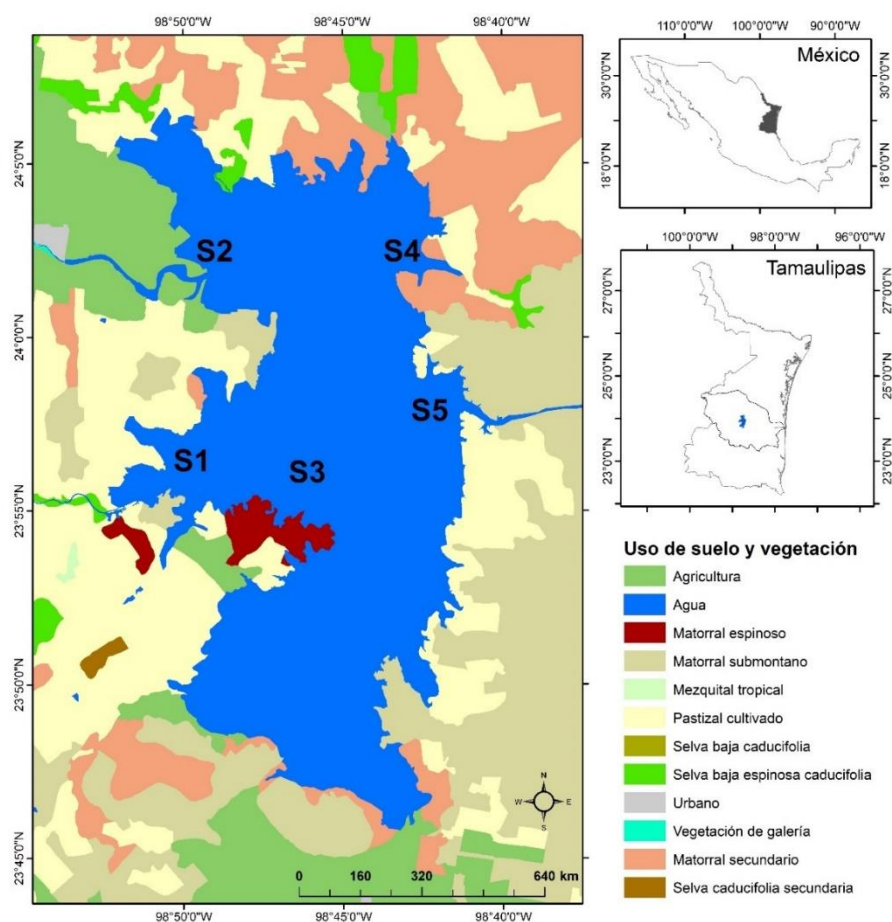


Figura 1. Área de estudio y sitios de muestreo de sedimentos y músculo de lobina. Presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México.

Tabla 1. Descripción de los sitios de muestreo de sedimentos y músculo de lobina, presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México.

| Sitio | Latitud     | Longitud    | Descripción del sitio                         | Características generales                                                                                                                                           |
|-------|-------------|-------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S1    | 23° 54´ 967 | 98° 52´ 372 | Desembocadura del Río Corona                  | Vertimiento de aguas con residuos de agroquímicos en cultivo (cítricos, maíz y sorgo) y ganadería (bovinos y porcinos), aguas residuales domésticas e industriales. |
| S2    | 24° 49´ 737 | 98° 49´ 597 | Desembocadura del Río Purificación            | Zona de aporte de carga química por cultivo de cítricos, maíz y sorgo. Producción ganadera (bovinos, ovinos y porcinos).                                            |
| S3    | 23° 56´ 880 | 98° 45´ 884 | Confluencia de los ríos Corona y Purificación | Zona receptora de las aguas de ambos tributarios. Presenta tres islotes con asentamientos humanos rurales.                                                          |
| S4    | 24° 2´ 153  | 98° 42´ 294 | Extremo Noreste de la PVG                     | Área receptora del caudal del Río Purificación y parte del Río Corona. Presencia de granjas acuícolas de tilapia.                                                   |
| S5    | 23° 57´ 884 | 98° 41´ 303 | Vertedero                                     | Zona de desfogue de la PVG. Desemboca en el Río Soto La Marina; posteriormente, en el Golfo de México.                                                              |

### ***Análisis Exploratorio de Datos***

La normalidad de los datos independientes, de sedimento y tejido, fue probada con los estadísticos de Royston y la homogeneidad de varianzas por la prueba de Levene (Espinal-Carreón *et al.*, 2013; Porras-Cerrón, 2016). Los datos originales en los dos tipos de muestras presentaron distribuciones no normales, por lo que se realizó su transformación logarítmica para ser examinados nuevamente. Las pruebas de normalidad y homocedasticidad en los datos transformados mostraron distribuciones no normales, de nuevo; por lo tanto, los análisis multivariados subsiguientes fueron realizados con los datos sin transformación logarítmica. El tipo de distribución y la estructura de los datos fueron analizados durante la selección del método de interpolación.

### ***Análisis Espacio-Temporal de plaguicidas***

La variación espacial y temporal de plaguicidas en sedimento y tejido fue obtenida por Análisis de Funciones Discriminantes (AFD). El AFD es una prueba estadística multivariada que utiliza combinaciones lineales de un conjunto de variables para encontrar la que más contribuye a la discriminación entre grupos (James y McCulloch, 1990). La función discriminante se construye a partir de la siguiente fórmula:  $f(G_i) = K_i + \sum_{j=1}^n w_{ij}p_{ij}$ , donde  $i$  es el número de grupos (Singh et al., 2004),  $K_i$  es la constante inherente a cada grupo,  $n$  es el número de parámetros usado para clasificar un conjunto de datos dentro de cada grupo,  $w_j$  es el coeficiente ponderado asignado por el AFD para un parámetro determinado ( $p_j$ ).

Los AFD fueron ejecutados en modo estándar con las bases de datos originales de sedimento y tejido, donde los grupos a comparar fueron la combinación de las categorías de los cinco sitios (espacial) y los seis meses (temporal). Las dos primeras funciones (raíces) fueron retenidas al aportar una varianza > 70 %. La prueba de Wilks-Lambda fue involucrada para determinar la capacidad discriminatoria de la función.

### ***Clasificación de Áreas por Grado de Contaminación***

La concentración de sedimentos y tejidos por mes de muestreo fueron convertidas en capas vectoriales de puntos. Posteriormente, con estas capas se generaron superficies de interpolación para cada plaguicida, por tipo de muestra y mes. Los

archivos fueron proyectados en el sistema de coordenadas UTM (datum WGS84) zona 14 N. La selección del método de interpolación se realizó mediante la comparación del desempeño de tres modelos geoestadísticos Kriging (Ordinario, Simple y Universal) y el de Interpolación por Distancia Inversa Ponderada (IDW). Los métodos Kriging presuponen la variación espacial estadísticamente homogénea en todos los sitios a lo largo de la superficie de análisis (ESRI, 2016). En este estudio, los muestreos fueron concentrados en cinco regiones de la PVG, lo que generó una alta correlación entre los datos de un mismo sitio y poca o nula correlación entre sitios. Por lo tanto, el análisis estructural mostró una continuidad o estacionariedad débil en la distribución de los datos sobre la superficie de la PVG, característica fundamental para la teoría de variables regionalizadas (Matheron, 1965). Adicionalmente, Juang *et al.* (2001) y Drake y Bauder (2005) señalan que, con frecuencia, los contaminantes de origen antropogénico presentan distribución no normal y amplias variaciones, de manera que la elección del método de interpolación depende del análisis estructural de los datos. Considerando que, la distribución de los datos presenta estacionariedad débil de acuerdo al análisis estructural, los métodos geoestadísticos fueron descartados como viables.

Por el contrario, algunos estudios recomiendan el método IDW cuando el número de muestras es reducido, la distribución es poco uniforme (Cely-Pulido *et al.*, 2002; Drake y Bauder, 2005) o existen distancias grandes entre sitios de muestreo (Villatoro *et al.*, 2008). En consecuencia, el modelo de Interpolación por Distancia Inversa Ponderada (IDW) fue elegido para realizar las interpolaciones. El IDW estima el valor de los puntos no muestreados al considerar que las áreas más

cercanas al punto observado tendrán características similares y su influencia o peso serán mayores (Wong, 2017). Los valores estimados fueron calculados con la siguiente fórmula:  $Z = [\sum_{i=1}^n (Z_i / d_i^m) / \sum_{i=1}^n (1 / d_i^m)]$ , donde  $Z$  es el valor estimado,  $Z_i$  es el valor muestreado en el punto  $i$ ,  $d_i$  es la distancia entre  $Z$  y  $Z_i$ , y  $m$  es el peso ponderado inversamente a  $d_i$  (Arslan y Turan, 2015). La ponderación de los pesos fue estimada en proporción a la segunda potencia y se utilizó el valor predeterminado de 12 vecinos cercanos para realizar las interpolaciones con ArcMap 10.3 – Spatial Analyst Tools – IDW. Las capas ráster fueron generadas individualmente para cada variable, de forma mensual (78 capas para cada tipo de muestra). Las capas obtenidas fueron transformadas a formato vectorial de polígono con QGIS 3.8.1-1.

Los vectores fueron intersecados geométricamente con Geoprocessing - Intersect de ArcMap 10.3, el cual proyecta un sistema de referencia espacial común (de entrada y salida) para calcular las relaciones geométricas y los vértices intersección entre las diferentes capas de entidades, cuyos datos son identificados por un número digital nuevo (ESRI, 2016). Con estos números digitales por cada variable, los clústeres fueron contruidos por medio del análisis generalizado k-medias en Statistica 13.0. Este análisis es un método no jerárquico que busca el número óptimo de  $k$  grupos, en los cuales se puede dividir un conjunto de objetos para minimizar la varianza dentro del grupo (David, 2017) y maximizar las diferencias entre grupos (Arriaga-Flores *et al.*, 2018). El análisis genera el centroide en un clúster inicial, realiza iteraciones al calcular la distancia Euclidiana entre cada dato y el centroide, y agrupa los datos más cercanos (Zubaidah *et al.*, 2018). Los

centroides de cada plaguicida fueron ponderados en una escala ascendente y una vez calculada la media de los ponderadores por clúster, se obtuvo el grado de contaminación. La clasificación fue vinculada a los mapas de intersección para visualizar los patrones espaciales y temporales de contaminación en el embalse.

## RESULTADOS

En las muestras de sedimento y lobina de la presa Vicente Guerrero, PVG, se pudieron identificar 13 residuos de plaguicidas. El valor promedio y desviación estándar de la concentración por tipo de muestra se presentan de manera mensual (Tabla 2 y 3).

La concentración media más alta en sedimento fue de pirimetanil, PML (8.33  $\mu\text{g/kg}$ ) en S4 (Tabla 1) durante marzo, mientras que la más baja en S3 en febrero (0.37  $\mu\text{g/kg}$ ). La concentración media más elevada en tejido fue de piriproxifen, PFN (2.88  $\mu\text{g/kg}$ ) en S2 en mayo, y la más baja tiabendazol TZL (0.05  $\mu\text{g/mg}$ ) en diciembre. El paratión (PAR) estuvo presente en el 100 % de las muestras de sedimento y tejido de lobina (Fig. 2). El amitraz (AMZ) fue detectado en todas las muestras de sedimento y el etión (ETN) en la totalidad de muestras de tejido. En la tabla 4 se presentan los porcentajes de recuperación, desviación estándar y los límites de detección de plaguicidas por tipo de muestra analizada.

Tabla 2. Valores promedio ( $\mu\text{g/kg}$ )  $\pm$  desviación estándar mensual de los plaguicidas encontrados en sedimento por sitio de muestreo en la presa Vicente Guerrero", Tamaulipas, México.

| Sitio            | AME             | AMZ             | ETN             | MAL             | MPS             | P-MET           | PAR             | PML             | PFN             | PRO             | PZL             | TZL             | TBN             |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Diciembre</b> |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| S1               | 3.43 $\pm$ 1.46 | 4.26 $\pm$ 0.40 | <LOD            | 2.56 $\pm$ 0.45 | 2.63 $\pm$ 1.04 | 2.93 $\pm$ 0.61 | 3.7 $\pm$ 0.45  | 0.76 $\pm$ 0.68 | 2.46 $\pm$ 0.75 | <LOD            | <LOD            | 1.7 $\pm$ 0.43  | <LOD            |
| S2               | 1.5 $\pm$ 0.70  | 2.25 $\pm$ 0.21 | 2.5 $\pm$ 0.28  | 3.5 $\pm$ 0.14  | 1.85 $\pm$ 0.21 | 1.15 $\pm$ 0.07 | 1.85 $\pm$ 0.35 | 2.5 $\pm$ 0.28  | 1.55 $\pm$ 0.35 | <LOD            | <LOD            | 1.25 $\pm$ 0.35 | <LOD            |
| S3               | 2.16 $\pm$ 0.47 | 1.13 $\pm$ 0.15 | 1.73 $\pm$ 0.40 | 1.76 $\pm$ 0.32 | 1.4 $\pm$ 0.3   | 1.33 $\pm$ 0.35 | 2.1 $\pm$ 0.45  | 2.23 $\pm$ 0.73 | <LOD            | 2.8 $\pm$ 0.2   | 3.36 $\pm$ 0.35 | 1.5 $\pm$ 0.4   | 1.96 $\pm$ 0.35 |
| S4               | 2.96 $\pm$ 0.80 | 1.6 $\pm$ 0.26  | 2.16 $\pm$ 0.60 | 2.16 $\pm$ 0.40 | 1.26 $\pm$ 0.25 | 2.06 $\pm$ 0.77 | 1.33 $\pm$ 0.30 | 2.2 $\pm$ 0.55  | 2.73 $\pm$ 0.30 | <LOD            | <LOD            | 2.2 $\pm$ 0.5   | 2.4 $\pm$ 0.65  |
| S5               | 2.13 $\pm$ 0.49 | 3.3 $\pm$ 0.60  | 1.76 $\pm$ 0.25 | 2.3 $\pm$ 0.70  | <LOD            | 1.36 $\pm$ 0.37 | 2.76 $\pm$ 0.32 | 1.76 $\pm$ 0.45 | 3.0 $\pm$ 0.1   | <LOD            | <LOD            | 1.66 $\pm$ 0.90 | <LOD            |
| <b>Enero</b>     |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| S1               | 1.36 $\pm$ 0.37 | 2.63 $\pm$ 0.55 | 1.76 $\pm$ 0.35 | 2.46 $\pm$ 0.45 | 1.46 $\pm$ 0.32 | 2.46 $\pm$ 0.35 | 1.5 $\pm$ 0.36  | 1.53 $\pm$ 0.25 | 2 $\pm$ 0.3     | <LOD            | <LOD            | 2.66 $\pm$ 0.45 | 1.23 $\pm$ 0.25 |
| S2               | 1.13 $\pm$ 0.15 | 1.5 $\pm$ 0.3   | 1.33 $\pm$ 0.35 | 2.33 $\pm$ 0.25 | 1.16 $\pm$ 0.15 | 3.16 $\pm$ 0.15 | 2.2 $\pm$ 0.26  | 2.23 $\pm$ 0.32 | 1.2 $\pm$ 0.26  | <LOD            | <LOD            | 1.4 $\pm$ 0.20  | <LOD            |
| S3               | <LOD            | 1.63 $\pm$ 0.47 | 2.93 $\pm$ 0.20 | 3.03 $\pm$ 0.20 | 2.36 $\pm$ 0.30 | 1.46 $\pm$ 0.41 | 2.03 $\pm$ 0.20 | 2.13 $\pm$ 0.41 | <LOD            | 1.33 $\pm$ 0.30 | 2.2 $\pm$ 0.45  | 1.43 $\pm$ 0.30 | 2.06 $\pm$ 0.25 |
| S4               | 3.0 $\pm$ 0.1   | 2.2 $\pm$ 0.39  | 3.06 $\pm$ 0.41 | 2.6 $\pm$ 0.52  | 1.4 $\pm$ 0.3   | 2.43 $\pm$ 0.40 | 1.6 $\pm$ 0.26  | 1.43 $\pm$ 0.40 | 2.4 $\pm$ 0.36  | <LOD            | <LOD            | 1.2 $\pm$ 0.26  | 2.5 $\pm$ 0.45  |
| S5               | <LOD            | 1.2 $\pm$ 0.1   | 1.73 $\pm$ 0.15 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 1.8 $\pm$ 0.43  | <LOD            | 1.26 $\pm$ 0.15 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 1.43 $\pm$ 0.45 |
| <b>Febrero</b>   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| S1               | 1.23 $\pm$ 0.25 | 2.23 $\pm$ 0.41 | 1.36 $\pm$ 0.30 | 1.36 $\pm$ 0.32 | 1.36 $\pm$ 0.30 | 1.27 $\pm$ 1.01 | 1.4 $\pm$ 0.4   | 1.26 $\pm$ 0.37 | 2.23 $\pm$ 0.32 | <LOD            | <LOD            | 2.13 $\pm$ 0.15 | 1.3 $\pm$ 0.36  |
| S2               | 1.46 $\pm$ 0.40 | 2.63 $\pm$ 0.30 | 1.86 $\pm$ 0.25 | 5.46 $\pm$ 0.47 | 1.46 $\pm$ 0.40 | 1.96 $\pm$ 0.30 | 1.3 $\pm$ 0.3   | 1.66 $\pm$ 0.32 | 1.26 $\pm$ 0.30 | <LOD            | 2.73 $\pm$ 0.35 | 6.1 $\pm$ 0.85  | <LOD            |
| S3               | <LOD            | 2.6 $\pm$ 0.28  | 1.8 $\pm$ 0.28  | 3.85 $\pm$ 0.49 | 1.7 $\pm$ 0.14  | 1.3 $\pm$ 0.14  | 1.4 $\pm$ 0.42  | 0.37 $\pm$ 0.21 | <LOD            | 3.85 $\pm$ 0.21 | 5.4 $\pm$ 0.42  | 6.35 $\pm$ 0.35 | 2.5 $\pm$ 0.42  |
| S4               | 1.36 $\pm$ 0.40 | 2.43 $\pm$ 0.50 | 1.6 $\pm$ 0.29  | 3.46 $\pm$ 0.32 | 1.4 $\pm$ 0.20  | 1.46 $\pm$ 0.40 | 2.23 $\pm$ 0.32 | 3.3 $\pm$ 0.3   | 1.33 $\pm$ 0.35 | <LOD            | <LOD            | 4.86 $\pm$ 0.66 | 1.8 $\pm$ 0.26  |
| S5               | <LOD            | 1.1 $\pm$ 0.17  | <LOD            | 2.06 $\pm$ 0.75 | <LOD            | <LOD            | 1.83 $\pm$ 0.20 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 1.16 $\pm$ 0.20 |
| <b>Marzo</b>     |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| S1               | 1.46 $\pm$ 0.37 | 2.36 $\pm$ 0.30 | 1.4 $\pm$ 0.36  | 6.6 $\pm$ 0.62  | 1.53 $\pm$ 0.30 | 1.7 $\pm$ 0.2   | 2.3 $\pm$ 0.29  | 7.36 $\pm$ 0.30 | 3.1 $\pm$ 0.60  | <LOD            | <LOD            | 5.6 $\pm$ 0.5   | 2.53 $\pm$ 0.35 |
| S2               | 1.56 $\pm$ 0.35 | 1.4 $\pm$ 0.36  | 1.7 $\pm$ 0.36  | 7.76 $\pm$ 0.58 | 1.53 $\pm$ 0.30 | 1.4 $\pm$ 0.3   | 3.1 $\pm$ 1.11  | 6.1 $\pm$ 1.80  | 1.53 $\pm$ 0.25 | <LOD            | <LOD            | 1.7 $\pm$ 0.52  | 1.7 $\pm$ 0.45  |
| S3               | <LOD            | 5.9 $\pm$ 0.3   | 3.2 $\pm$ 1.1   | 7.36 $\pm$ 1.00 | 1.33 $\pm$ 0.25 | 1.5 $\pm$ 0.52  | 1.5 $\pm$ 0.3   | 7.16 $\pm$ 1.05 | <LOD            | 3.5 $\pm$ 0.75  | 5.4 $\pm$ 0.79  | 5.66 $\pm$ 0.41 | 3.7 $\pm$ 1.04  |
| S4               | 1.66 $\pm$ 0.15 | 1.23 $\pm$ 0.15 | 1.53 $\pm$ 0.40 | 6.13 $\pm$ 0.80 | 3.46 $\pm$ 0.37 | 1.66 $\pm$ 0.30 | 1.46 $\pm$ 0.35 | 8.33 $\pm$ 0.51 | 2.43 $\pm$ 1.13 | <LOD            | <LOD            | 8.03 $\pm$ 0.15 | 1.43 $\pm$ 0.30 |
| S5               | <LOD            | 1.3 $\pm$ 0.3   | 1.46 $\pm$ 0.40 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 1.5 $\pm$ 0.36  | <LOD            | 2.13 $\pm$ 0.58 | <LOD            | 4.86 $\pm$ 0.94 | <LOD            | 2.3 $\pm$ 0.52  |
| <b>Abril</b>     |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| S1               | 1.8 $\pm$ 0.14  | 1.4 $\pm$ 0.56  | 1.9 $\pm$ 0.28  | 6.2 $\pm$ 1.41  | 1.15 $\pm$ 0.21 | 2.6 $\pm$ 0.70  | 1.8 $\pm$ 0.70  | 5.7 $\pm$ 0.70  | 2.95 $\pm$ 1.34 | <LOD            | <LOD            | 4.85 $\pm$ 1.48 | 1.95 $\pm$ 0.07 |
| S2               | 1.3 $\pm$ 0.30  | 3.73 $\pm$ 0.47 | 3.4 $\pm$ 0.70  | 1.6 $\pm$ 0.29  | 1.53 $\pm$ 0.25 | 1.93 $\pm$ 0.35 | 1.53 $\pm$ 0.45 | 1.46 $\pm$ 0.30 | 2.73 $\pm$ 0.45 | <LOD            | 2.6 $\pm$ 0.49  | 3.1 $\pm$ 0.43  | 1.36 $\pm$ 0.47 |
| S3               | <LOD            | 1.8 $\pm$ 0.79  | 3.73 $\pm$ 0.60 | 6.83 $\pm$ 0.60 | 4.3 $\pm$ 1.25  | 2.6 $\pm$ 1.01  | 2.33 $\pm$ 0.41 | 5.23 $\pm$ 0.95 | <LOD            | 2.86 $\pm$ 0.86 | 4.33 $\pm$ 1.00 | 2.7 $\pm$ 0.7   | 2.8 $\pm$ 1.01  |
| S4               | 2.16 $\pm$ 0.70 | 3.43 $\pm$ 0.70 | 1.76 $\pm$ 0.41 | 7.2 $\pm$ 1.05  | 1.26 $\pm$ 0.25 | 1.16 $\pm$ 1.00 | 2.16 $\pm$ 0.90 | 5.9 $\pm$ 0.75  | 2.76 $\pm$ 0.45 | <LOD            | <LOD            | 5.53 $\pm$ 1.35 | 1.96 $\pm$ 0.50 |
| S5               | <LOD            | 2.65 $\pm$ 0.77 | 1.9 $\pm$ 0.14  | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 2.0 $\pm$ 1.27  | <LOD            | 2.4 $\pm$ 0.70  | <LOD            | 4.85 $\pm$ 0.49 | <LOD            | 4.35 $\pm$ 2.47 |
| <b>Mayo</b>      |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| S1               | 1.53 $\pm$ 0.40 | 2.76 $\pm$ 0.45 | 3.8 $\pm$ 0.55  | 3.66 $\pm$ 1.07 | 2.03 $\pm$ 0.41 | 1.96 $\pm$ 0.30 | 3.36 $\pm$ 0.76 | 3.43 $\pm$ 0.68 | 1.3 $\pm$ 0.26  | <LOD            | <LOD            | 1.86 $\pm$ 0.40 | 1.6 $\pm$ 0.55  |
| S2               | 1.7 $\pm$ 0.43  | 1.9 $\pm$ 0.36  | 2.23 $\pm$ 0.61 | 2.73 $\pm$ 0.45 | 1.4 $\pm$ 0.45  | 1.9 $\pm$ 0.55  | 2.8 $\pm$ 0.91  | 2.33 $\pm$ 0.66 | 1.63 $\pm$ 0.65 | <LOD            | 3.73 $\pm$ 1.00 | 1.56 $\pm$ 0.30 | 2.06 $\pm$ 1.17 |
| S3               | <LOD            | 5.23 $\pm$ 0.65 | 1.36 $\pm$ 0.30 | 7.96 $\pm$ 0.70 | 2.3 $\pm$ 0.45  | 3.4 $\pm$ 0.89  | 1.4 $\pm$ 0.26  | 5.63 $\pm$ 0.55 | <LOD            | 2.59 $\pm$ 1.96 | 2.5 $\pm$ 0.65  | 3.16 $\pm$ 1.35 | 4.36 $\pm$ 1.04 |
| S4               | 3.33 $\pm$ 1.12 | 2.7 $\pm$ 0.65  | 2.2 $\pm$ 0.36  | 4.16 $\pm$ 1.05 | 2.53 $\pm$ 0.83 | 4.53 $\pm$ 0.81 | 2.43 $\pm$ 0.47 | 3.46 $\pm$ 0.60 | 5.4 $\pm$ 0.75  | <LOD            | <LOD            | 3.53 $\pm$ 0.60 | 4.6 $\pm$ 0.96  |
| S5               | <LOD            | 1.96 $\pm$ 0.50 | 2.33 $\pm$ 0.45 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 1.86 $\pm$ 0.76 | <LOD            | 2.0 $\pm$ 0.62  | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 1.93 $\pm$ 0.55 |

Ametrina (AME), Amitraz (AMZ), Etión (ETN), Malatión (MAL), Metamidofós (MPS), Paratión (PAR), Paratión-metilico (P-MET), Pirimetanil (PML), Piriproxifen (PFN), Propargita (PRO), Propiconazol (PZL), Tiabendazol (TZL) y Trifloxistrobin (TBN). S1, S2, S3, S4, S5 descritos en Tabla 1.

Tabla 3. Valores promedio ( $\mu\text{g/kg}$ )  $\pm$  desviación estándar mensual de los plaguicidas encontrados en músculo de lobina por sitio de muestreo en la presa “ Vicente Guerrero” , Tamaulipas, México.

| Sitio            | AME             | AMZ             | ETN             | MAL             | MPS             | P-MET           | PAR             | PML             | PFN             | PRO             | PZL             | TZL             | TBN             |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Diciembre</b> |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| S1               | 0.19 $\pm$ 0.07 | 0.61 $\pm$ 0.35 | 0.47 $\pm$ 0.17 | 0.4 $\pm$ 0.12  | 0.38 $\pm$ 0.09 | 0.18 $\pm$ 0.06 | 0.71 $\pm$ 0.14 | 0.8 $\pm$ 0.11  | 0.28 $\pm$ 0.14 | <LOD            | <LOD            | 0.73 $\pm$ 0.11 | <LOD            |
| S2               | 0.41 $\pm$ 0.57 | 0.08 $\pm$ 0.11 | 0.15 $\pm$ 0.04 | 0.87 $\pm$ 0.05 | 0.66 $\pm$ 0.07 | 0.57 $\pm$ 0.12 | 0.4 $\pm$ 0.15  | 0.77 $\pm$ 0.06 | 0.18 $\pm$ 0.12 | <LOD            | <LOD            | 0.05 $\pm$ 0.07 | <LOD            |
| S3               | <LOD            | 0.32 $\pm$ 0.21 | 0.62 $\pm$ 0.24 | 0.85 $\pm$ 0.07 | 0.38 $\pm$ 0.09 | 0.18 $\pm$ 0.06 | 0.71 $\pm$ 0.14 | 0.25 $\pm$ 0.13 | <LOD            | 0.64 $\pm$ 0.08 | 0.23 $\pm$ 0.12 | 0.18 $\pm$ 0.07 | 0.20 $\pm$ 0.05 |
| S4               | 0.37 $\pm$ 0.18 | 0.80 $\pm$ 0.04 | 0.53 $\pm$ 0.16 | 0.56 $\pm$ 0.14 | 0.68 $\pm$ 0.14 | 0.82 $\pm$ 0.11 | 0.71 $\pm$ 0.25 | 0.25 $\pm$ 0.08 | 0.38 $\pm$ 0.17 | <LOD            | <LOD            | 0.65 $\pm$ 0.13 | 0.80 $\pm$ 0.17 |
| S5               | 0.37 $\pm$ 0.20 | 0.54 $\pm$ 0.07 | 0.65 $\pm$ 0.28 | 0.92 $\pm$ 0.03 | 0.14 $\pm$ 0.03 | 0.77 $\pm$ 0.12 | 0.84 $\pm$ 0.11 | 0.16 $\pm$ 0.06 | 0.62 $\pm$ 0.20 | <LOD            | <LOD            | 0.59 $\pm$ 0.13 | 0.64 $\pm$ 0.23 |
| <b>Enero</b>     |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| S1               | 0.29 $\pm$ 0.14 | 0.48 $\pm$ 0.15 | 0.36 $\pm$ 0.22 | 0.27 $\pm$ 0.10 | 0.16 $\pm$ 0.05 | 0.54 $\pm$ 0.18 | 0.52 $\pm$ 0.21 | 0.54 $\pm$ 0.25 | 0.13 $\pm$ 0.03 | <LOD            | <LOD            | 0.45 $\pm$ 0.12 | 0.14 $\pm$ 0.03 |
| S2               | 0.27 $\pm$ 0.17 | 0.24 $\pm$ 0.08 | 0.19 $\pm$ 0.05 | 0.60 $\pm$ 0.02 | 0.36 $\pm$ 0.08 | 0.27 $\pm$ 0.13 | 0.25 $\pm$ 0.11 | 0.35 $\pm$ 0.07 | 0.19 $\pm$ 0.06 | <LOD            | <LOD            | 0.18 $\pm$ 0.07 | <LOD            |
| S3               | <LOD            | 0.48 $\pm$ 0.15 | 0.69 $\pm$ 0.22 | 0.52 $\pm$ 0.25 | 0.30 $\pm$ 0.18 | 0.17 $\pm$ 0.04 | 0.34 $\pm$ 0.07 | 0.37 $\pm$ 0.09 | <LOD            | 0.51 $\pm$ 0.10 | 0.5 $\pm$ 0.15  | 0.49 $\pm$ 0.10 | 0.49 $\pm$ 0.33 |
| S4               | 0.74 $\pm$ 0.28 | 0.86 $\pm$ 0.14 | 0.82 $\pm$ 0.12 | 0.79 $\pm$ 0.13 | 0.87 $\pm$ 0.05 | 0.66 $\pm$ 0.20 | 0.7 $\pm$ 0.20  | 0.50 $\pm$ 0.20 | 0.90 $\pm$ 0.08 | <LOD            | <LOD            | 0.84 $\pm$ 0.07 | 0.66 $\pm$ 0.17 |
| S5               | <LOD            | 0.13 $\pm$ 0.04 | 0.17 $\pm$ 0.05 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 0.13 $\pm$ 0.03 | 0.14 $\pm$ 0.03 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 0.26 $\pm$ 0.04 |
| <b>Febrero</b>   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| S1               | 0.20 $\pm$ 0.10 | 0.51 $\pm$ 0.07 | 0.20 $\pm$ 0.05 | 0.17 $\pm$ 0.07 | 0.19 $\pm$ 0.07 | 0.14 $\pm$ 0.05 | 0.42 $\pm$ 0.04 | 0.25 $\pm$ 0.04 | 0.15 $\pm$ 0.02 | <LOD            | <LOD            | 0.19 $\pm$ 0.09 | 0.12 $\pm$ 0.01 |
| S2               | 0.28 $\pm$ 0.21 | 0.25 $\pm$ 0.07 | 0.25 $\pm$ 0.03 | 0.74 $\pm$ 0.06 | 0.58 $\pm$ 0.19 | 0.35 $\pm$ 0.20 | 0.40 $\pm$ 0.10 | 0.48 $\pm$ 0.16 | 0.29 $\pm$ 0.08 | <LOD            | <LOD            | 0.38 $\pm$ 0.15 | <LOD            |
| S3               | <LOD            | 0.93 $\pm$ 0.00 | 0.88 $\pm$ 0.04 | 0.45 $\pm$ 0.02 | 0.58 $\pm$ 0.12 | 0.42 $\pm$ 0.12 | 0.43 $\pm$ 0.05 | 0.37 $\pm$ 0.21 | <LOD            | 0.64 $\pm$ 0.03 | 0.70 $\pm$ 0.07 | 0.67 $\pm$ 0.20 | 0.47 $\pm$ 0.21 |
| S4               | 0.70 $\pm$ 0.19 | 0.80 $\pm$ 0.04 | 0.71 $\pm$ 0.07 | 0.78 $\pm$ 0.20 | 0.68 $\pm$ 0.16 | 0.86 $\pm$ 0.04 | 0.74 $\pm$ 0.06 | 0.73 $\pm$ 0.12 | 0.63 $\pm$ 0.12 | <LOD            | <LOD            | 0.66 $\pm$ 0.20 | 0.65 $\pm$ 0.08 |
| S5               | <LOD            | 0.15 $\pm$ 0.02 | 0.15 $\pm$ 0.03 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 0.12 $\pm$ 0.03 | <LOD            | 0.18 $\pm$ 0.03 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 0.17 $\pm$ 0.03 |
| <b>Marzo</b>     |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| S1               | 0.17 $\pm$ 0.03 | 0.38 $\pm$ 0.08 | 0.13 $\pm$ 0.03 | 0.12 $\pm$ 0.03 | 0.16 $\pm$ 0.04 | 0.40 $\pm$ 0.25 | 0.29 $\pm$ 0.02 | 0.25 $\pm$ 0.06 | 0.17 $\pm$ 0.04 | <LOD            | <LOD            | 0.16 $\pm$ 0.06 | 0.16 $\pm$ 0.05 |
| S2               | 0.2 $\pm$ 0.12  | 0.26 $\pm$ 0.04 | 0.15 $\pm$ 0.04 | 0.61 $\pm$ 0.10 | 0.41 $\pm$ 0.17 | 0.22 $\pm$ 0.04 | 0.33 $\pm$ 0.06 | 0.53 $\pm$ 0.04 | 0.13 $\pm$ 0.02 | <LOD            | <LOD            | 0.38 $\pm$ 0.09 | <LOD            |
| S3               | <LOD            | 0.85 $\pm$ 0.06 | 0.66 $\pm$ 0.11 | 0.72 $\pm$ 0.11 | 0.73 $\pm$ 0.07 | 0.9 $\pm$ 0.06  | 0.40 $\pm$ 0.18 | 0.84 $\pm$ 0.06 | <LOD            | 0.56 $\pm$ 0.35 | 0.82 $\pm$ 0.09 | 0.82 $\pm$ 0.12 | 2.24 $\pm$ 2.39 |
| S4               | 0.85 $\pm$ 0.06 | 0.94 $\pm$ 0.02 | 0.87 $\pm$ 0.05 | 0.74 $\pm$ 0.09 | 0.89 $\pm$ 0.09 | 0.6 $\pm$ 0.06  | 0.85 $\pm$ 0.07 | 0.53 $\pm$ 0.18 | 0.58 $\pm$ 0.23 | <LOD            | <LOD            | 0.63 $\pm$ 0.08 | 0.8 $\pm$ 0.05  |
| S5               | <LOD            | 0.10 $\pm$ 0.10 | 0.24 $\pm$ 0.06 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 0.16 $\pm$ 0.02 | <LOD            | 0.23 $\pm$ 0.04 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 0.23 $\pm$ 0.09 |
| <b>Abril</b>     |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| S1               | 0.15 $\pm$ 0.04 | 0.34 $\pm$ 0.10 | 0.20 $\pm$ 0.04 | 0.14 $\pm$ 0.01 | 0.3 $\pm$ 0.14  | 0.25 $\pm$ 0.20 | 0.14 $\pm$ 0.02 | 0.21 $\pm$ 0.02 | 0.29 $\pm$ 0.16 | <LOD            | <LOD            | 0.18 $\pm$ 0.02 | 0.20 $\pm$ 0.13 |
| S2               | 0.56 $\pm$ 0.09 | 0.60 $\pm$ 0.08 | 0.18 $\pm$ 0.09 | 0.71 $\pm$ 0.11 | 0.73 $\pm$ 0.12 | 0.13 $\pm$ 0.05 | 0.66 $\pm$ 0.04 | 0.32 $\pm$ 0.06 | 0.29 $\pm$ 0.10 | <LOD            | <LOD            | 0.77 $\pm$ 0.08 | N.D.            |
| S3               | <LOD            | 0.95 $\pm$ 0.04 | 0.63 $\pm$ 0.14 | 0.61 $\pm$ 0.08 | 0.63 $\pm$ 0.11 | 0.76 $\pm$ 0.06 | 0.57 $\pm$ 0.05 | 0.74 $\pm$ 0.08 | <LOD            | 0.16 $\pm$ 0.11 | 0.32 $\pm$ 0.04 | 0.81 $\pm$ 0.08 | 0.72 $\pm$ 0.25 |
| S4               | 0.72 $\pm$ 0.09 | 0.71 $\pm$ 0.13 | 0.67 $\pm$ 0.06 | 0.61 $\pm$ 0.11 | 0.76 $\pm$ 0.17 | 0.68 $\pm$ 0.15 | 0.51 $\pm$ 0.22 | 0.88 $\pm$ 0.04 | 0.64 $\pm$ 0.09 | <LOD            | <LOD            | 0.84 $\pm$ 0.06 | 0.42 $\pm$ 0.10 |
| S5               | <LOD            | 0.17 $\pm$ 0.00 | 0.13 $\pm$ 0.03 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 0.2 $\pm$ 0.01  | <LOD            | 0.15 $\pm$ 0.01 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 0.15 $\pm$ 0.07 |
| <b>Mayo</b>      |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| S1               | 0.13 $\pm$ 0.02 | 0.63 $\pm$ 0.20 | 0.69 $\pm$ 0.14 | 0.48 $\pm$ 0.17 | 0.65 $\pm$ 0.11 | 0.79 $\pm$ 0.06 | 0.47 $\pm$ 0.16 | 0.77 $\pm$ 0.08 | 0.7 $\pm$ 0.18  | <LOD            | <LOD            | 0.73 $\pm$ 0.04 | 0.71 $\pm$ 0.04 |
| S2               | 0.69 $\pm$ 0.11 | 0.70 $\pm$ 0.09 | 0.27 $\pm$ 0.04 | 0.46 $\pm$ 0.15 | 0.80 $\pm$ 0.09 | 0.47 $\pm$ 0.05 | 0.94 $\pm$ 0.03 | 0.70 $\pm$ 0.07 | 2.88 $\pm$ 3.74 | <LOD            | <LOD            | 0.66 $\pm$ 0.11 | N.D.            |
| S3               | <LOD            | 0.68 $\pm$ 0.15 | 0.78 $\pm$ 0.05 | 0.67 $\pm$ 0.09 | 0.6 $\pm$ 0.22  | 0.78 $\pm$ 0.22 | 0.82 $\pm$ 0.09 | 0.73 $\pm$ 0.10 | <LOD            | 0.59 $\pm$ 0.10 | 0.62 $\pm$ 0.10 | 0.64 $\pm$ 0.10 | 2.34 $\pm$ 3.25 |
| S4               | 0.93 $\pm$ 0.03 | 0.76 $\pm$ 0.07 | 0.87 $\pm$ 0.12 | 0.75 $\pm$ 0.07 | 0.73 $\pm$ 0.04 | 0.82 $\pm$ 0.10 | 0.84 $\pm$ 0.11 | 0.86 $\pm$ 0.07 | 0.88 $\pm$ 0.08 | <LOD            | <LOD            | 0.94 $\pm$ 0.04 | 0.75 $\pm$ 0.02 |
| S5               | <LOD            | 0.24 $\pm$ 0.06 | 0.14 $\pm$ 0.04 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 0.30 $\pm$ 0.01 | <LOD            | 0.29 $\pm$ 0.09 | <LOD            | <LOD            | <LOD            | 0.12 $\pm$ 0.02 |

Ametrina (AME), Amitraz (AMZ), Etión (ETN), Malatión (MAL), Metamidofós (MPS), Paratión (PAR), Paratión-metílico (P-MET), Pirimetanil (PML), Pinproxifen (PFN), Propargita (PRO), Propiconazol (PZL), Tiabendazol (TZL) y Trifloxistrobin (TBN). S1, S2, S3, S4, S5 descritos en Tabla 1.

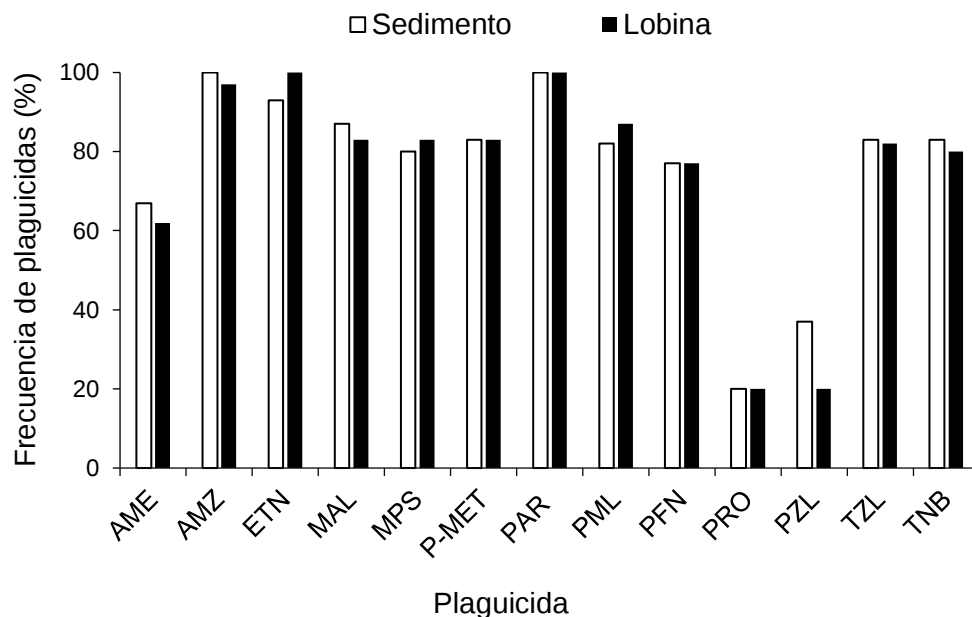


Figura 2. Frecuencia de residuos de plaguicidas en sedimento y músculo de lobina en la presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México.

### ***Distribución Espacio-Temporal de Plaguicidas***

#### **Sedimento**

Los cinco sitios de muestreo presentaron diferencias espaciales significativas (*Wilks lambda* = 0.0097;  $F_{(52.26)} = 11.964$ ;  $p < 0.001$ ; Tabla 5) explicadas por la suma de los eigenvalores de las dos primeras raíces (90.34 %). El valor del estimador de la *lambda* de Wilks mostró discriminación entre grupos. El plaguicida que presentó mayor variación asociado a la primera raíz fue propargita, PRO (Fig. 3), el cual fue registrado sólo en S3 durante los seis meses de muestreo (Tabla 2). Así mismo, este compuesto se correlacionó negativamente con ametrina AME y PFN, los cuales estuvieron asociados al resto de los sitios. El metamidofós (MPS) fue el plaguicida

que registró la mayor variación sobre la segunda raíz. La concentración de MPS estuvo relacionada a S3 en enero, febrero y abril, y a S4 en marzo y mayo (Fig. 3). El AMZ y PAR fueron registrados en todos los sitios durante el tiempo del estudio (Tabla 2).

Las diferencias temporales fueron significativas en los seis meses de muestreo. El ADF presentó los siguientes valores de *Wilks lambda* = 0.0331;  $F_{(65,32)} = 5.2837$ ;  $p < 0.001$  (Tabla 5), mientras que la varianza acumulada explicada por las dos primeras raíces fue de 78.11 %. La variable que registró la mayor diferencia sobre la primera raíz fue PML, asociada al mes de marzo. El TZL presentó mayor variación sobre la segunda raíz, asociado a febrero, aunque correlacionó negativamente con AME (Fig. 3).

Tabla 4. Porcentaje de recuperación, desviación estándar y límite de detección de plaguicidas por tipo de muestra.

| Compuesto | Recuperación (%) |             | Límite de detección (µg/kg) |        |
|-----------|------------------|-------------|-----------------------------|--------|
|           | S                | M           | S                           | M      |
| AME       | 92 ± 0.0012      | 92 ± 0.0014 | 0.0040                      | 0.0047 |
| AMZ       | 79 ± 0.0011      | 91 ± 0.0015 | 0.0039                      | 0.0051 |
| ETN       | 86 ± 0.0013      | 93 ± 0.0014 | 0.0043                      | 0.0049 |
| MAL       | 72 ± 0.0013      | 81 ± 0.0013 | 0.0043                      | 0.0045 |
| MPS       | 91 ± 0.0012      | 84 ± 0.0014 | 0.0042                      | 0.0047 |
| P-MET     | 75 ± 0.0011      | 78 ± 0.0014 | 0.0038                      | 0.0047 |
| PAR       | 94 ± 0.0011      | 96 ± 0.0014 | 0.0039                      | 0.0048 |
| PML       | 91 ± 0.0012      | 91 ± 0.0015 | 0.0040                      | 0.0051 |
| PFN       | 89 ± 0.0011      | 84 ± 0.0015 | 0.0036                      | 0.0050 |
| PRO       | 86 ± 0.0013      | 91 ± 0.0015 | 0.0044                      | 0.0050 |
| PZL       | 92 ± 0.0011      | 85 ± 0.0014 | 0.0038                      | 0.0048 |
| TZL       | 95 ± 0.0013      | 81 ± 0.0015 | 0.0044                      | 0.0051 |
| TBN       | 86 ± 0.0012      | 77 ± 0.0015 | 0.0041                      | 0.0050 |

S: Sedimento, M: Músculo de lobina; Ametrina (AME), Amitraz (AMZ), Etión (ETN), Malatión (MAL), Metamidofós (MPS), Paratión (PAR), Paratión-metílico (P-MET), Pirimetanil (PML), Piriproxifen (PFN), Propargita (PRO), Propiconazol (PZL), Tiabendazol (TZL) y Trifloxistrobin (TBN).

Tabla 5. Matrices de significancia estadística ( $F/p$ ) para determinar las variaciones espaciales y temporales de plaguicidas en sedimento y músculo de lobina, presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México.

|                                          |    | ESPACIAL |        |        |        |        | TEMPORAL   |       |       |       |       |        |       |       |
|------------------------------------------|----|----------|--------|--------|--------|--------|------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| <i>Sedimento</i>                         |    | <i>F</i> |        |        |        |        | <i>F</i>   |       |       |       |       |        |       |       |
| <i>p</i> *                               |    | S1       | S2     | S3     | S4     | S5     | <i>p</i> * |       | DIC   | ENE   | FEB   | MAR    | ABR   | MAY   |
|                                          | S1 |          | 10.833 | 31.963 | 10.147 | 4.558  |            | DIC   |       | 4.023 | 6.346 | 12.109 | 7.847 | 6.308 |
|                                          | S2 | 0.000    |        | 36.591 | 11.049 | 16.525 |            | ENE   | 0.000 |       | 3.767 | 12.304 | 6.082 | 3.22  |
|                                          | S3 | 0.000    | 0.000  |        | 40.884 | 36.354 |            | FEB   | 0.000 | 0.000 |       | 12.482 | 7.868 | 7.56  |
|                                          | S4 | 0.000    | 0.000  | 0.000  |        | 20.485 |            | MAR   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |        | 1.966 | 6.448 |
|                                          | S5 | 0.000    | 0.000  | 0.000  | 0.000  |        |            | ABR   | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.037  |       | 2.044 |
|                                          |    |          |        |        |        |        | MAY        | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.029  |       |       |
| <i>Lobina</i>                            |    | <i>F</i> |        |        |        |        | <i>F</i>   |       |       |       |       |        |       |       |
| <i>p</i> *                               |    | S1       | S2     | S3     | S4     | S5     | <i>p</i> * |       | DIC   | ENE   | FEB   | MAR    | ABR   | MAY   |
|                                          | S1 |          | 10.833 | 31.963 | 10.147 | 4.558  |            | DIC   |       | 2.267 | 2.172 | 2.767  | 3.251 | 2.279 |
|                                          | S2 | 0.000    |        | 36.591 | 11.049 | 16.525 |            | ENE   | 0.015 |       | 0.26  | 0.448  | 0.858 | 1.99  |
|                                          | S3 | 0.000    | 0.000  |        | 40.884 | 36.354 |            | FEB   | 0.02  | 0.995 |       | 0.217  | 0.724 | 1.881 |
|                                          | S4 | 0.000    | 0.000  | 0.000  |        | 20.485 |            | MAR   | 0.003 | 0.945 | 0.998 |        | 0.755 | 1.753 |
|                                          | S5 | 0.000    | 0.000  | 0.000  | 0.000  |        |            | ABR   | 0.001 | 0.599 | 0.733 | 0.703  |       | 2.39  |
|                                          |    |          |        |        |        |        | MAY        | 0.015 | 0.035 | 0.048 | 0.069 | 0.01   |       |       |
| * <i>p</i> <0.05                         |    |          |        |        |        |        |            |       |       |       |       |        |       |       |
| S1, S2, S3, S4, S5 descritos en Tabla 1. |    |          |        |        |        |        |            |       |       |       |       |        |       |       |

\*  $p < 0.05$

S1, S2, S3, S4, S5 descritos en Tabla 1.

El análisis de conglomerados  $k$ -medias identificó diversos grupos para cada mes de muestreo (Tabla 6). El grado de contaminación fue representado en mapas (Fig. 4). El sedimento en S3 registró los valores de mayor contaminación durante cuatro meses, representados a través de los clústeres (centroides): febrero (C3), marzo (C3) abril (C8) y mayo (C4), con presencia de malatión (MAL) y PRO en estos clústeres. El S4 registró mayor contaminación en enero (C2) y mayo (C1), con presencia de AMZ y PFN. La concentración de AMZ en el sedimento de S3 y S4, fue alta en todos los meses, excepto abril. El S1 registró mayor contaminación en diciembre (C2) con predominio de AME, AMZ, MAL, MPS, paratión metílico (P-MET) y PAR. El sedimento de S5 presentó menor concentración y variedad de contaminantes durante los seis meses; sin embargo, algunos meses registraron incrementos de PFN (diciembre), PAR (febrero), propiconazol (PZL, abril y marzo)

y trifloxistrobina, (TBN, abril). El análisis de varianza mensual de los clusteres presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) respecto a las 13 variables (Tabla 6).

### **Tejido muscular de lobina**

Las diferencias espaciales de las muestras de lobina fueron significativas entre los sitios [*Wilks lambda* = 0.0039;  $F_{(52.26)} = 16.503$ ;  $p < 0.001$ ; Tabla 5]. Las dos primeras raíces presentaron una varianza acumulada de 84.52 %. Los compuestos que mostraron la mayor variación sobre la primera raíz fueron PRO y PZL asociados a S3 durante los seis meses (Tabla 3) y correlacionados negativamente con AME (Fig. 5). La mayor variación asociada a la segunda raíz estuvo representada por el MPS ligado a S4. Los plaguicidas AMZ, ETN y PAR fueron detectados en los ejemplares de lobina de los cinco sitios durante los seis meses (Tabla 3).

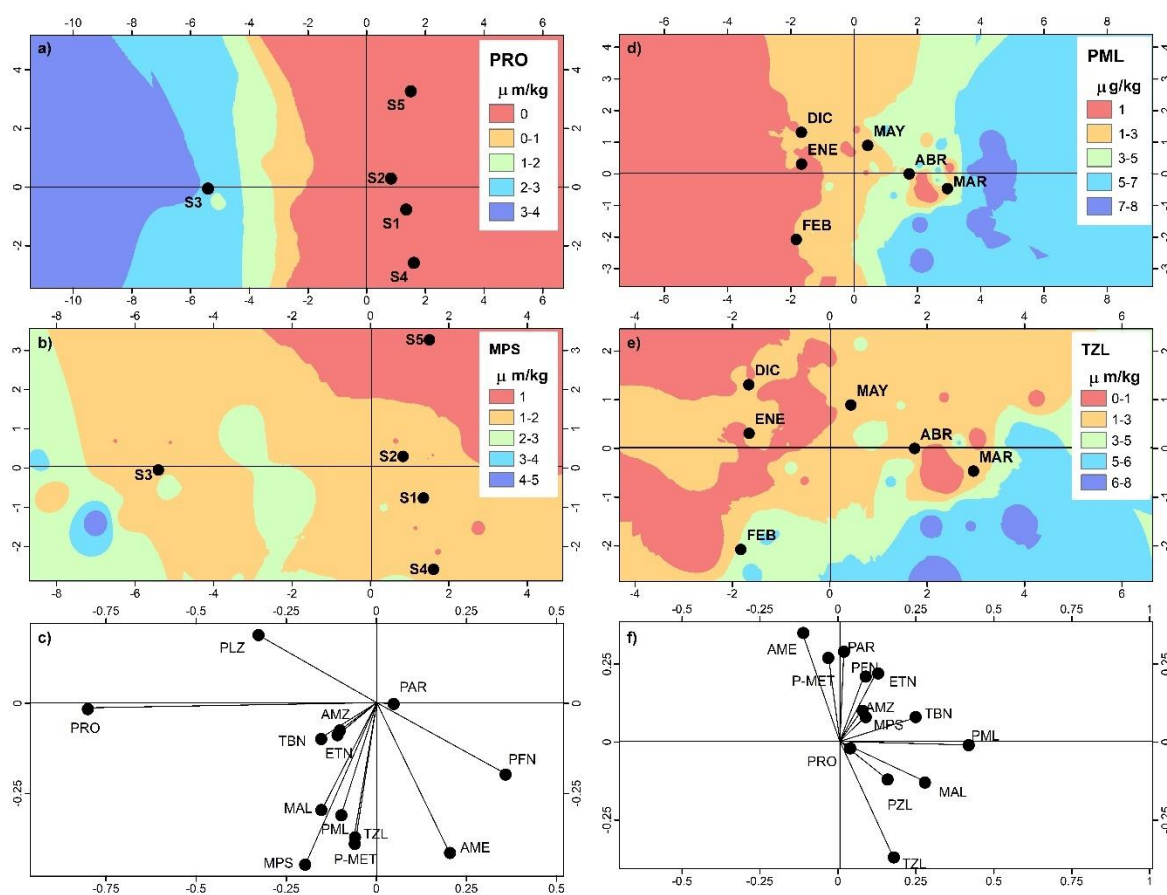


Figura 3. Funciones Discriminantes en sedimento de la presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México. Análisis espacial, distribución de las variables más significativas a) PRO y b) MPS, c) gráfico de la estructura de factores. Análisis temporal, variables más significativas d) PML y e) TZL, f) gráfico de la estructura de factores.

Diciembre y mayo presentaron variaciones significativas en la concentración de plaguicidas [ $Wilks\ lambda = 0.2971$ ;  $F_{(65,32)} = 1.4653$ ;  $p < 0.0174$ ; Tabla 5]. Las dos primeras raíces explicaron el 82.25 % de la variación de los datos. El estimador de la lambda de Wilks sólo discriminó los grupos sobre la primera raíz; por lo tanto, ocurrió un traslape entre grupos sobre la segunda raíz. La variable más significativa relacionada a la primera raíz fue PAR en diciembre y mayo, pero correlacionó negativamente con PZL (Fig. 5).

Tabla 6. Clústeres por grado de contaminación y centroides generados por el Análisis *K*-medias para las muestras mensuales de sedimento de la presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México.

| Grupos           | AME   | AMZ   | ETN   | MAL   | MPS   | P-MET | PAR   | PML   | PFN   | PRO   | PZL   | TZL   | TBN   | GC   |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| <b>Diciembre</b> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| C1               | 2.750 | 1.917 | 2.167 | 2.042 | 1.000 | 2.083 | 1.583 | 2.208 | 2.583 | 0.083 | 0.208 | 2.125 | 2.250 | IV   |
| C2               | 3.080 | 3.760 | 0.520 | 2.600 | 2.160 | 2.560 | 3.320 | 0.920 | 2.160 | 0.200 | 0.440 | 1.960 | 0.080 | V    |
| C3               | 2.071 | 3.179 | 2.000 | 2.286 | 0.036 | 1.429 | 2.750 | 1.857 | 2.643 | 0.036 | 0.214 | 1.929 | 0.429 | II   |
| C4               | 2.076 | 2.182 | 1.894 | 2.364 | 1.409 | 1.530 | 2.121 | 2.061 | 1.682 | 0.621 | 0.924 | 1.803 | 0.879 | III  |
| C5               | 2.074 | 1.630 | 1.815 | 1.963 | 1.296 | 1.481 | 2.074 | 2.148 | 0.630 | 2.222 | 2.593 | 1.778 | 1.704 | I    |
| <i>p</i> =       | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |      |
| <b>Enero</b>     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| C1               | 1.045 | 1.886 | 1.864 | 2.250 | 1.386 | 2.386 | 2.000 | 1.932 | 1.091 | 0.000 | 0.432 | 1.386 | 0.886 | II   |
| C2               | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 2.500 | 1.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 2.000 | VII  |
| C3               | 0.370 | 1.957 | 2.500 | 2.478 | 1.891 | 1.652 | 2.000 | 1.913 | 0.717 | 1.022 | 1.304 | 1.217 | 1.826 | V    |
| C4               | 1.444 | 2.778 | 1.889 | 2.222 | 1.444 | 2.333 | 2.000 | 1.778 | 2.000 | 0.000 | 0.000 | 2.667 | 1.111 | IV   |
| C5               | 2.071 | 2.000 | 2.714 | 2.250 | 1.036 | 2.000 | 1.964 | 1.250 | 1.857 | 0.000 | 0.071 | 1.000 | 2.214 | III  |
| C6               | 1.000 | 3.000 | 2.000 | 2.750 | 1.500 | 2.000 | 1.000 | 2.000 | 2.000 | 0.000 | 0.000 | 2.750 | 1.000 | VI   |
| C7               | 0.324 | 1.235 | 2.000 | 1.059 | 0.618 | 0.735 | 1.971 | 0.765 | 1.029 | 0.059 | 0.294 | 0.412 | 1.765 | I    |
| <i>p</i> =       | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |      |
| <b>Febrero</b>   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| C1               | 0.790 | 2.048 | 1.331 | 3.556 | 1.065 | 1.089 | 2.000 | 1.508 | 0.726 | 0.968 | 1.815 | 4.266 | 1.661 | II   |
| C2               | 0.000 | 1.536 | 0.286 | 2.786 | 0.143 | 0.000 | 2.000 | 0.464 | 0.000 | 0.250 | 0.607 | 1.393 | 1.000 | I    |
| C3               | 0.146 | 2.293 | 1.951 | 3.878 | 1.659 | 1.000 | 1.098 | 0.707 | 0.293 | 2.829 | 4.244 | 5.512 | 2.098 | IV   |
| C4               | 1.057 | 2.271 | 1.729 | 3.557 | 1.186 | 1.400 | 1.000 | 1.257 | 1.300 | 0.657 | 1.986 | 4.386 | 0.914 | III  |
| <i>p</i> =       | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |      |
| <b>Marzo</b>     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| C1               | 0.304 | 2.638 | 2.000 | 3.696 | 1.043 | 1.000 | 2.000 | 4.130 | 1.638 | 1.029 | 3.768 | 3.449 | 2.406 | II   |
| C2               | 0.000 | 1.565 | 1.870 | 1.000 | 0.261 | 0.000 | 1.870 | 1.217 | 2.000 | 0.130 | 4.435 | 0.913 | 2.087 | I    |
| C3               | 0.011 | 5.319 | 3.044 | 7.077 | 1.143 | 1.451 | 1.736 | 6.912 | 0.374 | 3.044 | 4.725 | 5.385 | 3.440 | VI   |
| C4               | 1.065 | 1.968 | 2.000 | 6.430 | 2.022 | 1.000 | 2.226 | 6.376 | 1.645 | 0.548 | 1.355 | 4.151 | 2.000 | III  |
| C5               | 0.967 | 3.370 | 2.109 | 6.326 | 1.859 | 1.304 | 2.000 | 6.446 | 1.174 | 1.413 | 2.870 | 4.848 | 2.696 | IV   |
| C6               | 1.532 | 1.894 | 1.638 | 6.553 | 2.319 | 1.957 | 2.064 | 7.319 | 2.617 | 0.064 | 0.255 | 5.872 | 2.170 | V    |
| <i>p</i> =       | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |      |
| <b>Abril</b>     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| C1               | 3.000 | 3.000 | 1.000 | 7.000 | 1.000 | 1.000 | 2.000 | 6.000 | 3.000 | 0.000 | 0.000 | 2.000 | 5.500 | VII  |
| C2               | 1.536 | 1.536 | 2.000 | 6.071 | 1.321 | 2.214 | 1.893 | 5.393 | 2.964 | 0.143 | 0.607 | 2.000 | 4.714 | IV   |
| C3               | 1.024 | 3.571 | 3.190 | 2.048 | 1.643 | 2.000 | 1.714 | 1.810 | 2.786 | 0.000 | 2.595 | 1.429 | 3.071 | II   |
| C4               | 1.958 | 3.167 | 2.000 | 6.250 | 1.167 | 1.083 | 2.083 | 5.042 | 2.542 | 0.000 | 0.625 | 2.000 | 4.708 | VI   |
| C5               | 1.035 | 2.947 | 2.070 | 4.702 | 1.509 | 1.263 | 2.000 | 3.772 | 2.000 | 0.526 | 2.246 | 2.509 | 3.333 | III  |
| C6               | 0.250 | 2.682 | 2.000 | 2.114 | 0.795 | 0.705 | 1.977 | 1.705 | 2.045 | 0.455 | 4.045 | 3.455 | 1.250 | I    |
| C7               | 0.779 | 2.221 | 2.974 | 5.000 | 2.039 | 2.091 | 2.000 | 3.896 | 1.571 | 1.182 | 2.792 | 2.377 | 2.922 | V    |
| C8               | 0.024 | 1.610 | 3.195 | 6.537 | 3.293 | 2.780 | 2.000 | 4.854 | 0.415 | 2.561 | 3.780 | 2.220 | 2.756 | VIII |
| <i>p</i> =       | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |      |
| <b>Mayo</b>      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| C1               | 2.163 | 2.918 | 3.612 | 2.000 | 2.122 | 3.367 | 2.041 | 2.959 | 3.735 | 0.122 | 0.612 | 2.673 | 3.980 | IV   |
| C2               | 1.766 | 2.362 | 3.383 | 2.532 | 1.766 | 2.021 | 2.830 | 2.851 | 1.447 | 0.064 | 2.447 | 1.851 | 2.128 | II   |
| C3               | 0.571 | 2.571 | 1.889 | 2.048 | 0.810 | 1.270 | 2.000 | 1.429 | 2.270 | 0.206 | 0.413 | 1.048 | 2.746 | I    |
| C4               | 0.045 | 4.909 | 7.466 | 1.602 | 2.102 | 3.114 | 1.432 | 5.364 | 0.148 | 2.057 | 2.341 | 2.898 | 4.330 | V    |
| C5               | 0.903 | 3.544 | 4.680 | 2.068 | 1.893 | 2.670 | 2.078 | 3.505 | 1.612 | 1.126 | 1.573 | 2.126 | 3.282 | III  |
| <i>p</i> =       | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |      |

GC: Grado de Contaminación

El análisis *k*-medias reconoció diversos grupos por mes de muestreo (Tabla 7) y el grado de contaminación fue representado en mapas (Fig. 6). Para la construcción de los clústeres, algunos compuestos fueron removidos como variables durante los

análisis *k*-medias, por aportar escasa o nula información. Las lobinas colectadas en S4 presentaron el mayor grado de contaminación durante el período de muestreo (Fig. 6) y los clústeres asociados fueron diciembre (C3), enero (C3), febrero (C2), marzo (C2), abril (C2) y mayo (C3), todos con presencia de AMZ. Los sitios S4 y S5 registraron mayor concentración en diciembre con predominancia de MAL, P-MET y PAR. El S3 presentó dos picos de contaminación: marzo y abril, ambos con altas concentraciones de AME, AMZ, ETN, MPS, P-MET, PAR, PFN y TZL. El S5 registró mayor contaminación en diciembre, pero los meses restantes presentaron la concentración más baja y menor variedad de contaminantes. El S1 exhibió un grado bajo de contaminación de lobinas de enero a abril, aunque con picos de contaminación en mayo por ETN, P-MET, PML, TZL y TBN.

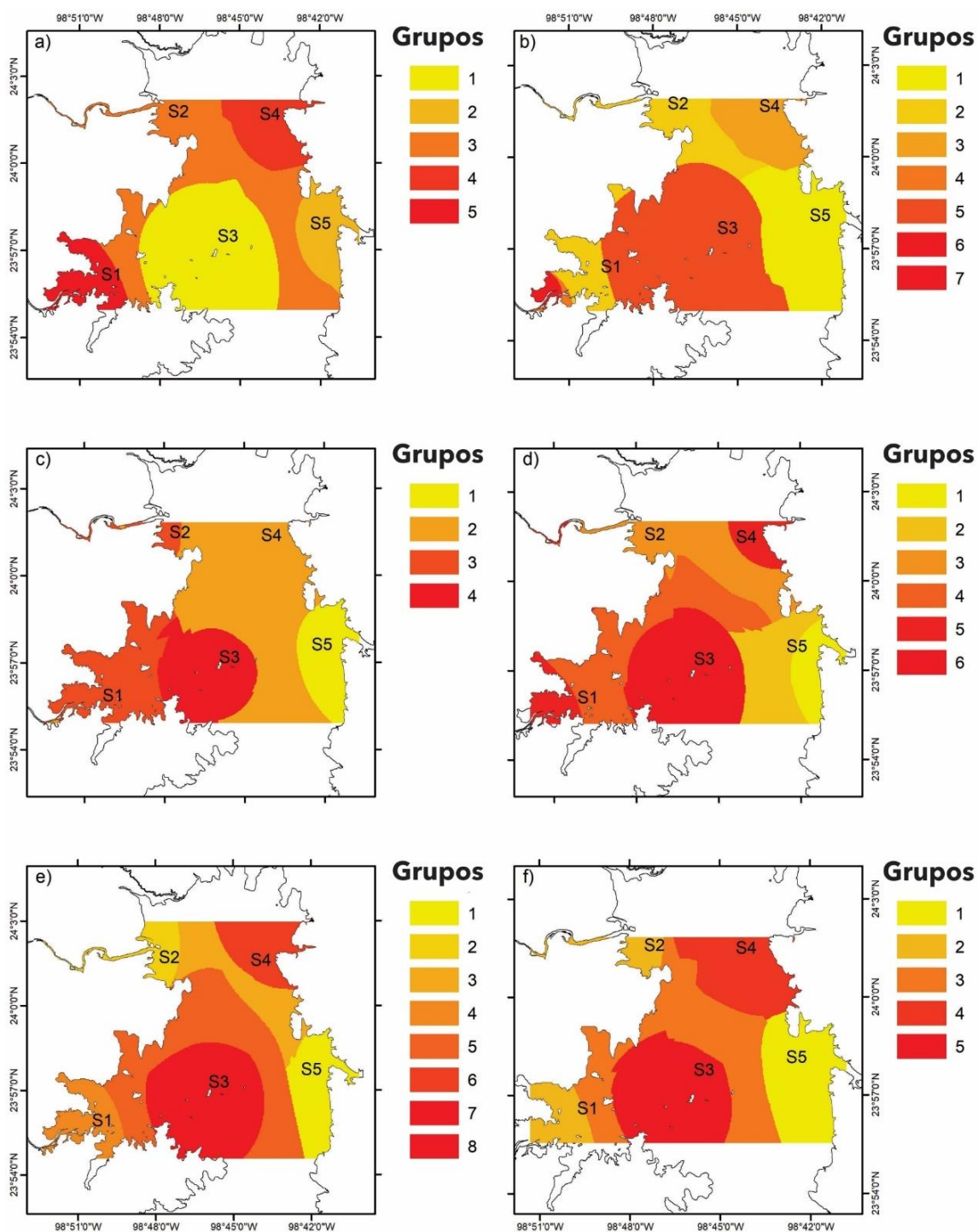


Figura 4. Clasificación de sitios por grado de contaminación de sedimento en la presa "Vicente Guerrero": a) diciembre, b) enero, c) febrero, d) marzo, e) abril, f) mayo. S1, S2, S3, S4, S5 descritos en Cuadro I.

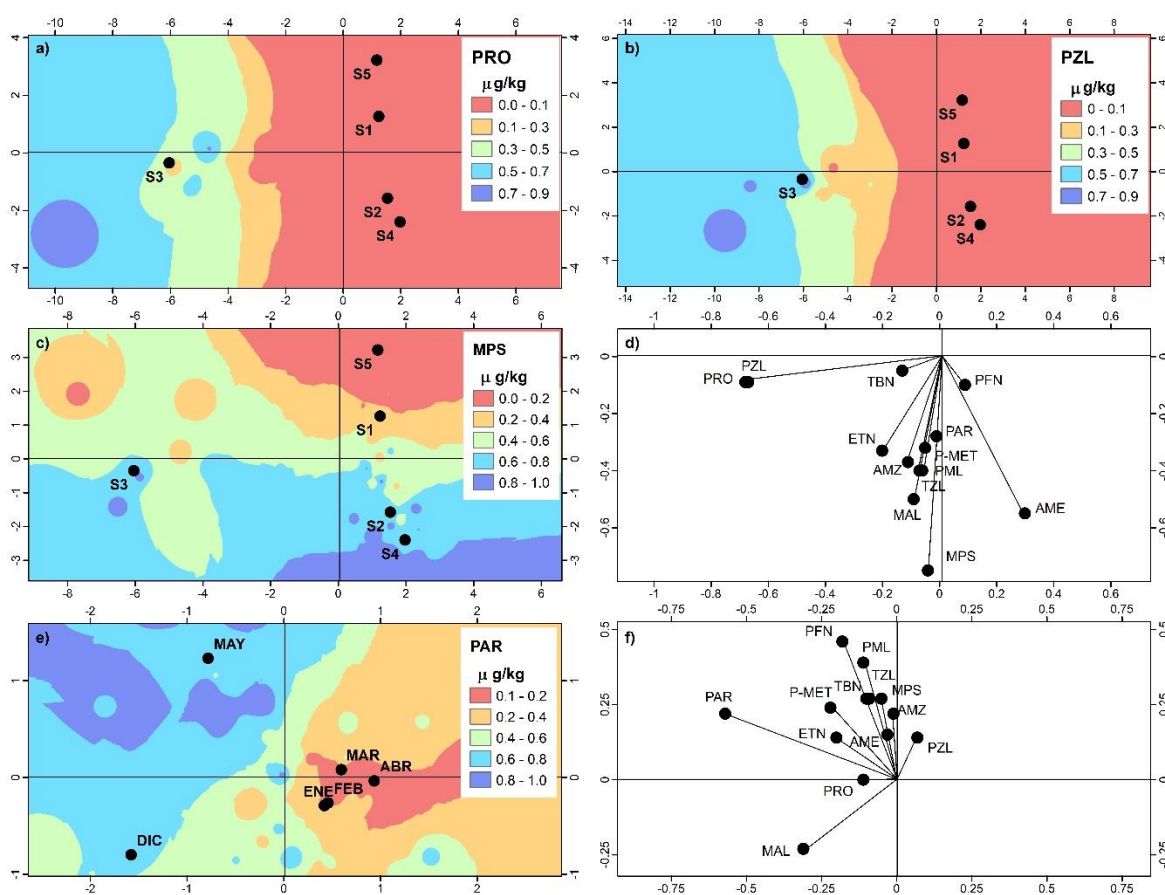


Figura 5. Funciones Discriminantes en tejido de lobina. Análisis espacial, distribución de las variables más significativas a) PRO b) PZL c) MPS, d) gráfico de la estructura de factores. Análisis temporal, variables más significativas e) PAR y f) gráfico de la estructura de factores.

## DISCUSIÓN

El estudio generó un escenario prospectivo sobre la distribución espacial y temporal de los plaguicidas contenidos en sedimento y lobina en la PVG. La presencia de plaguicidas en los ecosistemas acuáticos, usualmente se vincula a fuentes de contaminación no puntuales de origen antropogénico, como escorrentías o lixiviados (Manahan, 2007). Los residuos encontrados en sedimento y tejido del presente estudio, posiblemente provienen de productos plaguicidas usados en las

zonas agrícolas y ganaderas del centro y oeste de la cuenca hidrológica Río Soto la Marina. Los principales cultivos sembrados en 2019 en la cuenca (SIAP, 2020a) fueron sorgo (35,870 ha), cítricos (32,625 ha), pastizales (9,470 ha) y maíz (8,900 ha); mientras que, en el aprovechamiento pecuario predominó la cría de bovinos con 15,400 t (SIAP, 2020b). Los compuestos AME, ETN, MAL, PAR, P-MET y PRO registrados en sedimento y tejido son utilizados como plaguicidas en cítricos, sorgo y maíz (CICOPLAFEST, 1991; López-Arroyo y Loera-Gallardo, 2009). PML y TBZ son usados para el control fungicida en cítricos (De Liñán, 2009; Rocha-Peña y Peña del Río, 2009). AMZ tiene aplicación en medicina veterinaria en el control de garrapatas de bovinos, ovinos y porcinos (CICOPLAFEST, 1991).

Los ingredientes activos de los plaguicidas detectados cuentan con registro activo o indefinido en México (COFEPRIS, 2020). En cambio, AME, AMZ, ETN, MPS, PAR, P-MET, PRO y PZL están prohibidos o restringidos en Estados Unidos y la Comunidad Europea (AERU, 2017; NIH, 2019), por su relevancia toxicológica. La WHO (2009) clasifica a PAR y P-MET como extremadamente peligrosos (Ia) y a MPS como altamente peligroso (Ib). Adicionalmente, MAL, MPS, PAR, P-MET y PZL están enlistados como Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAN Internacional, 2019). Estas características y otros parámetros de importancia toxicológica, en términos de salud humana y ambiental, se presentan en la tabla 8. La información anterior fue obtenida de Johnson y Finley (1980), WHO (2009), Pesticide Properties Database (PPDB) de la University of Hertfordshire (AERU, 2017), FAO/WHO (2019), National Institutes of Health (NIH, 2019), Pesticide Action Network (PAN International, 2019) y Ecotoxicology Database de la USEPA (ECOTOX, 2020).

Tabla 7. Clústeres por grado de contaminación y centroides generados por el Análisis K-medias para las muestras mensuales de músculo de lobina, presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México.

| Grupos    | AME   | AMZ   | ETN   | MAL   | MPS   | P-MET | PAR   | PML   | PFN   | PRO   | PZL   | TZL   | TBN   | GC  |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Diciembre |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
| C1        | 0.000 | 0.750 | 0.417 | 0.417 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | –     | 1.000 | 0.333 | II  |
| C2        | 0.154 | 0.038 | 0.269 | 1.000 | 0.577 | 0.731 | 0.500 | 0.462 | 0.000 | 0.077 | –     | 0.000 | 0.000 | I   |
| C3        | 0.188 | 0.875 | 0.813 | 0.938 | 0.313 | 0.938 | 0.969 | 0.000 | 0.156 | 0.031 | –     | 0.594 | 0.844 | III |
| p=        | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.005 | 0.192 | –     | 0.001 | 0.001 |     |
| Enero     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
| C1        | –     | 0.300 | 0.200 | 0.000 | 0.000 | 0.200 | 0.800 | 0.000 | –     | –     | –     | 0.000 | 0.000 | I   |
| C2        | –     | 0.200 | 0.840 | 0.680 | 0.040 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | –     | –     | –     | 0.080 | 0.360 | II  |
| C3        | –     | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.875 | 0.375 | 1.000 | –     | –     | –     | 1.000 | 0.750 | IV  |
| C4        | –     | 1.000 | 0.824 | 0.647 | 0.588 | 0.059 | 0.000 | 0.118 | –     | –     | –     | 0.765 | 0.118 | III |
| p=        | –     | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | –     | –     | –     | 0.001 | 0.001 |     |
| Febrero   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
| C1        | 0.038 | 0.423 | 0.192 | 0.769 | 0.385 | 0.038 | 0.115 | 0.192 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.077 | 0.000 | I   |
| C2        | 0.174 | 1.000 | 0.870 | 1.000 | 0.783 | 0.870 | 0.913 | 0.565 | 0.087 | 0.000 | 0.000 | 0.261 | 0.217 | III |
| C3        | 0.000 | 1.000 | 1.000 | 0.083 | 0.667 | 0.000 | 0.083 | 0.167 | 0.000 | 0.583 | 0.417 | 0.917 | 0.167 | II  |
| p=        | 0.016 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.115 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 |     |
| Marzo     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
| C1        | 0.000 | 0.667 | 0.500 | 0.125 | 0.250 | 0.083 | 0.458 | 0.083 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.083 | 0.833 | I   |
| C2        | 0.533 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.667 | 0.467 | 0.133 | 0.067 | 0.067 | 0.867 | 1.000 | III |
| C3        | 0.000 | 0.795 | 0.436 | 0.872 | 0.795 | 0.026 | 0.590 | 0.949 | 0.000 | 0.077 | 0.231 | 0.692 | 1.282 | II  |
| p=        | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.008 | 0.089 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |     |
| Abril     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
| C1        | 0.154 | 0.923 | 0.000 | 0.538 | 0.731 | 0.423 | 0.000 | 0.423 | 0.000 | –     | –     | 0.846 | 0.000 | I   |
| C2        | 0.214 | 1.000 | 0.679 | 0.500 | 0.964 | 0.464 | 0.857 | 1.000 | 0.107 | –     | –     | 1.000 | 0.321 | II  |
| p=        | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.027 | –     | –     | 0.001 | 0.001 |     |
| Mayo      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
| C1        | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 1.000 | 0.182 | 1.000 | 3.455 | –     | –     | 1.000 | 0.000 | II  |
| C2        | 0.057 | 0.971 | 1.000 | 0.743 | 0.800 | 0.886 | 1.000 | 1.000 | 0.486 | –     | –     | 1.000 | 1.571 | III |
| C3        | 1.000 | 1.000 | 0.231 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.769 | 1.000 | 1.692 | –     | –     | 1.000 | 0.308 | IV  |
| C4        | 0.000 | 0.611 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.833 | 0.222 | 0.222 | 0.556 | –     | –     | 0.111 | 0.778 | I   |
| p=        | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | –     | –     | 0.001 | 0.001 |     |

GC: Grado de Contaminación

El listado de plaguicidas autorizados en México requiere ser revisado y actualizado, con el objetivo de prohibir o restringir el comercio y uso de los compuestos que provocan daño o riesgo ambiental y a la salud pública, con respecto a los estándares internacionales.

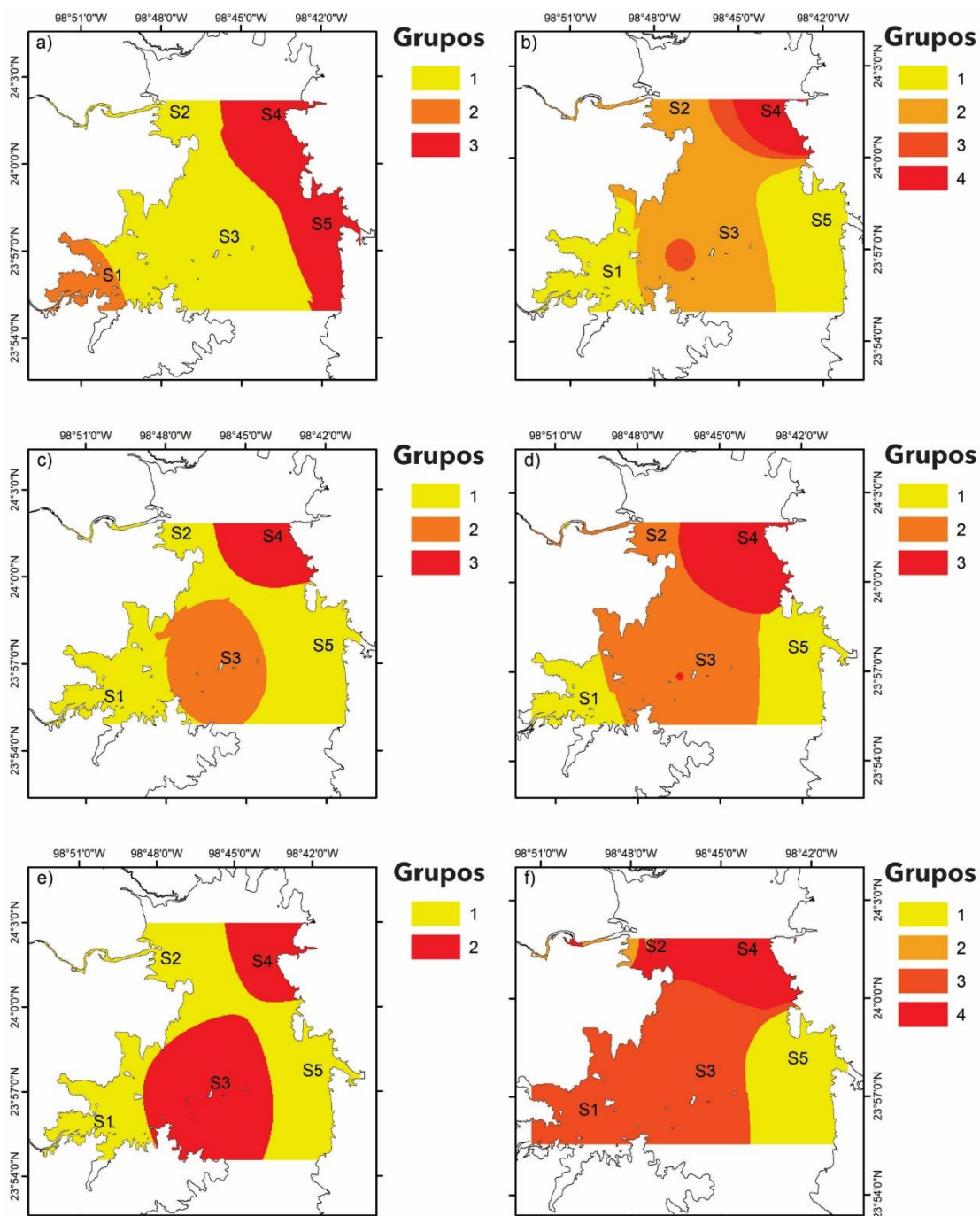


Figura 6. Clasificación de sitios por grado de contaminación de tejido de lobina en la presa "Vicente Guerrero": a) diciembre, b) enero, c) febrero, d) marzo, e) abril, f) mayo. S1, S2, S3, S4, S5 descritos en Cuadro I.

Tabla 8. Parámetros de importancia ecotoxicológica de los plaguicidas encontrados en la presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México

| Compuesto | BAF <sup>1</sup> | BCF <sup>1</sup> | Persistencia <sup>1</sup> |         | Solubilidad <sup>1</sup><br>Agua 20° C | Koc <sup>1</sup><br>(mL/g) | Aprobado<br>para uso <sup>2</sup> | C.P. <sup>3</sup> | PAP <sup>4</sup> | E.S. <sup>1</sup> |
|-----------|------------------|------------------|---------------------------|---------|----------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
|           |                  |                  | AqPh                      | AqHyd   |                                        |                            |                                   |                   |                  |                   |
| AME       | 2.63             | 8.3              | Estable UV                | Estable | 200                                    | 389.5                      | NA                                |                   |                  | -                 |
| AMI       | 5.5              | 1,838            | Estable UV                | 1       | 0.1                                    | 1,000                      | NA                                |                   |                  | D.E.(p)           |
| ETN       | 5.07             | 1,600            | Estable                   | 146     | 2                                      | 15,435                     | NA                                |                   |                  | D.E.(p)           |
| MAL       | 2.75             | 103              | 98                        | 6.2     | 148                                    | 1,800                      | A                                 |                   | *                | C(p)              |
| MPS       | -0.79            | 3.1              | 90                        | 5       | 200,000                                | 5                          | NA                                | lb                | *                | G, D.E.(p)        |
| P-MET     | 3                | 71-959           | 9                         | 21      | 55                                     | 366-1,516                  | NA                                | la                | *                | D.E.(p), C(p)     |
| PAR       | 3.83             | 63-462           | 30                        | 260     | 12.4                                   | 7,660                      | NA                                | la                | *                | D.E., G C(p)      |
| PML       | 2.84             | 31               | Estable                   | Estable | 110                                    | 835                        | A                                 |                   |                  | C(p)              |
| PFN       | 5.37             | 1,620            | 11.5                      | Estable | 0.37                                   | 1.2 x 10 <sup>5</sup>      | A                                 |                   |                  | D.E.(p)           |
| PRO       | 5.7              | 4,890            | 13.2                      | 75      | 0.215                                  | 50,491                     | NA                                |                   |                  | D.E., C(p)        |
| PZL       | 3.72             | 116              | Estable                   | 53.5    | 150                                    | 1,086                      | NA                                |                   | *                | D.E.(p), C(p)     |
| TZL       | 2.47             | 20               | 1.2                       | 203     | 30                                     | 3,983                      | A                                 |                   |                  | C(p)              |
| TBN       | 4.5              | 540              | 2.7                       | 80      | 0.61                                   | 2,287                      | A                                 |                   |                  | D.E.(p)           |

BAF: Factor de Bioacumulación (LogK<sub>ow</sub>), BCF: Factor de Bioconcentración, AqPh: Fotólisis en medio acuoso DT50(pH 7), AqHyd: Hidrólisis en medio acuoso (DT50 20° C y pH7), Koc: Coeficiente de adsorción en suelo, C.P.: Categoría de Peligrosidad, PAP: Plaguicidas Altamente Peligrosos, E.S.:Efectos sobre la Salud, D.E.: Disruptor Endocrino, C: Carcinógeno, G: Genotóxico, p: Posible.

<sup>1</sup>University of Hertfordshire (2017), National Institutes of Health (2019), ECOTOX U.S. EPA (2020).

<sup>2</sup>Aprobados por USEPA y UE, NA: No Aprobado, A: Aprobado.

<sup>3</sup>WHO (2009).

<sup>4</sup>Plaguicidas Altamente Peligrosos enlistados por PAN International (2019) y FAO/WHO (2019)

### ***Distribución Espacio-Temporal de Plaguicidas en Sedimentos***

Los sedimentos tienen una función importante en el transporte de diversos contaminantes de los cuerpos de agua, en suspensión o como carga de fondo. Este último definido por Hernández-Azúnaga (2005) como el transporte de partículas a causa del rodamiento o deslizamiento. La movilidad del plaguicida con el sedimento se da por un proceso físico-químico de afinidad entre la estructura química del compuesto y la carga de la superficie del sustrato (Hanningan *et al.*, 2018; AERU, 2019), conocido como adsorción (K<sub>oc</sub>, Adams, 1973). El K<sub>oc</sub> o coeficiente de adsorción, se relaciona directamente con la lipofilicidad del compuesto (Delle Site, 2001) y el contenido de materia orgánica del sustrato (Nicholls, 1988). Los valores

de referencia de  $K_{oc}$  de los plaguicidas detectados mostrados en la tabla 8 sugiere que 11 plaguicidas presentes en sedimento podrían presentar ligera o nula movilidad ( $K_{oc}= 835 - 1.2 \times 10^5$ ). El ETN, PAR, PFN, y PRO registraron los valores más altos de  $K_{oc}$ , valores teóricos de vida media (DT50) de 146 a 206 d por hidrólisis en fase acuosa (a 20 °C y pH 7) y poca susceptibilidad a la fotólisis. La posible estabilidad, persistencia y poca solubilidad (0.21 - 2.00 mg/L), estarían relacionadas con la frecuencia y alta concentración en sedimento de los cuatro plaguicidas descritos. Sharom *et al.* (1980) analizaron la adsorción de ETN y PAR en tres tipos de sustrato, descubrieron que ETN fue adsorbido con mayor fuerza que PAR ( $K_{foc}=2818$  y 741, respectivamente) en sustratos sedimentarios. Además, los autores resaltaron la correlación existente entre la capacidad de desorción de los compuestos y su solubilidad, por lo que la insolubilidad de ambos plaguicidas facilitó su persistencia en sedimentos e incrementó el potencial toxicológico en el ecosistema acuático.

Las diferencias espaciales observadas en los plaguicidas de sedimento, podrían estar relacionados con los usos de suelo agrícola y ganadero que se desarrollan dentro de la cuenca hidrológica. La presencia continua de AME, AMZ, MAL, P-MET, PAR y PRO en los sedimentos provenientes de los sitios agrícolas que desfogan por el río Corona (S1) sugiere influir en el aporte de contaminantes de la presa. Esta dinámica de los sedimentos habría sido observada por Hernández-Antonio y Hansen (2011), al notar la correspondencia entre los plaguicidas usados en las zonas agrícolas cercanas a los tributarios y los encontrados en sedimentos de escorrentías permanentes.

La movilidad y variación en la concentración de compuestos en los sedimentos de la PVG, presentan condiciones similares a las observadas en otros cuerpos lénticos. Murdoc y Azcue (1995) señalaron que la deposición de partículas con alta capacidad de adsorción suele presentarse en las zonas profundas de los embalses con poca corriente, como se observa en el centro de la PVG (S3). En las profundidades del embalse la escasa luminosidad reduce la biomasa y la actividad microbiana, lo que disminuye su capacidad y velocidad de degradación de compuestos (Nicholls, 1988). Adicionalmente, en S3 convergen las avenidas de S1 y S2, lo que podría propiciar mayor complejidad en la composición de plaguicidas, como lo sugieren Agudelo *et al.* (2013) al relacionar el incremento de plaguicidas en sedimentos arcillosos con alto contenido de materia orgánica, depositados en zonas de confluencia de corrientes.

La zona de desfogue de la presa o cortina (S5) registró el menor grado de contaminación por plaguicidas, posiblemente debido a el tiempo transcurrido y la disminución de materia orgánica en los sedimentos de esta zona que contribuyeron a la desorción de plaguicidas. Hanningan (2018) demostró que, con el paso del tiempo, la estructura química de los compuestos cambia y modifica la solubilidad y estabilidad de los plaguicidas. Carreño *et al.* (2018) observaron la degradación del contenido de carbono orgánico total (COT) en sedimentos de salida de un embalse en relación con los de entrada (0.8 % vs. 6.2 %, respectivamente). La capacidad de adsorción de los compuestos se redujo y mejoró la calidad de los sedimentos en el sitio. Estos principios han influido en los procesos que acompañan el tratamiento de

aguas residuales, principalmente la degradación de plaguicidas y otros compuestos orgánicos (Garrido-Cárdenas *et al.*, 2019).

La variación temporal de plaguicidas en sedimento puede relacionarse con la fenología de los cultivos y la periodicidad con que se realiza el control químico de plagas agrícolas. La presencia de PRO durante los seis meses de muestreo, posiblemente se asocia al control químico de ácaros en diversas etapas fenológicas de cítricos (López-Arroyo y Loera-Gallardo, 2009) y maíz (De Liñán, 2009). Algunas variedades de cítricos cultivadas en la región, como la naranja “Valencia”, presentan fructificación continua durante el año (Mata-Vázquez, 2013); por lo tanto, la aplicación de agroquímicos podría ser permanente. El sorgo es el cultivo de mayor superficie dentro de la cuenca y presenta dos ciclos en el año, primavera-verano y otoño-invierno (SIAP, 2020a), de manera que, la aplicación de AME, ETN, MAL, PAR, P-MET y PRO podría comprender una superficie extensa en ambos ciclos de cultivo. Sin embargo, se desconoce la variación de uso plaguicidas entre ambos períodos de siembra.

### ***Distribución Espacio-Temporal de Plaguicidas en Tejido de Lobina***

El tejido muscular de peces ha sido señalado como reservorio de contaminantes de origen orgánico (Kolanczyk *et al.*, 2018; Arisekar *et al.*, 2019) y de metales pesados (Foster *et al.*, 2000). La presencia de plaguicidas en organismos acuáticos de la PVG ha sido poco estudiada. El análisis realizado por Uresti *et al.* (2008) en cuatro especies de peces de este embalse descubrió la presencia de plaguicidas

organoclorados (aldrin, endrin, clordano, mirex, heptaclor, DDT, DDE y DDD). La mayor concentración de plaguicidas fue registrada en lobina negra (*Micropterus salmoides*) y bagre (*Ictalurus punctatus*) con valores medios de 0.97 a 41.40 ng/g y de 0.93 a 212.31 ng/g, respectivamente.

El S4 registró el grado más alto de contaminación en lobinas durante los seis meses. Las variaciones temporales en la concentración de plaguicidas sólo fueron significativas en diciembre y mayo, mismas que podrían estar relacionadas con la variación estacional de los hábitos alimentarios de las lobinas. Diversos estudios afirman que la lobina es un depredador oportunista con marcadas variaciones en su alimentación a lo largo del año (Cochran y Adelman, 1982; Rodríguez-Jiménez, 1989). Aloo y Dadzie (1995) observaron la ingesta de insectos, peces pequeños y vegetación acuática durante el invierno; mientras que, en primavera se incrementó el consumo de peces de diversas tallas, insectos y ranas. Estos cambios en los patrones de alimentación de la lobina comúnmente están influenciados por los eventos migratorios de las presas, originados por las diferencias estacionales en los niveles y temperatura del agua de los embalses (Torres-Morales, 2000).

La totalidad de compuestos detectados en el tejido de lobina, también fueron encontrados en los sedimentos de la PVG en mayor concentración. Los sitios muestreados al centro (S3) y Este (S4) del embalse, registraron la mayor variedad y concentración de plaguicidas, tanto en sedimentos (Tabla 6), como en tejido de lobina (Tabla 7). Adicionalmente, los compuestos predominantes en sedimentos (AMZ, ETN, PAR, PFN y PRO), lo fueron también en las lobinas. Las propiedades lipofílicas de estos compuestos, asociadas a la estabilidad y persistencia en el caso

de los sedimentos, podrían estar relacionadas con su presencia en los tejidos de la lobina.

Los compuestos AMZ, ETN, PAR, PFN y PRO presentan valores teóricos altos respecto a los Factores de Bioconcentración (BCF=1838, 1600, 462, 1620 y 4890, respectivamente) y Bioacumulación (BAF= 5.5, 5.07, 3.83, 5.37 y 5.7), que sugieren gran potencial para ser bioacumulados en los tejidos de las lobinas (Tabla 8). El BCF estima la capacidad de un compuesto para concentrarse en tejidos de organismos acuáticos, a partir del agua (Streit, 1998; Larisch y Goss, 2018). El BAF está determinado por la lipofilidad del compuesto, expresada por el  $\log_{10}$  del coeficiente de partición n-octanol/agua (Log  $K_{ow}$ , Hanningan *et al.*, 2018), el cual considera la suma de la bioconcentración y los químicos ingeridos en alimentos (Dodds y Whiles, 2020). Los compuestos con elevado Log  $K_{ow}$ , regularmente son bioacumulados en tejidos de constitución lipídica en peces como vísceras, grasa subdérmica y músculo comestible (García-Hernández *et al.*, 2018; Kolanczyk *et al.*, 2018). Por lo tanto, la estructura química y las propiedades lipofílicas de los plaguicidas, podrían ser considerado como los factores de mayor importancia en el proceso de bioacumulación (Maund *et al.*, 1997).

La bioacumulación de plaguicidas en organismos acuáticos, ha sido asociada a la presencia de estos compuestos en alguno de los compartimientos ambientales (Arisekar *et al.*, 2019) y su posible traslocación en las redes tróficas (Tsaboula *et al.*, 2016). Algunos estudios señalan la bioacumulación de compuestos desde los sedimentos a niveles tróficos superiores, por medio del consumo de organismos bentónicos (Burgess *et al.*, 2013; Ccancapa *et al.*, 2016), lo que podría generar

ecotoxicidad dentro del ecosistema acuático de la PVG (Maund *et al.*, 1997). Los efectos e impactos de los plaguicidas transportados a los cuerpos de agua han sido documentados en diversos estudios, que confirman los efectos letales y subletales sobre la vida acuática (Boyle *et al.*, 1996; Peters *et al.*, 2013; Hua y Relyea, 2014; Whitmore *et al.*, 2015; Jayaraj *et al.*, 2016; Jia *et al.*, 2018; Rahman *et al.*, 2020) y la salud humana (Taxvig *et al.*, 2013; Goldman *et al.*, 2017; Sabarwal *et al.*, 2018). Particularmente, *Micropterus salmoides* ha registrado mortalidad a la exposición de ETN y PAR con LC<sub>50</sub> que van de 0.5 a 173 mg/L y de 0.5 a 620 mg/L, respectivamente (Weiss, 1961; Munn *et al.*, 2006). Adicionalmente, *M. salmoides* ha presentado efectos subletales a nivel hormonal y reproductivo por la exposición a plaguicidas organoclorados (Johnson, 2005); así como, cambios fisiológicos y conductuales debido a la inhibición de la acetilcolinesterasa cerebral por exposición a plaguicidas organofosforados (Pan y Dutta, 1998).

## CONCLUSIONES

El estudio de sedimento y tejido de lobina, en la PVG, detectó la presencia de 13 plaguicidas, cinco de ellos de importancia ecotoxicológica. Las variaciones espaciales y temporales de los plaguicidas en sedimento fueron significativas para todos los sitios y meses del estudio. Estas variaciones parecen estar asociadas al control químico aplicado por las actividades agrícola y ganadera desarrolladas dentro de la cuenca hidrológica. Las variaciones espacio-temporales de los plaguicidas en tejido de lobina, pueden estar relacionadas con la variación

estacional de hábitos alimentarios de la lobina, las cuales fueron significativas sólo en diciembre y mayo. Las zonas del embalse que registraron la mayor variedad y concentración de plaguicidas en sedimentos y tejido de lobina, se localizaron hacia la región central y Este de la presa. La cortina o vertedero fue la zona que presentó el menor grado de contaminación, tanto en sedimentos como en lobinas. Los plaguicidas AME, ETN, MAL, PAR, PFN y PRO fueron predominantes en ambos tipos de muestra; lo anterior, podría estar relacionado con sus propiedades lipofílicas que favorecen la adsorción en sedimentos y la bioacumulación en el tejido de lobina a través de la estructura trófica de la PVG.

Los resultados también representan una alerta para las autoridades sanitarias, pues los productos pesqueros y las aguas del embalse son consumidos por las comunidades aledañas; ambos son problemas probables para la salud humana. Por lo anterior, se sugieren análisis futuros para determinar la presencia de plaguicidas en agua y en otros niveles tróficos de la PVG, para determinar la ruta y el destino ambiental de los compuestos utilizados en los aprovechamientos agropecuarios adyacentes a la misma. Adicionalmente, se requirieron estudios de riesgo toxicológico para identificar los efectos de los plaguicidas encontrados sobre la salud humana debido al consumo de productos acuícolas y agua provenientes del embalse.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams RSJr (1973) Factors influencing soil adsorption and bioactivity of pesticides. pp. 1-54. *In: Residue Review*. Gunther FA, JD Gunther (Eds) Vol. 47 Springer-Verlag. Nueva York, EUA. 200 p.
- AERU (2017) The Pesticide Properties Database (PPDB). Agruculture & Environmental Research Unit at the University of Hertfordshire. Disponible: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm#P>. Fecha: Julio 26, 2018.
- AERU (2019) General chemical properties related to environmental fate. Agruculture & Environmental Research Unit at the University of Hertfordshire. Disponible: [https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/docs/2\\_3.pdf](https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/docs/2_3.pdf). Fecha: Abril 05, 2019.
- Agudelo DM, MT Flóres, C López, J Palacio (2013) Influencia de las condiciones fisicoquímicas del sedimento y la interfase agua - sedimento en la transferencia experimental del 0,0 - dietil O - 3,5,6 tricloro - 2 - piridinil fosforotato (clorpirifós) y el 3,5,6 tricloro - 2 - piridinol (TCP), en el embalse Riogrande II. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* 12(23): 13-22.
- Albert LA, AD Viveros (2019) Plaguicidas y Ambiente. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas para México A.C. Xalapa, Veracruz, México. 335 p.
- Aloo PA, S Dadzie (1995) Diet of the largemouth bass, *Micropterus salmoides* (Lacépède), in Lake Naivasha, Kenya. *Fish Manag Ecol* 2: 43-51.
- Arisekar U, RJ Shakila, G Jeyasekaran, R Shalini, P Kumar (2019) Accumulation of organochlorine and pyrethroid pesticide residues in fish, water, and sediments in the Thamirabarani river system of southern peninsular India. *Environ Nanotechnol Monit Manag* 11: 100194.
- Arriaga-Flores JC, A Rodríguez-Moreno, A Correa-Sandoval, JV Horta-Vega, I Castro-Arellano, J Vázquez-Reyes, CS Venegas-Barrera (2018) Spatial and environmental variation in phyllostomid bat (Chiroptera, Phyllostomidae) distribution in Mexico. *Anim Biodivers Conserv* 41(1): 141-159.
- Arslan H, NA Turan (2015) Estimation of spatial distribution of heavy metals in groundwater using interpolation methods and multivariate statistical techniques; its suitability for drinking and irrigation purposes in the Middle Black Sea Region of Turkey. *Environ Monit Assess* 187(8): 516.
- Banxico (2020) Reporte sobre las Economías Regionales Enero-Marzo 2020. Banco de México. Disponible: <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/reportes-sobre-las-economias-regionales/reportes-economias-regionales.html>. Fecha Julio 26, 2020.
- Bejarano-González F (2017) Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A.C. Texcoco, Estado de México, México. 364 p.
- Boyle TP, JF Fairchild, E Robinson-Wilson, PS Haverland, JA Lebo (1996) Ecological restructuring in experimental aquatic mesocosms due to the application of diflubenzuron. *Environ Toxicol Chem* 15(10): 1806-1814.
- BSI (2008) BS EN 15662:2008. Foods of plants origin – Determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS/MS following acetonitrile extraction/partitioning and clean-up by dispersive SPE QuEChERS-method. British Standards Institution. European Standard. Londres, GB. 82 p.

- Burgess RM, WJ Berry, DR Mount, DM Di Toro (2013) Mechanistic sediment quality guidelines based on contaminants bioavailability: Equilibrium Partitioning Sediment Benchmarks. *Environ Toxicol Chem* 32(1): 102-114.
- Carreño C, G Zarazúa, Ch Fall, P Ávila-Pérez, S Tejeda (2018) Evaluación de la Toxicidad de los Sedimentos del Curso Alto del Río Lerma, México. *Rev Int Contam Ambie* 34(1): 117-126.
- Ccancapa A, A Masiá, A Navarro-Ortega, Y Picó, D Barceló (2016) Pesticides in the Ebro River Basin: occurrence and risk assessment. *Environ Pollut* 211: 414–424.
- Cely-Pulido JW, WL Siabato-Vaca, AH Sánchez-Ipia, AP Rangel-Sotter (2002) Geoestadística Aplicada a Estudios de Contaminación Ambiental. *Ingeniería* 7(2): 31-38.
- Cervantes M (2007) Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México. pp. 37-67. In: Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Sánchez O, M Herzig, E Peters, R Márquez, L Zambrano (Eds) Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). Ciudad de México, México. 293 p.
- Chaudhry AK, K Kumar, MA Alam (2019) Groundwater contamination characterization using multivariate statistical and geostatistical method. *Water Supply* 19(8): 2309-2322.
- CICOPAFEST (1991) Catálogo Oficial de Plaguicidas 1991. Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. Ciudad de México, México. 493 p.
- CNDH (2018) Recomendación No. 82/2018 Sobre la violación a los derechos humanos a la alimentación, al agua salubre, a un medio ambiente sano y a la salud, por el incumplimiento a la obligación general de debida diligencia para restringir el uso de plaguicidas de alta peligrosidad, en agravio de la población en general. Comisión Nacional de los Derechos Humanos. Ciudad de México, México. 165 p.
- Cochran P, IR Adelman (1982) Seasonal aspects of daily ration and diet of largemouth bass, *Micropterus salmoides*, with an evaluation of gastric evacuation rates. *Env Biol Fish* 7(3): 265-275.
- COFEPRIS (2020) Consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y LMR. Comisión Federal de Protección contra Riesgos Sanitarios. Disponible: <http://siipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>. Fecha: Enero 14, 2020.
- CONAGUA (2015) Atlas de Agua en México. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, México. 137 p.
- Damalas C, IG Eleftherohorinos (2011) Pesticide Exposure, Safety Issues and Risk Assessment Indicators. *Int J Environ Res Pub Health* 8(5): 1402-1419.
- David V (2017) Data Treatment in Environmental Sciences - Multivaried Approach. Gail F (Ed) Iste Press and Elsevier Ltd. Londres, GB. 163 p.
- De Liñán C (2009) Agroquímicos de México. Editorial TecnoAgrícola de México S.A. de C.V. Ciudad de México, México. 608 p.
- Delle-Site A (2001) Factors Affecting Sorption of Organic Compounds in Natural Sorbent/Water Systems and Sorption Coefficients for Selected Pollutants. A Review *J Phys Chem Ref Data* 30(1): 187-439.

- Dodds WK, M Whiles (2020) Responses to Stress, Toxic Chemicals, and Other Pollutants in Aquatic Ecosystems. pp. 399-436. *In: Freshwater Ecology, Concepts and Environmental Applications of Limnology*. III. Elsevier. Amsterdam, Países Bajos. 998 p.
- Drake VM, JW Bauder (2005) Ground Water Nitrate-Nitrogen Trends in Relation to Urban Development, Helena, Montana, 1971–2003. *Ground Water Monit Remediat* 25(2): 118-130.
- ECOTOX (2020) ECOTOXicology knowledgebase. United States Environmental Protection Agency. Disponible: <https://cfpub.epa.gov/ecotox/>. Fecha: Enero 22, 2020.
- EPA (2017) Pesticides Industry Sales and Usage, 2008-2012 Market Estimates. United States Environmental Protection Agency. Disponible: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-01/documents/pesticides-industry-sales-usage-2016\\_0.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-01/documents/pesticides-industry-sales-usage-2016_0.pdf). Fecha: Febrero 20, 2019
- Ernst F, B Alonso, M Colazzo, L Pareja, V Cesio, A Pereira, A Márquez, E Errico, AM Segura, H Heizen, A Pérez-Parada (2018) Occurrence of pesticides in fish from south American rainfed agroecosystems. *Sci Total Environ* 631-632: 169-179.
- Espinal-Carreón T, JE Sedeño-Díaz, E López-López (2013) Evaluación de la Calidad del Agua en la Laguna de Yuriria, Guanajuato, México, Mediante Técnicas Multivariadas: Un Análisis de Valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. *Rev Int Contam Ambie* 29(3): 147-163.
- ESRI (2016) ArcGIS for Desktop. Environmental Systems Research Institute, Inc. Disponible: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/>. Fecha: Septiembre 18, 2019.
- FAOSTAT (2020) Food and Agriculture data. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Fecha: Enero 12, 2020.
- FAO/WHO (2019) Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas - Directrices sobre los Plaguicidas Altamente Peligrosos. Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization. Roma, Italia. 46 p. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Foster EP, DL Drake, G DiDomenico (2000) Seasonal Changes and Tissue Distribution of Mercury in Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) from Dorena Reservoir, Oregon. *Arch Environ Contam Toxicol* 38: 78-82.
- García-Hernández J, JB Leyva-Morales, ML Martínez-Rodríguez, MI Hernández-Ochoa, ML Aldana-Madrid, AE Rojas-García, M Betancourt-Lozano, NE Pérez-Herrera, JH Perera-Ríos (2018) Especial sobre Contaminación y Toxicología de Plaguicidas. *Rev Int Contam Ambie* 34: 29-60.
- Garrido-Cárdenas JA, B Esteban-García, A Agüera, JA Sánchez-Pérez, F Manzano-Agugliaro (2019) Wastewater Treatment by Advanced Oxidation Process and Their Worldwide Research Trends. *Int J Environ Res Public Health* 17: 170.
- Goldman SM, RE Musgrove, SA Jewell, DA di Monte (2017) Pesticides and Parkinson's Disease: Current Experimental and Epidemiological Evidence. pp. 83-117. *In: Advances in Neurotoxicology, Environmental Factors in Neurodegenerative Diseases*. Aschner M, L. Costa (Eds) Elsevier Academic Press. Massachusetts, EUA. 278 p.
- Hanningan RE, DM Genest, WE Robinson (2018) Chemistry of Natural Waters. pp. 235-259. *In: Green Chemistry an Inclusive Approach*. Török B, T Dransfield (Eds) Elsevier, Amsterdam, Países Bajos. 1058 p.

- Hernández-Antonio A, AM Hansen (2011) Uso de Plaguicidas en Dos Zonas Agrícolas de México y Evaluación de la Contaminación de Agua y Sedimentos. *Rev Int Contam Ambie* 27(2): 115-127.
- Hernández-Azcúnaga L (2005) Dinámica del transporte de sedimentos como carga de fondo en el Alto Golfo de California. Tesis de Maestría. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológico. San Luis Potosí, México. 78 p.
- Heyer L, OG Ramos G, FR De la Garza R, P Rivera O, BI Castro M (2008) Calidad del agua y salud pública en la zona centro de Tamaulipas. *CienciaUAT* 2(4): 46-49.
- Hua J, R Relyea (2014) Chemical cocktails in aquatic systems: Pesticide effects on the response and recovery of >20 animal taxa. *Environ Pollut* 189: 18-26.
- James FC, ChE McCulloch (1990) Multivariate Analysis in Ecology and Systematics: Panacea or Pandora's Box. *Annu Rev Ecol Syst* 21: 129-166.
- Jayaraj R, P Megha, P Sreedev (2016) Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdiscip Toxicol* 9(3-4): 90-100.
- Jia W, L Mao, L Zhang, Y Zhang, H Jiang (2018) Effects of two strobilurins (azoxystrobin and picoxystrobin) on embryonic development and enzyme activities in juveniles and adult fish livers of zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere* 207: 573-580.
- Johnson KG (2005) Dietary exposure to organochlorine pesticides p,p'-DDE and dieldrin and their effects on steroidogenesis and reproductive success in Florida largemouth bass (*Micropterus salmoides floridanus*). Tesis de Maestría. Fisheries and Aquatic Sciences Department, University of Florida. Gainesville, Florida, EUA. 74 p.
- Johnson WW, MT Finley (1980) Handbook of acute toxicity of chemicals to fish and aquatic invertebrates. United States Department of the Interior Fish and Wildlife Service/ Resource Publication 137. Washington, D.C., EUA. 98 p.
- Juang KW, DY Lee, TR Ellsworth (2001) Using Rank-Order Geostatistics for Spatial Interpolation of Highly Skewed Data in a Heavy-Metal Contaminated Site. *J Environ Qual* 30: 894-903.
- Kolanczyk RC, JA Serrano, MA Tapper, PK Schmieder (2018) A comparison of fish pesticide metabolic pathways with those of the rat and goat. *Regul Toxicol Pharmacol* 94: 124-143.
- Larisch W, KU Goss (2018) Uptake, distribution and elimination of chemicals in fish – Which physiological parameters are the most relevant for toxicokinetics? *Chemosphere* 210: 1108-1114.
- López-Arroyo JI, J Loera-Gallardo (2009) Manejo Integrado de Insectos y Ácaros Plaga de los Cítricos. pp. 206-323. *In: El cultivo de los cítricos en el Estado de Nuevo León. Libro Científico No. 1.* Rocha-Peña MA, JE Padrón-Chávez (Eds) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias – CIRNE. General Terán, México. 474 p.
- Manahan SE (2007) Química ambiental de la hidrósfera. pp. 31-97. *In: Introducción a la Química Ambiental.* Durán MC (Ed) UNAM- Editorial Reverté. España. 725 p.
- Mangeaud A (2004) La aplicación de Técnicas de Ordenación Multivariadas en la Entomología. *Rev Soc Entomol Argent* 63(3-4): 1-10.

- Martínez-Valenzuela C, S Gómez-Arroyo, R Villalobos-Pietrini, S Waliszewski, ME Calderón-Segura, R Félix-Gastélum, A Álvarez-Torres (2009) Genotoxic biomonitoring of agricultural workers exposed to pesticides in the north of Sinaloa State, Mexico. *Environ Int* 35: 1155-1159.
- Mata-Vázquez H (2013) Tecnologías y Manejo de la Nutrición para Alto Rendimiento en Cítricos Desarrollados con Fertigación en Tamaulipas. Sistema de Información de Fundaciones Produce. Ejercicio 2013-2014. 28 p.
- Mateo-Sagasta J, SM Zadeh, H Turrall (2017) Water pollution from agriculture: a global review. Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Water Management Institute. Roma, Italia. 35 p.
- Matheron G (1965) Las variables regionalizadas y su estimación. Una aplicación de la Teoría de las Funciones Aleatorias a las Ciencias de la Naturaleza (Traductor Alfaro M). Tesis Doctoral en Ciencias Aplicadas. Faculty of Science, University of Paris. Paris, Francia. 292 p.
- Maund S, I Barber, J Dulka, J González-Valero, M Hamer, F Heimbach, M Marshall, P McCahon, H Staudenmaier, D Wustner (1997) Development and Evaluation of Triggers for Sediment Toxicity Testing of Pesticides with Benthic Macroinvertebrates. *Environ Toxicol Chem* 16(12): 2590 - 2596.
- Munn MD, RJ Gilliom, PW Moran, LH Nowell (2006) Pesticide toxicity index for freshwater aquatic organisms. II. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report. 81 p.
- Murdoch A, JM Azcue (1995) Procedures in Preparation of Sediment Sampling Program. pp. 5-43. In: Manual of Aquatic Sampling. Lewis Publishers, Boca Ratón, EUA. 219 p.
- Nicholls PH (1988) Factors influencing entry of pesticides into soil water. *Pestic Sci* 22: 123-137.
- NIH 2019 PubChem. National Institutes of Health. Disponible: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>. Fecha: Agosto 19, 2019.
- Ongley ED (1996) Pesticides as Water Pollutants. In: Control of Water Pollution from Agriculture - FAO Irrigation and Drainage Paper 55. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- Pan G, HM Dutta (1998) The Inhibition of Brain Acetylcholinesterase Activity of Juvenile Largemouth Bass *Micropterus salmoides* by Sublethal Concentrations of Diazinon. *Environ Res*, Section A 79: 133-137.
- PAN International (2019) PAN International List of Highly Hazardous Pesticides. Pesticide Action Network International. Hamburgo, Alemania. 43 p.
- Peters K, M Bundschuh, RB Schäfer (2013) Review on the effects of toxicants on freshwater ecosystem functions. *Environ Pollut* 180: 324-329.
- Pimentel D, CA Edwards (1982). Pesticides and Ecosystems. *BioScience* 32(7): 595-600.
- Porras-Cerrón JC (2016) Comparación de Pruebas de Normalidad Multivariada. *Anales científicos* 77(2): 141-146.
- Rahman MS, SM Majharul-Islam, A Haque, M Shahjahan (2020) Toxicity of the organophosphate insecticide sumithion to embryo and larvae of zebrafish. *Toxicol Rep* 7: 317-323.

- Rocha-Peña MA, MA Peña del Río (2009) Prevención y Manejo de Enfermedades de Cítricos. pp. 324-356. *In*: El cultivo de los cítricos en el Estado de Nuevo León. Libro Científico No. 1. Rocha-Peña MA, JE Padrón-Chávez (Eds) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias – CIRNE. General Terán, México. 474 p.
- Rodríguez-Jiménez AJ (1989) Hábitos Alimenticios de *Micropterus salmoides* (pisces: Centrarchidae), *Lepomis gibbosus* (pisces: Centrarchidae) y *Gambusia affinis* (pisces: Poeciliidae) en las orillas del Embalse de Proserpina (Extremadura, España). *Limnética* 5: 13-20.
- Sabarwal A, K Kumar, RP Singh (2018) Hazardous effects of chemical pesticides on human health–Cancer and other associated disorders. *Environ Toxicol Pharmacol* 63: 103-114.
- Schenone NF, H Moscuza, E Avigliano, JJ Rosso, E Mabragaña (2014) Plan Estandarizado de Muestreos de Calidad de Agua Superficial. Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables de la Provincia de Misiones – Fundación Bosques Nativos Argentinos para la Biodiversidad. *Argentina*. 29 p.
- SEDER (2019) Ganadería. Secretaría de Desarrollo Rural, Gobierno del Estado de Tamaulipas. Disponible: <https://www.tamaulipas.gob.mx/desarrollorural/temas-del-sector/ganaderia/>. Fecha: Agosto 29, 2019.
- SEMARNAP (1999) Norma Oficial Mexicana NOM-024-PESC-1999. Que establece regulaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros en los embalses de la presa Vicente Guerrero, su derivadora y el canal principal, ubicados en el Estado de Tamaulipas. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación. 9 de febrero de 2000.
- SEMARNAT (2016). Informe de la Situación del Medio Ambiente En México - Compendio de las Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde-Edición 2015. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, México. 470 p.
- Sharom MS, JRW Miles, CR Harris, FL McEwen (1980) Behaviour of 12 insecticides in soil and aqueous suspensions of soil and sediment. *Water Res* 14: 1095-1100.
- SIAP 2020a. Estadística de Producción Agrícola de 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible: [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos\\_a.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php). Fecha: Junio 25, 2020.
- SIAP 2020b. Estadística de Producción Pecuaria de 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible: [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos\\_p.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_p.php). Fecha: Junio 13, 2020.
- Singh KP, A Malik, D Mohan, S Sinha (2004) Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti river (India): a case study. *Water Res* 38: 3980-3992.
- Souza DF, EL Souza, EM Borges (2016) Determination of Pesticides in Grape Juices by QuEChERS and Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *J Braz Chem Soc* 27(9): 1626-1635.
- Streit B (1998) Bioaccumulation of contaminants in fish. pp. 353-387. *In*: Fish Ecotoxicology. Braunbeck T, DE Hinton, B Streit (Eds) Birkhäuser Verlag, Basel, Suiza. 398 p.

- Taxvig C, N Hadrup, J Boberg, M Axelstad, R Bossi, EC Bonefeld-Jørgensen, AM Vinggaard (2013) In vitro - in vivo correlations for endocrine activity of a mixture of currently used pesticides. *Toxicol Appl Pharmacol* 272: 757-766.
- Torres-Morales M (2000) Condición, estructura y relación trófica de la lobina negra *Micropterus salmoides* (Lacepede) en la presa Rodrigo Gómez, "La Boca", Santiago, Nuevo León, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. 108 p.
- Tsaboula A, EN Papadakis, Z Vryzas, A Kotopoulou, K Kintzikoglou, E Papadopoulou-Mourkidou (2016) Environmental and human risk hierarchy of pesticides: A prioritization method, based on monitoring, hazard assessment and environmental fate. *Environ Int* 91: 78-93.
- Uresti-Marín RM, R Santiago-Adame, NE Díaz-Morales, J Gutiérrez-Lozano, M Vázquez. JA Ramírez de León (2008) Evaluación preliminar de la presencia de pesticidas organoclorados en pescados de la Presa Vicente Guerrero (Tamaulipas, México). *Cienc Tecnol Aliment* 6(1): 48-55.
- Vázquez-Sauceda ML, R Pérez-Castañeda, JG Sánchez-Martínez, JL Rábago-Castro (2015) Spatial Analysis of Metal Profiles in Sediments in a Tropical Estuary: A Geostatistical Approach. *Arch Environ Contam Toxicol* 69: 482-493.
- Villatoro M, C Henríquez, F Sancho (2008) Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agron Costarricense* 32(1): 95-105.
- Weiss CM (1961) Physiological Effect of Organic Phosphorous Insecticides on Several Species of Fish. *Trans Am Fish Soc* 90(2): 143-152.
- Whitmore G, C Kunast, R De Graeff (2015) Pesticides and Freshwater Biodiversity, Agricultural Productivity and Water Protection. European Landowners' Organization-European Crop Protection Association. Bruselas, Bélgica. 60 p.
- WHO (2009) The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification. World Health Organization. Stuttgart, Alemania. 81 p.
- Wong DWS (2017) Interpolation: inverse-distance weighting. pp. 1-7. In: The International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment, and Technology. Richardson D, N Castree, MF Goodchild, A Kobayashi, W Liu, RA Marston (Eds) Wiley-Blackwell and the Association of American Geographers. Nueva York, EUA. 8464 p.
- Zijian L, A Jennings A (2018) Global variations in pesticide regulations and health risk assessment of maximum concentration levels in drinking water. *J Environ Manage* 212: 384-394.
- Zubaidah T, N Karnaningroem, A Slamet (2018) K-Means Method for Clustering Water Quality Status on the Rivers of Banjarmasin, Indonesia. *ARPN J Eng Appl Sci* 13(11): 3692-3697.

## ANEXOS

Anexo A. Valores promedio ( $\mu\text{g/kg}$ )  $\pm$  desviación estándar de los plaguicidas encontrados en sedimento y músculo de lobina en la presa "Vicente Guerrero", Tamaulipas, México.

| Compuesto      | Sedimento (n=33)  | Tejido (n=28)     | Compuesto       | Sedimento (n=33)  | Tejido (n=28)     |
|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| Acetamiprid    | 0.683 $\pm$ 1.584 | 0.156 $\pm$ 0.317 | Epoxiconazol    | 0.080 $\pm$ 0.439 | N.D.              |
| Clorpirifós    | 0.044 $\pm$ 0.246 | N.D.              | Imazalil        | 0.830 $\pm$ 1.898 | 0.126 $\pm$ 0.267 |
| Diazinón       | 0.071 $\pm$ 0.390 | N.D.              | Metalaxil       | 1.188 $\pm$ 1.678 | 0.213 $\pm$ 0.303 |
| Dimetoato      | 1.212 $\pm$ 1.622 | 0.252 $\pm$ 0.350 | Propiconazol    | 1.364 $\pm$ 1.955 | 0.109 $\pm$ 0.244 |
| Etión          | 1.960 $\pm$ 0.952 | 0.452 $\pm$ 0.289 | Pirimetani      | 2.857 $\pm$ 2.505 | 0.443 $\pm$ 0.297 |
| Fentión        | 0.652 $\pm$ 0.868 | 0.273 $\pm$ 0.789 | Piriproxifen    | 1.713 $\pm$ 1.299 | 0.374 $\pm$ 0.781 |
| Malatión       | 3.592 $\pm$ 2.492 | 0.484 $\pm$ 0.308 | Tiabendazol     | 2.732 $\pm$ 2.238 | 0.457 $\pm$ 0.320 |
| Metamidofós    | 1.462 $\pm$ 1.058 | 0.450 $\pm$ 0.309 | Trifloxystrobin | 1.886 $\pm$ 1.322 | 0.506 $\pm$ 0.906 |
| Paratión       | 2.014 $\pm$ 0.750 | 0.500 $\pm$ 0.262 | Ametrina        | 1.270 $\pm$ 1.140 | 0.279 $\pm$ 0.314 |
| Paratión metil | 1.698 $\pm$ 1.145 | 0.430 $\pm$ 0.322 | Amitraz         | 2.394 $\pm$ 1.220 | 0.518 $\pm$ 0.293 |
| Aldicarb       | 0.918 $\pm$ 1.410 | 0.162 $\pm$ 0.246 | Diflubenzurón   | 0.781 $\pm$ 1.557 | 0.144 $\pm$ 0.262 |
| Fenoxicarb     | 0.403 $\pm$ 0.903 | 0.079 $\pm$ 0.164 | Etoxazol        | 0.363 $\pm$ 0.782 | 0.109 $\pm$ 0.237 |
| Metiocarb      | 0.379 $\pm$ 0.910 | 0.127 $\pm$ 0.291 | Imidacloprid    | 0.381 $\pm$ 0.893 | 0.115 $\pm$ 0.251 |
| Oxamyl         | 0.264 $\pm$ 1.008 | N.D.              | Metoxifenoazida | 0.579 $\pm$ 1.236 | 0.131 $\pm$ 0.270 |
| Pirimicarb     | 1.226 $\pm$ 1.685 | 0.255 $\pm$ 0.341 | Propargita      | 0.556 $\pm$ 1.220 | 0.105 $\pm$ 0.233 |
| Pyraclostrobin | 0.091 $\pm$ 0.502 | N.D.              | Tiametoxam      | 0.490 $\pm$ 1.208 | 0.091 $\pm$ 0.220 |
| Difenoconazol  | 0.440 $\pm$ 0.984 | 0.138 $\pm$ 0.289 |                 |                   |                   |

N.D.: No detectado

Anexo B. Ponderación de criterios de clasificación química y toxicológica de los plaguicidas detectados en sedimento y tejido muscular de lobina en la presa “ Vicente Guerrero” , Tamaulipas, México.

| FRECUENCIA        |   |   |         | IMPACTO           |          |              |      |     |              |       |     |              |       |        |         |
|-------------------|---|---|---------|-------------------|----------|--------------|------|-----|--------------|-------|-----|--------------|-------|--------|---------|
| Compuesto         | S | M | Estatus | Destino Ambiental |          | Ecotoxicidad |      |     | Salud Humana |       |     | Suma Impacto |       |        |         |
|                   |   |   |         | BAF               | Persist. | Degrad.      | Mov. | BCF | Mamif.       | Peces | OMS |              | Carc. | Mutag. | Reprod. |
| Acetamiprid       | 1 | 1 | 1       | 1                 | 4        | 1            | 3    | 1   | 2            | 2     | 0   | 1            | 0     | 18     | 1       |
| Aldicarb          | 2 | 2 | 4       | 1                 | 2        | 1            | 4    | 1   | 1            | 3     | 4   | 2            | 1     | 26     | 3       |
| Ametrina          | 4 | 4 | 4       | 1                 | 3        | 1            | 3    | 1   | 1            | 1     | 2   | 1            | 1     | 20     | 2       |
| Amitraz           | 5 | 5 | 4       | 4                 | 4        | 1            | 2    | 2   | 1            | 1     | 2   | 0            | 1     | 24     | 3       |
| Clorpirifós       | 1 | 0 | 1       | 4                 | 3        | 2            | 1    | 2   | 4            | 4     | 2   | 0            | 1     | 28     | 4       |
| Diazinón          | 1 | 0 | 4       | 4                 | 4        | 1            | 2    | 2   | 4            | 3     | 2   | 1            | 1     | 29     | 4       |
| Difenoconazol     | 1 | 1 | 1       | 4                 | 4        | 4            | 0    | 2   | 4            | 4     | 2   | 2            | 1     | 30     | 4       |
| Diflubenzurón     | 2 | 2 | 1       | 4                 | 4        | 1            | 0    | 2   | 1            | 3     | 1   | 0            | 0     | 17     | 1       |
| Dimetoato         | 3 | 2 | 1       | 1                 | 4        | 1            | 0    | 1   | 4            | 3     | 2   | 2            | 1     | 22     | 2       |
| Epoxiconazol      | 1 | 0 | 1       | 4                 | 4        | 3            | 0    | 1   | 4            | 4     | 0   | 2            | 1     | 26     | 3       |
| Etión             | 5 | 5 | 4       | 4                 | 1        | 1            | 1    | 2   | 4            | 1     | 2   | 0            | 1     | 23     | 3       |
| Etoxazol          | 1 | 1 | 1       | 4                 | 3        | 2            | 0    | 2   | 1            | 4     | 0   | 0            | 1     | 20     | 2       |
| Fenoxicarb        | 1 | 1 | 1       | 4                 | 3        | 1            | 0    | 2   | 4            | 4     | 0   | 2            | 1     | 24     | 3       |
| Fentión           | 2 | 2 | 4       | 4                 | 1        | 2            | 2    | 2   | 1            | 1     | 2   | 0            | 1     | 20     | 2       |
| Imazalil          | 1 | 1 | 1       | 1                 | 2        | 3            | 0    | 1   | 4            | 4     | 2   | 2            | 4     | 28     | 4       |
| Imidacloprid      | 1 | 1 | 1       | 1                 | 1        | 3            | 0    | 1   | 4            | 3     | 2   | 0            | 0     | 20     | 2       |
| Malatión          | 5 | 5 | 1       | 2                 | 4        | 1            | 2    | 2   | 4            | 4     | 1   | 2            | 1     | 26     | 3       |
| Metaxil           | 2 | 2 | 1       | 1                 | 4        | 2            | 3    | 1   | 4            | 1     | 2   | 0            | 1     | 20     | 2       |
| Metamidofós       | 4 | 5 | 4       | 1                 | 4        | 1            | 5    | 1   | 4            | 1     | 3   | 0            | 4     | 30     | 4       |
| Metiocarb         | 1 | 1 | 1       | 4                 | 2        | 1            | 0    | 1   | 4            | 4     | 3   | 0            | 1     | 23     | 3       |
| Metoxifenocida    | 1 | 1 | 1       | 4                 | 4        | 3            | 3    | 1   | 4            | 3     | 0   | 2            | 1     | 26     | 3       |
| Oxamil            | 1 | 0 | 1       | 1                 | 2        | 1            | 5    | 1   | 4            | 3     | 3   | 0            | 0     | 21     | 2       |
| Paratión          | 5 | 5 | 4       | 4                 | 3        | 1            | 1    | 1   | 1            | 1     | 4   | 2            | 4     | 30     | 4       |
| Paratión metílico | 5 | 5 | 4       | 2                 | 2        | 1            | 3    | 1   | 1            | 1     | 4   | 2            | 1     | 24     | 3       |
| Pirimicarb        | 2 | 2 | 1       | 1                 | 2        | 4            | 0    | 1   | 4            | 2     | 2   | 0            | 4     | 23     | 3       |
| Propargita        | 1 | 1 | 4       | 4                 | 2        | 1            | 0    | 4   | 4            | 4     | 1   | 2            | 1     | 31     | 5       |
| Propiconazol      | 2 | 1 | 4       | 4                 | 4        | 4            | 2    | 2   | 4            | 4     | 2   | 2            | 1     | 35     | 5       |
| Piraclostrobina   | 1 | 0 | 1       | 4                 | 1        | 1            | 1    | 2   | 1            | 4     | 0   | 0            | 1     | 20     | 2       |
| Pirimetanil       | 5 | 5 | 1       | 2                 | 4        | 2            | 0    | 1   | 2            | 3     | 1   | 2            | 0     | 20     | 2       |
| Piriproxifen      | 4 | 4 | 1       | 4                 | 2        | 1            | 0    | 2   | 4            | 4     | 0   | 0            | 1     | 19     | 2       |
| Tiabendazol       | 5 | 5 | 1       | 1                 | 2        | 1            | 2    | 1   | 4            | 4     | 1   | 2            | 0     | 21     | 2       |
| Tiametoxam        | 1 | 1 | 1       | 1                 | 2        | 2            | 4    | 1   | 1            | 2     | 0   | 0            | 1     | 15     | 1       |
| Trifloxistrobin   | 5 | 4 | 1       | 4                 | 2        | 1            | 0    | 2   | 4            | 4     | 0   | 0            | 1     | 23     | 3       |

Anexo C. Intervalos para la ponderación del factor de impacto (impacto/frecuencia) de los plaguicidas determinados en sedimento y tejido muscular de lobina en la presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas México.

| Factor de impacto | Intervalos |            |
|-------------------|------------|------------|
|                   | Impacto    | Frecuencia |
| Muy Bajo          | 15-19      | 0-20       |
| Bajo              | 19-23      | 20-40      |
| Medio             | 23-27      | 40-60      |
| Alto              | 27-31      | 60-80      |
| Muy Alto          | 31-35      | 80-100     |

Anexo D. Matriz de riesgo para los plaguicidas determinados en sedimento y tejido muscular de lobina, en la presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México.

|            |          |   | IMPACTO  |      |          |      |          |
|------------|----------|---|----------|------|----------|------|----------|
|            |          |   | Muy bajo | Bajo | Moderado | Alto | Muy Alto |
|            |          |   | 1        | 2    | 3        | 4    | 5        |
| FRECUENCIA | Muy alta | 5 | 6        | 7    | 8        | 9    | 10       |
|            | Alta     | 4 | 5        | 6    | 7        | 8    | 9        |
|            | Moderada | 3 | 4        | 5    | 6        | 7    | 8        |
|            | Baja     | 2 | 3        | 4    | 5        | 6    | 7        |
|            | Muy Baja | 1 | 2        | 3    | 4        | 5    | 6        |

Anexo E. Factor de riesgo estimado para los plaguicidas presentes en sedimento y tejido muscular de lobina, en la presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México.

| FACTOR DE RIESGO  |   |                   |   |
|-------------------|---|-------------------|---|
| Sedimento         |   | Músculo de lobina |   |
| Paratión          | 9 | Metamidofós       | 9 |
| Etión             | 8 | Paratión          | 9 |
| Malatión          | 8 | Etión             | 8 |
| Metamidofós       | 8 | Malatión          | 8 |
| Paratión metílico | 8 | Paratión metílico | 8 |
| Trifloxistrobin   | 8 | Amitraz           | 8 |
| Amitraz           | 8 | Pirimetanil       | 7 |
| Propiconazol      | 7 | Tiabendazol       | 7 |
| Pirimetanil       | 7 | Trifloxistrobin   | 7 |

|              |   |              |   |
|--------------|---|--------------|---|
| Tiabendazol  | 7 | Propiconazol | 6 |
| Piriproxifen | 6 | Piriproxifen | 6 |
| Ametrina     | 6 | Ametrin      | 6 |
| Propargita   | 6 | Propargita   | 6 |

| FACTOR DE RIESGO |   |                   |   |
|------------------|---|-------------------|---|
| Sedimento        |   | Músculo de lobina |   |
| Clorpirifós      | 5 | Aldicarb          | 5 |
| Diazinón         | 5 | Pirimicarb        | 5 |
| Dimetoato        | 5 | Difenoconazol     | 5 |
| Aldicarb         | 5 | Imazalil          | 5 |
| Pirimicarb       | 5 | Dimetoato         | 4 |
| Difenoconazol    | 5 | Fentión           | 4 |
| Imazalil         | 5 | Fenoxicarb        | 4 |
| Fentión          | 4 | Metiocarb         | 4 |
| Fenoxicarb       | 4 | Metalaxil         | 4 |
| Metiocarb        | 4 | Metoxifenocide    | 4 |
| Epoxiconazol     | 4 | Diflubenzurón     | 3 |
| Metalaxil        | 4 | Etoxazol          | 3 |
| Metoxifenocide   | 4 | Imidacloprid      | 3 |
| Oxamil           | 3 | Acetamiprid       | 2 |
| Piraclostrobin   | 3 | Tiametoxam        | 2 |
| Diflubenzurón    | 3 |                   |   |
| Etoxazol         | 3 |                   |   |
| Imidacloprid     | 3 |                   |   |
| Acetamiprid      | 2 |                   |   |
| Tiametoxam       | 2 |                   |   |

Bajo

Bajo

Muy bajo

Muy bajo

## CAPÍTULO II.

### RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y LA CONCENTRACIÓN DE PLAGUICIDAS EN TEJIDO DE *Micropterus* spp. (LACEPÈDE 1802), EN UNA PRESA AL NORESTE DE MÉXICO

#### RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar la relación existente entre las medidas morfométricas y la concentración de 28 plaguicidas no organoclorados detectados en el músculo de *Micropterus* spp. presente en la presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México. La concentración de los compuestos en el músculo de la lobina se determinó mediante HPLC-MS/MS por extracción QuEChERS. La concentración media de plaguicidas en el músculo varió de 0.079 a 0.51  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . La longitud total media de la lobina fue de  $314.4 \pm 50.83$  mm y el peso medio de  $405.7 \pm 245.71$  g. La relación entre la concentración de plaguicidas y las medidas morfométricas de las lobinas (peso y longitud total) se estimó por la regresión de Mínimos Cuadrados Parciales. Los resultados indican que la longitud total y el peso de la lobina presentaron correlación positiva débil ( $R=0.273$ ) con respecto a la concentración total de plaguicidas en tejido; sin embargo, 19 de 28 plaguicidas mostraron correlación negativa con la morfometría. Esto sugiere que las lobinas de menor tamaño presentan mayor concentración de plaguicidas, posiblemente asociado a los hábitos alimentarios bentónicos que presentan durante las primeras etapas de desarrollo, en sitios contaminados. Posteriormente, el cambio hacia hábitos

carnívoros pudo haber reducido el grado de exposición a plaguicidas por ingesta y facilitado su degradación por procesos metabólicos.

**Palabras clave:** presa Vicente Guerrero, plaguicidas, morfometría, *Micropterus* spp., análisis multivariados.

## ABSTRACT

The objective of the present study was to determine the relationship between morphometric measurements and the concentration of non-organochlorine pesticides in the muscle of *Micropterus* spp. present in the “Vicente Guerrero” dam, Tamaulipas, Mexico. The concentration of the compounds in bass muscle was determined by HPLC-MS/MS by QuEChERS extraction. The mean concentration of pesticides in muscle ranged from 0.079 to 0.51  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . The mean total length of the bass was  $314.4 \pm 50.83$  mm, and the mean weight was  $405.7 \pm 245.71$  g. The relationship between the concentration of pesticides and the morphometric measurements of the bass were estimated by the regression of Partial Least Squares. The results indicate that the total length and weight of the bass showed a weak positive correlation ( $R=0.273$ ) with respect to the total concentration of pesticides in tissue; however, 19 pesticides showed a negative correlation with morphometry. This suggests that the smaller bass have a higher concentration of pesticides, possibly associated with the benthic feeding habits that they exhibit during the early stages of development, in contaminated sites. Subsequently, the

change towards carnivorous habits could have reduced the degree of exposure to pesticides by ingestion, and facilitated their degradation by metabolic processes.

**Keywords:** Largemouth bass, non-organochlorine pesticides, morphometry, multivariate analysis, Vicente Guerrero dam.

## INTRODUCCIÓN

La lobina negra, *Micropterus* spp. (Lacepède 1802), es un pez depredador de agua dulce de la familia de los centráridos, altamente atractivo y cotizado en la pesca deportivo-recreativa a nivel internacional (Beltrán-Álvarez *et al.*, 2013). La lobina está presente desde la región Este de Norte América hasta la región sur de Texas y norte de México (Taylor *et al.*, 2019). En México, dos especies de lobinas están reportadas en la mayoría de los cuerpos dulceacuícolas (Beltrán-Álvarez *et al.*, 2015). *M. salmoides*, se registra desde el Río Grande hasta las cuencas hidrológicas Soto La Marina y San Fernando (García de León *et al.*, 2005); mientras que, *M. floridanus* fue introducida desde el Este de EE.UU. (Villa-Melchor, 2016). En el noreste de México, desde 1980, la presa Vicente Guerrero (PVG) representa un destino preferente para la pesca deportiva de lobina. Debido a esto genera empleos y una derrama económica importante en el estado de Tamaulipas (Elizondo-Garza *et al.*, 1996).

La PVG almacena los escurrimientos de los ríos “Corona”, “Purificación” y “Pilón” (SEMARNAP, 1999), que en su conjunto abastecen agua para riego a las zonas

agrícolas de la cuenca hidrológica Río Soto la Marina. En la periferia de esta cuenca destaca la siembra de sorgo, cítricos, pastizales y maíz (SIAP, 2020a) y la producción de ganado bovino (SIAP, 2020b). Estos cultivos demandan plaguicidas para controlar plagas y ectoparásitos (De Liñán, 2009, López-Arroyo y Loera-Gallardo, 2009), cuyos residuos pueden ser depositados en el embalse. En México, actualmente existen más de 7,700 productos comerciales con registro vigente en el mercado (COFEPRIS, 2020), cuyos impactos y alcance en las redes tróficas acuáticas se desconocen.

Los peces ocupan el nivel trófico superior en los sistemas lacustres y son indicadores en la estimación de contaminantes y el estado sanitario de estos ambientes (Zhao *et al.*, 2014, Khallaf *et al.*, 2017). La transferencia de compuestos químicos desde el medio externo al interior de los peces puede ocurrir por exposición a sustancias (directamente desde el cuerpo de agua o en el agua intersticial de los sedimentos) que atraviesan las membranas biológicas y por la ingesta de alimentos impregnados con sedimentos contaminados (USEPA, 2000; Sabra y Mehana, 2015). El potencial de bioacumulación de plaguicidas en peces, ha sido relacionado con aspectos biológicos de cada especie (Sabra y Mehana, 2015, Silva Barni *et al.*, 2016), principalmente con los hábitos de forrajeo de las especies que capturan presas del fondo, sobre columna de agua o de hábitos filtradores, cuyo potencial de bioacumulación es mayor que en organismos de hábitos carnívoros (USEPA, 2000; Silva Barni *et al.*, 2016).

Los hábitos alimentarios en peces varían según la especie, fase de desarrollo, edad, tamaño, estación, características físicas y geoquímicas del agua (Adegun *et al.*,

2020) y la estructura del hábitat (Ahrenstorff *et al.*, 2008). La lobina presenta cambios en los hábitos de alimentación a lo largo de su desarrollo ontogenético (Gallardo-Torres *et al.*, 2014). En alevines y juveniles de lobina, la alimentación está compuesta por presas capturadas del fondo (cladóceros, copépodos, rotíferos), en la columna de agua (larvas de dípteros, coleópteros y hemípteros) (Rodríguez-Jiménez, 1989; Almeida *et al.*, 2012, incluso canibalismo sobre individuos de edad (CABI, 2020). La ruta de exposición a plaguicidas de los depredadores acuáticos, como la lobina, se da principalmente por la ingesta de alimentos contaminados (Suedel *et al.*, 1994) y en menor grado por vía branquial (Larisch y Goss, 2018). De tal manera que, el consumo de especies bentónicas contaminadas con plaguicidas en las primeras fases ontogenéticas de la lobina, podría originar la transferencia de estos compuestos a los tejidos del pez. En fase adulta, la lobina cambia sus hábitos a carnívoros con marcada preferencia por *Oreochromis* spp., *Dorosoma petenense*, *Lepomis gibbosus*, *Astyanax mexicanus* (Torres-Morales, 2000), *Chirostoma humboldtianum* (Gallardo-Torres *et al.*, 2014), cangrejos de río, insectos, anfibios y reptiles (Hoyle y Keast, 1986; Aloo y Dadzie, 1995). La transición de hábitos alimentarios en lobina ha sido relacionada con la disponibilidad de presas. Este cambio se ha documentado en longitudes > 120 mm TL (Gallardo-Torres *et al.*, 2014), entre 150 – 200 mm TL (Aloo y Dadzie, 1995) y >180 mm TL (Rodríguez-Jiménez, 1989). Torres-Morales (2000) documentó hábitos netamente carnívoros a partir de 210 mm TL, en la presa Vicente Guerrero.

Por otro lado, los compuestos con mayor potencial de bioacumulación presentan estructura química no polar, peso molecular elevado y alta lipofilicidad (coeficiente

de partición octanol/agua, Log  $K_{ow}$ ) como los Productos Orgánicos Persistentes (USEPA, 2000; Arisekar *et al.*, 2019). Este tipo de plaguicidas se concentra en los tejidos de peces en proporción a su composición lipídica (Bender, 1969), tiempo y vía de exposición, y persistencia del compuesto (USEPA, 2000); por lo que, la acumulación de estos plaguicidas en tejidos se relaciona con las medidas morfométricas (longitud y peso) de los individuos (Deribe *et al.*, 2011; Polder *et al.*, 2014; Fair *et al.*, 2018). Sin embargo, plaguicidas menos persistentes pueden ser degradados del tejido muscular por procesos metabólicos o eliminación directa (filtración renal y difusión pasiva a través de las membranas) después de algunas semanas de exposición (Sabharwal y Belsare, 1986; Streit, 1998; Khallaf *et al.*, 2017; Kolanczyk *et al.*, 2018; Larisch y Goss, 2018)

La pesca de la lobina en la presa Vicente Guerrero, satisface las actividades deportivo-recreativas y el consumo alimenticio de la población en la región. Sin embargo, existe el riesgo de movilidad de los compuestos químicos acarreados por los escurrimientos superficiales y su posible bioacumulación en el músculo de la lobina, que pudiera representar un riesgo toxicológico para los humanos. Por ello resulta relevante conocer la dinámica de los plaguicidas en el músculo de lobina, motivo de este estudio que tiene por objetivo determinar la relación existente entre los parámetros morfométricos (longitud total y peso) y la concentración de plaguicidas no organoclorados en tejido de *Micropterus* spp. de la presa Vicente Guerrero.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***Área de Estudio***

El estudio se llevó a cabo en la presa Vicente Guerrero (PVG), también llamada Las Adjuntas, es el embalse de mayor capacidad en el noreste de México con 3, 910 millones de m<sup>3</sup> al Nivel de Aguas Máximas Ordinarias, NAMO (CONAGUA, 2015). Este embalse se localiza en Padilla, Tamaulipas entre las coordenadas geográficas 23° 57' 34" N y 98° 39' 57" O (Fig. 1).

### ***Muestreo***

La concentración de plaguicidas se analizó en 90 muestras de tejido de lobina colectadas mensualmente (por triplicado) de diciembre de 2016 a mayo de 2017. Esto ocurrió en dos sitios de los principales tributarios, ríos Corona y Purificación (S1 y S2, respectivamente), en el área central (S3), al oriente del embalse (S4) y un último en la zona de desfogue del embalse (S5) (Tabla 1, Fig. 1). El método de pesca fue por señuelo y luego conservados en hielo para su transporte al laboratorio. En cada individuo se registró longitud total (LT) con un ictiómetro graduado y el peso (P) con una balanza digital, con una precisión  $\pm 0.1$  mm y  $\pm 0.1$  mg, respectivamente. Posteriormente, una muestra de 500 g compuesta por piel, grasa subdérmica y fracción comestible de músculo de cada pescado se resguardó en una bolsa de polietileno y se congeló a -20 °C en laboratorio.

### ***Materiales, reactivos y soluciones***

Los estándares de plaguicidas fueron adquiridos en Dr. Ehrenstorfer Laboratory (Augsburg, Alemania) con una pureza superior a 95 %. Las soluciones madre se prepararon para cada plaguicida a 10 mg/L en metanol o acetronilo y las soluciones diluidas de plaguicidas a 0.01 mg/L, ambas conservadas a -20 °C. Los solventes grado HPLC fueron adquiridos en JT Baker (Phillipsburg, NJ, EUA). Los kits de extracción multi-residual y dispersión para método QuEChERS EN 15662:2008 (BSI, 2008) fueron provistos por Agilent (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA). Como estándar subrogado se utilizó trifenílfosfato (TTP) y como estándar interno (E.I.) bromofós metil.

### ***Preparación de las muestras***

Las muestras congeladas fueron molidas y homogeneizadas en licuadora, para evitar la descongelación (Ernst *et al.*, 2018). La extracción se realizó por dispersión en fase sólida (dSPE) - QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe), mediante sales y acetronilo de acuerdo al Estándar Europeo EN 15662 (BSI, 2008) para 10 g de muestra. Una alícuota de 1 mL de extracto fue depositada en un vial, acidificada con 10 µL de solución de ácido fórmico al 5 % en acetronilo y transferida para el análisis de Cromatografía Líquida-Espectrometría de Masas (HPLC-MS) para su determinación.

### ***Análisis HPLC-MS en Tándem***

Los plaguicidas extraídos fueron analizados en un cromatógrafo líquido Agilent 1200 SL binario acoplado a un espectrómetro de masas triple cuadrupolo 6430 (QqQ), ambos de Agilent Technologies (Santa Clara, CA, EUA). El extracto fue inyectado a una columna Zorbax Eclipse XDB-C18 de Agilent Technologies (150 mm x 4.6 mm, 5 µm). La detección MS/MS se realizó bajo las siguientes condiciones: flujo de gas de secado de 11 L/min, flujo de gas nebulizador a 15 psi, temperatura del gas a 300 °C (Souza *et al.*, 2016; Ernst *et al.*, 2018).

### ***Análisis exploratorio de datos***

La normalidad en la concentración de plaguicidas determinadas en músculo de lobina, LT y P de los individuos capturados, fue probada con el estadístico de Royston y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene (Porras Cerron, 2016). Las pruebas mostraron distribución no normal con los datos originales y transformados logarítmicamente para las tres variables; de manera tal, que los análisis posteriores se ejecutaron con los datos originales. La variación en las medidas morfométricas, entre sitios y entre meses, se calculó mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

## **Análisis multivariado de datos**

La relación entre la concentración de plaguicidas y las medidas morfométricas de las lobinas colectadas se estimó por regresión de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS). Este análisis es una prueba multivariada que calcula una serie de variables latentes ortogonales, como resultado de las combinaciones lineales de un conjunto de variables predictoras. Algunas de estas variables latentes se utilizan para explicar las variables de respuesta (Yang *et al.*, 2016). La matriz **X** ( $n \times p$ ) compuesta por las variables predictoras (LT y P) y el vector de variables de respuesta **Y** ( $n \times 1$ ) que contiene la concentración de los plaguicidas, fueron transformados en una matriz de variables latentes ( $n \times p$ ) no correlacionadas **T** = ( $t_1, t_2, \dots, t_p$ ), llamadas componentes (Gaviria-Peña, 2016). Posteriormente, el PLS calcula el modelo de regresión utilizando el vector de respuesta **Y** y las componentes obtenidas, por medio de un vector de covarianzas o eje. El primer eje extrae la máxima covarianza y los siguientes ejes explican la varianza residual (Vega-Vilca y Guzmán, 2011). Los análisis PLS fueron desarrollados en el programa estadístico PAST 3.0.

## **RESULTADOS**

El análisis de las muestras de músculo de lobina ( $n = 90$ ) confirmó la presencia de 28 plaguicidas en la presa Vicente Guerrero (PVG). La concentración media más alta se localizó en amitraz, AMZ ( $0.51 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) y la más baja en fenoxicarb, FXB ( $0.079 \mu\text{g kg}^{-1}$ ; Tabla 9). Etión (ETN), paratión (PAR) y AMZ fueron identificados en más del 95% de las muestras de lobina. Los porcentajes de recuperación,

desviación estándar y límites de detección de plaguicidas se presentan en la Tabla 9.

La regresión por PLS estimó que el primer eje obtuvo un eigenvalor de 1.44 y explicó en 96.7% la covarianza de las variables de respuesta (concentración de plaguicidas). Las variables predictoras, LT y P, presentaron correlación positiva sobre el primer eje y asociadas a un incremento ligero en la concentración de FXB, propargita (PRO) y acetamiprid (AMP). Por el contrario, LT y P correlacionaron negativamente con la concentración de 19 plaguicidas, principalmente AMZ. Lo anterior sugiere que, alrededor del 70% de los plaguicidas analizados presentaron la mayor concentración en el músculo de las lobinas de menor tamaño. El segundo eje registró una correlación positiva entre P y FXB, y entre LT con AMP, metoxifenocida (MFD) y difenoconazol (DZL; Fig. 7). Las medidas morfométricas, LT y P, presentaron correlación positiva débil ( $R = 0.273$ ) respecto a la concentración total de los plaguicidas contenidos en el tejido de lobina (Fig. 8).

Los ejemplares de lobina presentaron LT media de  $314.4 \pm 50.83$  mm (240 - 480 mm) y P promedio de  $405.7 \pm 245.71$  g (151 - 1500 g). LT y P no presentaron variaciones significativas ( $P > 0.05$ ) respecto a los sitios y meses de colecta (Tabla 10).

Tabla 9. Valores promedio ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )  $\pm$  desviación estándar, porcentaje de recuperación  $\pm$  desviación estándar y límite de detección ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de los plaguicidas encontrados en el músculo de lobina de la presa "Vicente Guerrero", Tamaulipas, México.

| Compuesto                 | Media $\pm$ D.S.  | Recuperación (%) | Límite de Detección |
|---------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| Acetamiprid (AMP)         | 0.156 $\pm$ 0.317 | 91 $\pm$ 0.00139 | 0.00459             |
| Aldicarb (ALD)            | 0.162 $\pm$ 0.246 | 91 $\pm$ 0.00142 | 0.00469             |
| Ametrina (AME)            | 0.279 $\pm$ 0.314 | 92 $\pm$ 0.00143 | 0.00472             |
| Amitraz (AMZ)             | 0.518 $\pm$ 0.293 | 91 $\pm$ 0.00154 | 0.00508             |
| Difenoconazol (DZL)       | 0.138 $\pm$ 0.289 | 73 $\pm$ 0.00139 | 0.00459             |
| Diflubenzuron (DZN)       | 0.144 $\pm$ 0.262 | 86 $\pm$ 0.00148 | 0.00488             |
| Dimetoato (DIM)           | 0.252 $\pm$ 0.35  | 78 $\pm$ 0.00143 | 0.00472             |
| Etión (ETN)               | 0.452 $\pm$ 0.289 | 93 $\pm$ 0.00149 | 0.00492             |
| Etoxazol (EXL)            | 0.109 $\pm$ 0.237 | 87 $\pm$ 0.00147 | 0.00485             |
| Fenoxicarb (FXB)          | 0.079 $\pm$ 0.164 | 92 $\pm$ 0.00134 | 0.00442             |
| Fentió (FTN)              | 0.273 $\pm$ 0.789 | 75 $\pm$ 0.00136 | 0.00449             |
| Imazalil (IZL)            | 0.126 $\pm$ 0.267 | 76 $\pm$ 0.00151 | 0.00498             |
| Imidacloprid (ICD)        | 0.115 $\pm$ 0.251 | 79 $\pm$ 0.00153 | 0.00505             |
| Malatión (MAL)            | 0.484 $\pm$ 0.308 | 81 $\pm$ 0.00135 | 0.00446             |
| Metalaxil (MXL)           | 0.213 $\pm$ 0.303 | 83 $\pm$ 0.00152 | 0.00502             |
| Metamidofós (MPS)         | 0.45 $\pm$ 0.309  | 84 $\pm$ 0.00142 | 0.00469             |
| Metiocarb (MRB)           | 0.127 $\pm$ 0.291 | 88 $\pm$ 0.00143 | 0.00472             |
| Metoxifenocida (MFD)      | 0.131 $\pm$ 0.27  | 81 $\pm$ 0.00156 | 0.00515             |
| Paratión (PAR)            | 0.5 $\pm$ 0.262   | 96 $\pm$ 0.00144 | 0.00475             |
| Paratión metílico (P-MET) | 0.43 $\pm$ 0.322  | 78 $\pm$ 0.00143 | 0.00472             |
| Pirimicarb (PCB)          | 0.255 $\pm$ 0.341 | 75 $\pm$ 0.00141 | 0.00465             |
| Propargita (PRO)          | 0.105 $\pm$ 0.233 | 91 $\pm$ 0.00151 | 0.00498             |
| Propiconazol (PZL)        | 0.109 $\pm$ 0.244 | 85 $\pm$ 0.00146 | 0.00482             |
| Pirimetanil (PML)         | 0.443 $\pm$ 0.297 | 91 $\pm$ 0.00155 | 0.00512             |
| Piriproxifen (PFN)        | 0.374 $\pm$ 0.781 | 84 $\pm$ 0.00152 | 0.00502             |
| Tiabendazol (TZL)         | 0.457 $\pm$ 0.32  | 81 $\pm$ 0.00156 | 0.00515             |
| Tiametoxam (TXM)          | 0.091 $\pm$ 0.22  | 87 $\pm$ 0.00149 | 0.00492             |
| Trifloxistrobin (TBN)     | 0.506 $\pm$ 0.906 | 77 $\pm$ 0.00151 | 0.00498             |

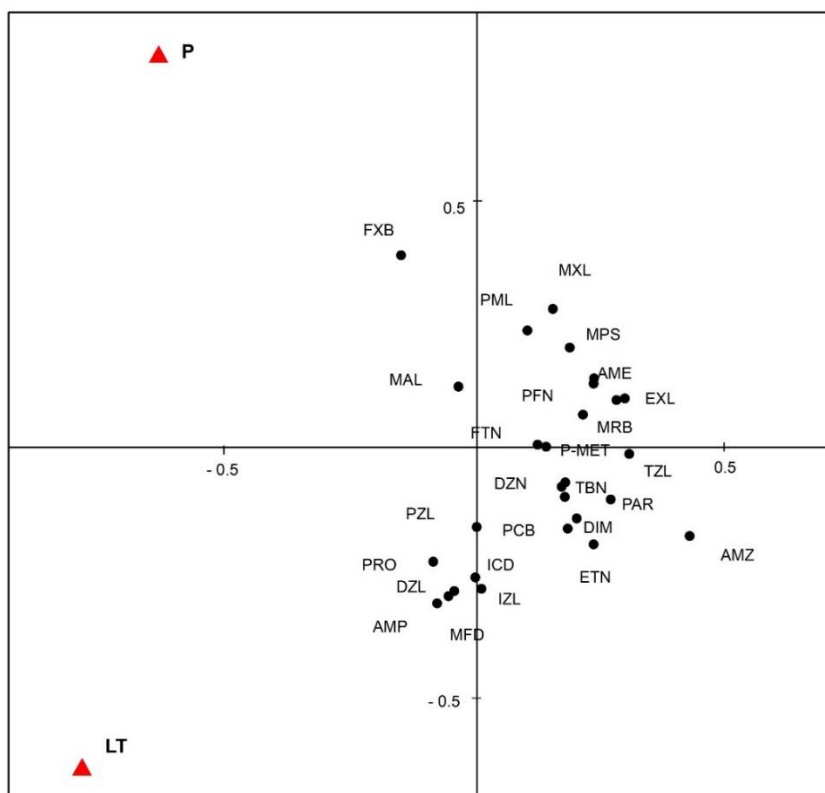


Figura 7. Gráfica de “loadings” obtenidos por Mínimos Cuadrados Parciales para las medidas morfométricas (LT: Lontitud total, P: Peso) y la concentración de plaguicidas en músculo de lobina en la presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México.

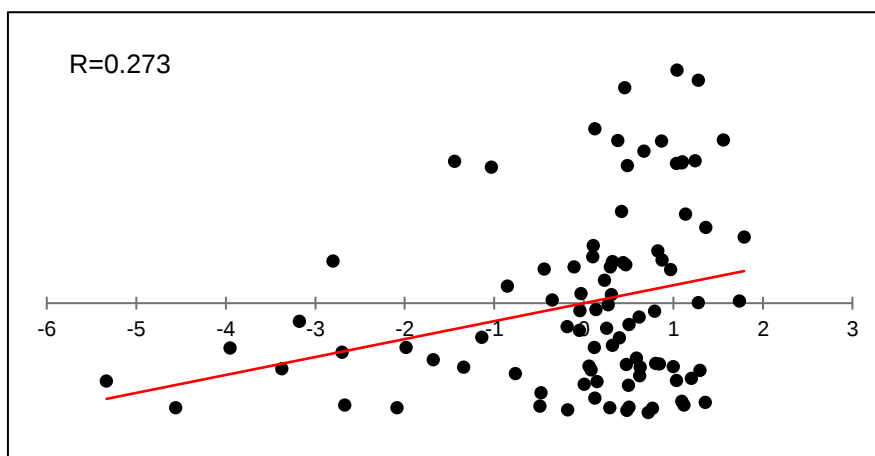


Figura 8. Coeficientes de regresión por Mínimos Cuadrados Parciales para longitud total, peso y concentración de plaguicidas en el músculo de lobina en la presa “Vicente Guerrero”, Tamaulipas, México.

Tabla 10. Valores promedio espaciales y temporales de peso (P) y longitud total (LT) de la lobina  $\pm$  desviación estándar y significancia estadística (H/P), de la presa "Vicente Guerrero", Tamaulipas, México.

| Sitio                                   | n= 90 | P (g)                | LT (mm)            |
|-----------------------------------------|-------|----------------------|--------------------|
| S1                                      | 18    | 364.13 $\pm$ 96.86   | 306.39 $\pm$ 29.79 |
| S2                                      | 18    | 510.18 $\pm$ 389.98  | 328.61 $\pm$ 72.1  |
| S3                                      | 18    | 393.50 $\pm$ 192.43  | 320.74 $\pm$ 53.05 |
| S4                                      | 18    | 331.51 $\pm$ 123.44  | 293.38 $\pm$ 32.85 |
| S5                                      | 18    | 429.20 $\pm$ 287.06  | 323.02 $\pm$ 51.70 |
| H=                                      |       | 2.3730               | 5.3557             |
| P=                                      |       | 0.6675               | 0.2527             |
| Mes                                     |       |                      |                    |
| Dic                                     | 15    | 455.44 $\pm$ 307.48  | 327.73 $\pm$ 57.21 |
| Ene                                     | 15    | 402.17 $\pm$ 155.31  | 318.55 $\pm$ 46.27 |
| Feb                                     | 15    | 455.07 $\pm$ 320.37  | 320.67 $\pm$ 57.16 |
| Mar                                     | 15    | 440.017 $\pm$ 283.60 | 319.67 $\pm$ 59.86 |
| Abr                                     | 15    | 361.47 $\pm$ 235.42  | 307.00 $\pm$ 48.73 |
| May                                     | 15    | 320.07 $\pm$ 100.97  | 293.00 $\pm$ 30.87 |
| H=                                      |       | 6.0743               | 3.3664             |
| P=                                      |       | 0.2991               | 0.6437             |
| S1, S2, S3, S4, S5 descritos en Tabla 1 |       |                      |                    |

## DISCUSIÓN

En el tejido muscular de la lobina se detectaron 28 plaguicidas no organoclorados, aunque la concentración total de estos compuestos presentó una correlación positiva débil respecto a la longitud total y peso de las lobinas. Cabe destacar, que el tejido conformado por lobinas de menor longitud total (LT) y peso (P) presentó concentración alta de 19 plaguicidas, en comparación con las muestras de lobina de dimensiones mayores. Lo anterior sugiere la incorporación de esos compuestos al tejido de la lobina en etapas tempranas de desarrollo y su posible degradación o dilución durante su crecimiento en la fase adulta, contrario a lo observado por otros autores que señalan al tejido muscular de peces como reservorio de contaminantes

de origen orgánico (Kolanczyk *et al.*, 2018; Arisekar *et al.*, 2019). Los plaguicidas con estructuras moleculares lipofílicas como etión (ETN), paratión (PAR) y amitraz (AMZ) fueron encontrados en el 95% de las muestras; este último compuesto, altamente concentrado en las lobinas de menor tamaño. El fenoxicarb (FXB) fue detectado en bajas concentraciones en las lobinas de mayor dimensión, al igual que propargita (PRO). La concentración de AMZ, fenoxicarb (FXB), ETN, PAR y propargita (PRO) en las diferentes etapas de crecimiento de las lobinas, puede estar relacionado con los valores teóricos altos determinados por el Factor de Bioacumulación (BAF= 5.5, 4.07, 5.07, 3.83 y 5.7, respectivamente) (Lewis *et al.*, 2016; ECOTOX, 2020) que presentan; lo que sugiere potencial para ser bioacumulados en los tejidos grasos. El BAF está determinado por la lipofilicidad del compuesto, expresada por el  $\log_{10}$  del coeficiente de partición n-octanol/agua (Log  $K_{ow}$ , Hanningan *et al.*, 2018), el cual considera la suma de la bioconcentración (ingreso por medio del agua) y los químicos ingeridos en alimentos (Dodds y Whiles, 2020). Los compuestos con elevado Log  $K_{ow}$ , regularmente son bioacumulados en tejidos de constitución lipídica en peces como vísceras, grasa subdérmica y músculo comestible (García-Hernández *et al.*, 2018; Kolanczyk *et al.*, 2018). Uresti-Marín *et al.* (2008) detectaron aldrin, endrin, clordano, mirex, heptaclor, DDT, DDE y DDD en músculo de *M. salmoides* (0.97 - 41.40 ng g<sup>-1</sup>) e *Ictalurus punctatus* (0.93 - 212.31 ng g<sup>-1</sup>), colectados en PVG y los asociaron con la proporción de tejido graso de cada especie. Por lo tanto, la estructura química y las propiedades lipofílicas de los plaguicidas, podrían ser los factores de mayor importancia en el proceso de bioacumulación (Maund *et al.*, 1997).

La concentración de plaguicidas en organismos acuáticos, ha sido asociada a la presencia de estos compuestos en alguno de los compartimientos ambientales (Arisekar *et al.*, 2019) y su posible traslocación en las redes tróficas (Tsaboula *et al.*, 2016). Algunos estudios señalan la transferencia de compuestos desde los sedimentos a niveles tróficos superiores, por medio del consumo de organismos bentónicos (Burgess *et al.*, 2013; Ccanccapa *et al.*, 2016; Cortés *et al.*, 2018) en contacto con agua intersticial contaminada del sedimento (Connell, 1988; USEPA, 2000). Lo anterior, podría relacionar a la concentración alta de plaguicidas en las lobinas más pequeñas, con la transición reciente de hábitos bentónicos a carnívoros. Suedel *et al.* (1994) compilaron resultados de Coeficientes Tróficos de Transferencia e identificaron que, los organismos zooplanctónicos y pequeños crustáceos, presentan el valor máximo de potencial de bioacumulación y biomagnificación dentro de las redes tróficas dulceacuícolas. Streit (1998) observó la bioacumulación de contaminantes orgánicos en salmónidos a partir de la ingesta de *Alosa pseudoharengus*, de hábitos zooplanctónicos, en áreas contaminadas.

Adicionalmente, los ingredientes activos de los plaguicidas detectados en músculo de lobina en la PVG, cuentan con registro activo o indefinido en México (COFEPRIS, 2020). Sin embargo, aldicarb (ALD), ametrina, AMZ, ETN, fentió, Metamidofós (MPS), PAR, paratión metílico (P-MET), PRO y propiconazol (PZL) están prohibidos o restringidos en Estados Unidos y en la Comunidad Europea (Lewis *et al.*, 2016; NIH, 2019), por su relevancia toxicológica. La WHO (2009) clasifica a ALD, PAR y P-MET como extremadamente peligrosos (Ia) y a MPS como altamente peligroso (Ib). Adicionalmente, ALD, dimetoato, ETN, FXB, Imidacloprid, imazalil, malatión,

MPS, metiocarb, PAR, P-MET, pirimicarb, PRO, PZL, tiabendazol y tiametoxam aparecen en la lista de Plaguicidas Altamente Peligrosos (HHP; PAN Internacional, 2021). La posible distribución e impacto ambiental de estos plaguicidas sobre el ecosistema de la PVG requieren ser estudiados. No obstante, la concentración de plaguicidas en lobinas de edades tempranas podría causar efectos letales y subletales en la población, con repercusión ecológica dentro del embalse. Estudios realizados en *Micropterus* spp. registraron mortalidad a la exposición de ETN y PAR con  $LC_{50}$  que van de 0.5 a 173 mg L<sup>-1</sup> y de 0.5 a 620 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente (Weiss, 1961; Munn *et al.*, 2006). Adicionalmente, *M. salmoides* ha presentado efectos subletales a nivel hormonal y reproductivo por la exposición a plaguicidas organoclorados (Johnson, 2005) y disruptores endócrinos (EEA, 2012); así como, cambios fisiológicos y conductuales debido a la inhibición de la acetilcolinesterasa cerebral por exposición a plaguicidas organofosforados (Pan y Dutta, 1998).

## CONCLUSIONES

El estudio identificó y cuantificó la concentración de plaguicidas no organoclorados en la lobina y determinó un efecto negativo en las medidas morfométricas de la lobina juvenil, en la presa Vicente Guerrero. El tejido muscular de la lobina presentó 28 plaguicidas no organoclorados. La longitud total y el peso de la lobina, fueron ligeramente afectados por la concentración total de plaguicidas detectados en músculo; sin embargo, 19 plaguicidas correlacionaron negativamente con la longitud total y peso de la lobina. La concentración de plaguicidas en los individuos pequeños, posiblemente se asocia a los hábitos alimentarios bentónicos en las

primeras fases de su desarrollo, cuyas fuentes alimenticias pudieron estar contaminadas. El cambio hacia hábitos carnívoros en lobinas adultas, redujo la exposición por ingesta; mientras que los procesos metabólicos, habrían degradado los compuestos contaminantes incorporados en fases de crecimiento tempranas. La estructura molecular lipofílica de amitraz, etión, fenoxicarb, paratión y propargita estuvo relacionada con la frecuencia y alta concentración encontrada en las lobinas en diferentes etapas de desarrollo.

Los resultados sugieren análisis futuros para determinar los efectos letales y subletales de los plaguicidas en las diferentes fases ontogénicas de las lobinas; así como la presencia de plaguicidas en los diversos compartimientos ambientales del embalse y en otros niveles tróficos, a fin de identificar la posible ruta de exposición de la lobina a estos compuestos. Adicionalmente, se requiere extender los estudios para identificar la presencia de plaguicidas en el agua y otros productos acuícolas de interés comercial extraídos del embalse; así como los posibles efectos de estos compuestos sobre la salud humana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adegun AO, TA Akinnifesi, IA Ololade, R Busquets, PS Hooda, PCW Cheung, AK Aseperi, J Barker J (2020) Quantification of Neonicotinoid Pesticides in Six Cultivable Fish Species from the River Owena in Nigeria and a Template for Food Safety Assessment. *Water* 12.
- Ahrenstorff TD, GG Sass, MR Helmus (2008) The influence of littoral zone coarse woody habitat on home range size, spatial distribution, and feeding ecology of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Hydrobiologia* 623: 223-233.
- Almeida D, A Almodóvar, GG Nicola, B Elvira, GD Grossman (2012) Trophic plasticity of invasive juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides* in Iberian streams. *Fish Res* 113: 153-158.

- Aloo PA, S Dadzie (1995) Diet of the largemouth bass, *Micropterus salmoides* (Lacépède), in Lake Naivasha, Kenya. *Fish Manag Ecol* 2: 43-51.
- Arisekar U, RJ Shakila, G Jeyasekaran, R Shalini, P Kumar (2019) Accumulation of organochlorine and pyrethroid pesticide residues in fish, water, and sediments in the Thamirabarani river system of southern peninsular India. *Environ Nanotechnol Monit Manag* 11: 100194.
- Beltrán-Álvarez R, J Sánchez-Palacios, G Arroyo-Bustos (2015) Diagnóstico limnológico y pesquero de los principales embalses de Sinaloa. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria-Cámara de Diputados, LXII Legislatura. Ciudad de México, México. 231 p.
- Beltrán-Álvarez R, J Sánchez-Palacios, JP Ramírez-Lozano, AA Ortega-Salas (2013) Reproducción de *Micropterus salmoides* (Pisces: Centrarchidae), en el embalse Gustavo Díaz Ordaz, Sinaloa, México. *Rev Biol Trop* 61: 1313-1325.
- Bender ME (1969) Uptake and Retention of Malathion by the Carp. *Prog Fish-Cult* 31: 155-159.
- BSI (2008) BS EN 15662:2008. Foods of plants origin – Determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS/MS following acetonitrile extraction/partitioning and clean-up by dispersive SPE QuEChERS-method. British Standards Institution. European Standard. Londres, GB. 82 p.
- Burgess RM, WJ Berry, DR Mount, DM Di Toro (2013) Mechanistic sediment quality guidelines base on contaminants bioavailability: Equilibrium Partitioning Sediment Benchmarks. *Environ Toxicol Chem* 32(1): 102-114.
- CABI. 2020. *Micropterus salmoides* (largemouth bass). Invasive Species Compendium. Wallingford. Disponible: <http://www.cabi.org/isc>. Fecha: Marzo 19, 2020.
- Ccanccapa A, A Masiá, A Navarro-Ortega, Y Picó, D Barceló (2016) Pesticides in the Ebro River Basin: occurrence and risk assessment. *Environ Pollut* 211: 414–424.
- COFEPRIS (2020) Consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y LMR. Comisión Federal de Protección contra Riesgos Sanitarios. Disponible: <http://siipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>. Fecha: Enero 14, 2020.
- CONAGUA (2015) Atlas de Agua en México. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, México. 137 p.
- Connell DW (1988) Bioaccumulation Behaviour of Persistent Organic Chemicals with Aquatic Organisms. *Rev Environ Contam Toxicol* 101: 117-154.
- Cortés AA, S Sánchez-Fortún, M García, H Martínez, MC Bartolomé (2018) Toxicological assessment of binary mixtures and individually of chemical compounds used in reverse osmosis desalination on *Artemia franciscana* nauplii. *Lat Am J Aquat Res* 46: 673-682.
- De Liñán C (2009) Agroquímicos de México. Editorial TecnoAgrícola de México S.A. de C.V. Ciudad de México, México. 608 p.
- Deribe E, BO Rosseland, R Borgstrom, B Salbu, Z Gebremariam, E Dadebo, HR Norli, OM Eklo (2011) Bioaccumulation of persistent organic pollutants (POPs) in fish species from Lake Koka, Ethiopia: The influence of lipid content and trophic position. *Sci Total Environ* 410-411: 136-145.

- Dodds WK, M Whiles (2020) Responses to Stress, Toxic Chemicals, and Other Pollutants in Aquatic Ecosystems. pp. 399-436. In: Freshwater Ecology, Concepts and Environmental Applications of Limnology. III. Elsevier. Amsterdam, Países Bajos. 998 p.
- ECOTOX (2020) ECOTOXicology knowledgebase. United States Environmental Protection Agency. Disponible: <https://cfpub.epa.gov/ecotox/>. Fecha: Enero 22, 2020.
- EEA (2012) The impacts of endocrine disruptors on wildlife, people and their environments. Technical report No. 02. European Environmen Agency. Copenhange, Dinamarca. 113 p.
- Elizondo-Garza R, MA Martínez-Zavala, I Roque-Villada, JI Fernández-Méndez (1996) Caracterización biológico-pesquera de la presa Vicente Guerrero (Las Adjuntas), Tamps. con un análisis de las capturas de tilapia *Oreochromis aureus*, y lobina negra, *Micropterus salmoides*. INP. SEMARNAP. *Cienc Pesq* 13: 37-54.
- Ernst F, B Alonso, M Colazzo, L Pareja, V Cesio, A Pereira, A Márquez, E Errico, AM Segura, H Heizen, A Pérez-Parada (2018) Occurrence of pesticides in fish from south American rainfed agroecosystems. *Sci Total Environ* 631-632: 169-179.
- Fair PA, ND White, B Wolf, SA Arnott, K Kannan, R Karthikraj, JE Vena (2018) Persistent organic pollutants in fish from Charleston Harbor and tributaries, South Carolina, United States: A risk assessment. *Environ Res* 167: 598-613.
- Gallardo-Torres A, M Badillo-Alemán, M Merino-Ibarra, X Chiappa-Carrara (2014) Desplazamiento de los charales nativos (género *Chirostoma*) por dos especies de centrárquidos exóticos invasores, la lobina negra (*Micropterus salmoides*) y la mojarra de agallas azules (*Lepomis macrochirus*): Un estudio de caso en la presa Valle de Bravo, Estado de México. pp. 457-469. In: Especies Invasoras Acuáticas: Casos de Estudio en México. Low Pfeng AM, PA Quijón, EM Peters-Recagno (Eds) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) - Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) - University of Prince Edward Island (UPEI), Mexico. 646 p.
- García de León FJ, D Gutiérrez-Tirado, DA Hendrickson, H Espinosa-Pérez (2005) Fishes of the Continental Waters of Tamaulipas: Diversity and Conservation Status. pp. 138-166. In: Biodiversity, Ecosystems and Conservation in Northern Mexico. Cartron J-LE, G Ceballos, RS Felger (Eds) Oxford University Press. Nueva York, EUA. 514 p.
- García-Hernández J, JB Leyva-Morales, ML Martínez-Rodríguez, MI Hernández-Ochoa, ML Aldana-Madrid, AE Rojas-García, M Betancourt-Lozano, NE Pérez-Herrera, JH Perera-Ríos (2018) Especial sobre Contaminación y Toxicología de Plaguicidas. *Rev Int Contam Ambie* 34: 29-60.
- Gaviria-Peña C (2016) Regresión por Mínimos Cuadrados Parciales PLS Aplicada a Datos Variedad Valuados. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Hanningan RE, DM Genest, WE Robinson (2018) Chemistry of Natural Waters. pp. 235-259. In: Green Chemistry an Inclusive Approach. Török B, T Dransfield (Eds) Elsevier, Amsterdam, Países Bajos. 1058 p.
- Hoyle JA, A Keast (1986) The effect of prey morphology and size on handling time in a piscivore, the largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Can J Zool* 65: 1972-1977.
- Johnson WW, MT Finley (1980) Handbook of acute toxicity of chemicals to fish and aquatic invertebrates. United States Department of the Interior Fish and Wildlife Service/ Resource Publication 137. Washington, D.C., EUA. 98 p.

- Khallaf EA, MMN Authman, AA Alne-na-ei (2017) Evaluation of organochlorine and organophosphorus pesticides residues in the sediment and muscles of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fish from a River Nile Canal, Egypt. *Int J Environ Stud* 75: 443-465.
- Kolanczyk RC, JA Serrano, MA Tapper, PK Schmieder (2018) A comparison of fish pesticide metabolic pathways with those of the rat and goat. *Regul Toxicol Pharmacol* 94: 124-143.
- Larisch W, KU Goss (2018) Uptake, distribution and elimination of chemicals in fish – Which physiological parameters are the most relevant for toxicokinetics? *Chemosphere* 210: 1108-1114.
- Lewis KA, J Tzilivakis, D Warner, A Green (2016) An international database for pesticide risk assessments and management. *Hum Ecol Risk Assess* 22: 1050-1064.
- López-Arroyo JI, J Loera-Gallardo (2009) Manejo Integrado de Insectos y Ácaros Plaga de los Cítricos. pp. 206-323. *In: El cultivo de los cítricos en el Estado de Nuevo León. Libro Científico No. 1.* Rocha-Peña MA, JE Padrón-Chávez (Eds) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias – CIRNE. General Terán, México. 474 p.
- Maund S, I Barber, J Dulka, J González-Valero, M Hamer, F Heimbach, M Marshall, P McCahon, H Staudenmaier, D Wustner (1997) Development and Evaluation of Triggers for Sediment Toxicity Testing of Pesticides with Benthic Macroinvertebrates. *Environ Toxicol Chem* 16(12): 2590 - 2596.
- Munn MD, RJ Gilliom, PW Moran, LH Nowell (2006) Pesticide toxicity index for freshwater aquatic organisms. II. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report. 81 p.
- NIH 2019 PubChem. National Institutes of Health. Disponible: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>. Fecha: Agosto 19, 2019.
- Pan G, HM Dutta (1998) The Inhibition of Brain Acetylcholinesterase Activity of Juvenile Largemouth Bass *Micropterus salmoides* by Sublethal Concentrations of Diazinon. *Environ Res, Section A* 79: 133-137.
- PAN International (2019) PAN International List of Highly Hazardous Pesticides. Pesticide Action Network International. Hamburgo, Alemania. 43 p.
- Polder A, MB Muller, JL Lyche, RH Mdegela, HE Nonga, FP Mabiki, TJ Mbise, JU Skaare, M Sandvik, E Skjerve, E Lie (2014) Levels and patterns of persistent organic pollutants (POPs) in tilapia (*Oreochromis* sp.) from four different lakes in Tanzania: geographical differences and implications for human health. *Sci Total Environ* 488-489: 252-260.
- Porras-Cerrón JC (2016) Comparación de Pruebas de Normalidad Multivariada. *Anales científicos* 77(2): 141-146.
- Rodríguez-Jiménez AJ (1989) Hábitos Alimenticios de *Micropterus salmoides* (pisces: Centrarchidae), *Lepomis gibbosus* (pisces: Centrarchidae) y *Gambusia affinis* (pisces: Poeciliidae) en las orillas del Embalse de Proserpina (Extremadura, España). *Limnética* 5: 13-20.
- Sabharwal AK, DK Belsare (1986). Persistence of Methyl Parathion in a Carp Rearing Pond. *Bull Environ Contam Toxicol* 37: 705-709.

- Sabra FS, ESED Mehana (2015) Pesticides Toxicity in Fish with Particular Reference to Insecticides. *Asian J Agric Sci* 3: 40-60.
- SEMARNAP (1999) Norma Oficial Mexicana NOM-024-PESC-1999. Que establece regulaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros en los embalses de la presa Vicente Guerrero, su derivadora y el canal principal, ubicados en el Estado de Tamaulipas. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación. 9 de febrero de 2000.
- SIAP 2020a. Estadística de Producción Agrícola de 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible: [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos\\_a.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php). Fecha: Junio 25, 2020.
- SIAP 2020b. Estadística de Producción Pecuaria de 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible: [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos\\_p.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_p.php). Fecha: Junio 13, 2020.
- Silva Barni MF, PM Ondarza M Gonzalez, R Da Cuna, F Meijide, F Grosman, P Sanzano FL Lo Nostro, KSB Miglioranza (2016) Persistent organic pollutants (POPs) in fish with different feeding habits inhabiting a shallow lake ecosystem. *Sci Total Environ* 550: 900-909.
- Souza DF, EL Souza, EM Borges (2016) Determination of Pesticides in Grape Juices by QuEChERS and Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *J Braz Chem Soc* 27(9): 1626-1635.
- Streit B (1998) Bioaccumulation of contaminants in fish. pp. 353-387. In: Fish Ecotoxicology. Braunbeck T, DE Hinton, B Streit (Eds) Birkhäuser Verlag, Basel, Suiza. 398 p.
- Suedel BC, JA Boraczek, RK Peddicord, PA Clifford, TM Dillon (1994) Trophic Transfer and Biomagnification Potential of Contaminants in Aquatic Ecosystems. *Rev Environ Contam Toxicol* 136: 21-89.
- Taylor AT, JM Long, MD Tringali, BL Barthel (2019) Conservation of Black Bass Diversity: An Emerging Management Paradigm. *Fisheries* 44: 20-36.
- Torres-Morales M (2000) Condición, Estructura y Relación Trófica de la Lobina Negra *Micropterus salmoides* (Lacepede) en la presa Rodrigo Gómez, "La Boca", Santiago, Nuevo León, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.
- Tsaboula A, EN Papadakis, Z Vryzas, A Kotopoulou, K Kintzikoglou, E Papadopoulou-Mourkidou (2016) Environmental and human risk hierarchy of pesticides: A prioritization method, based on monitoring, hazard assessment and environmental fate. *Environ Int* 91: 78-93.
- Uresti-Marín RM, R Santiago-Adame, NE Díaz-Morales, J Gutiérrez-Lozano, M Vázquez. JA Ramírez de León (2008) Evaluación preliminar de la presencia de pesticidas organoclorados en pescados de la Presa Vicente Guerrero (Tamaulipas, México). *Cienc Tecnol Aliment* 6(1): 48-55.
- USEPA (2000) EPA-823-R-00-001. Bioaccumulation Testing And Interpretation For The Purpose Of Sediment Quality Assessment - Status and Needs. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. 136 p.

- Vega-Vilca JC, J. Guzmán (2011) Regresión PLS y PCA como solución al problema de multicolinealidad en regresión múltiple. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones* 18: 9-20.
- Villa-Melchor JA (2016) Caracterización biométrica y molecular de dos especies del género *Micropterus* spp. en embalses de Tamaulipas. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Reynosa, Tamaulipas, México.
- Weiss CM (1961) Physiological Effect of Organic Phosphorous Insecticides on Several Species of Fish. *Trans Am Fish Soc* 90(2): 143-152.
- WHO (2009) The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification. World Health Organization. Stuttgart, Alemania. 81 p.
- Yang T, R Zhou, D Jiang, H Fu, R Su, Y Liu, H Su (2016) Rapid Detection of Pesticide Residues in Chinese Herbal Medicines by Fourier Transform Infrared Spectroscopy Coupled with Partial Least Squares Regression. *J Spectrosc* 2016: 9492030.
- Zhao Z, Y Wang, L Zhang, Y Cai, Y Chen (2014) Bioaccumulation and tissue distribution of organochlorine pesticides (OCPs) in freshwater fishes: a case study performed in Poyang Lake, China's largest lake. *Environ Sci Pollut Res Int* 21: 8740-8749.

## CONCLUSIONES GENERALES

El análisis de la distribución de residuos de plaguicidas en la presa Vicente Guerrero identificó y cuantificó la presencia de estos compuestos en sedimento y tejido muscular de lobina. El aporte de contaminantes hacia el embalse parece tener su origen en dos afluentes importantes, los ríos Corona y Purificación que, junto con el agua y sedimentos, transportan la carga química proveniente de las zonas agropecuarias localizadas en la cuenca hidrológica Río Soto La Marina. La confluencia de descargas de los afluentes hacia el centro del embalse, propicia la mayor concentración y variedad de plaguicidas en esta zona.

Los plaguicidas depositados en los sedimentos, son transferidos a la fauna bentónica y de ahí a los niveles superiores de la red trófica de la presa, como la lobina. Los hábitos alimentarios, principalmente bentónicos en las primeras etapas de desarrollo, conducen a la mayor concentración de plaguicidas en el tejido muscular de las poblaciones de lobina. Esta condición puede causar efectos letales y subletales e influir negativamente en la cantidad y calidad de individuos deseables en la pesca deportiva. Posteriormente, el cambio hacia hábitos carnívoros y la degradación metabólica de los plaguicidas por la lobina podrían disminuir la concentración en individuos adultos.

Amitraz, etión, fenoxicarb, paratión, piriproxifen y propargita fueron los plaguicidas más frecuentemente encontrados en sedimento y con mayor concentración relativa en el tejido de lobinas adultas, posiblemente debido a su estructura lipofílica estable

y persistente. El uso de estos compuestos está prohibido o restringido por instancias de observancia internacional, debido a los riesgos ecotoxicológicos asociados.

Adicionalmente, se sugiere mayor vigilancia por parte de las autoridades sanitarias, ante el consumo de otros productos de importancia comercial y de las aguas del embalse, por las comunidades aledañas. Ambos podrían representar serios problemas para la salud humana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert LA, AD Viveros (2019) Plaguicidas y Ambiente. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas para México A.C. Xalapa, Veracruz, México. 335 p.
- Carson R (1962) Silent Spring. First Mariner Books. 363 p. Nueva York, EUA.
- Delle-Site A (2001) Factors Affecting Sorption of Organic Compounds in Natural Sorbent/Water Systems and Sorption Coefficients for Selected Pollutants. *A Review J Phys Chem Ref Data* 30(1): 187-439.
- Goldman SM, RE Musgrove, SA Jewell, DA di Monte (2017) Pesticides and Parkinson's Disease: Current Experimental and Epidemiological Evidence. pp. 83-117. *In: Advances in Neurotoxicology, Environmental Factors in Neurodegenerative Diseases*. Aschner M, L. Costa (Eds) Elsevier Academic Press. Massachusetts, EUA. 278 p.
- LGS (2009) Ley General de Salud. Diario Oficial de la Federación 07 de febrero de 2009.
- Kafilzadeh F (2015) Assessment of Organochlorine Pesticide Residues in Water, Sediments and Fish from Lake Tashk, Iran. *Achiev Life Sci* 9: 107-111.
- Mateo-Sagasta J, SM Zadeh, H Turrall (2017) Water pollution from agriculture: a global review. Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Water Management Institute. Roma, Italia. 35 p.
- Pascual-Aguilar JA, V Andreu, J Campo, Y Picó, A Masiá (2017) Pesticide occurrence in the waters of Júcar River, Spain from different farming landscapes. *Sci Total Environ* 607-608: 752-760.
- Sabarwal A, K Kumar, RP Singh (2018) Hazardous effects of chemical pesticides on human health—Cancer and other associated disorders. *Environ Toxicol Pharmacol* 63: 103-114.
- Yucra S, M Gasco, J Rubio, GF González (2008) Exposición ocupacional a plomo y pesticidas órganofosforados: Efecto sobre la salud reproductiva masculina. *Rev Peru Med Exp Salud Pública* 25: 394-402.
- Zijian L, A Jennings A (2018) Global variations in pesticide regulations and health risk assessment of maximum concentration levels in drinking water. *J Environ Manage* 212: 384-394.

DOI: 10.24850/j-tyca-15-3-6

Articles

**Spatial and seasonal distribution of pesticides and clustering contamination status in a reservoir (Northeastern Mexico): Spatial analysis and multivariate approach**

**Distribución espacio-temporal de plaguicidas y clasificación de áreas de contaminación en un embalse al noreste de México: análisis espacial y multivariante**

Nazdry Briones-Escobedo<sup>1</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1871-7205>

José Antonio Rangel Lucio<sup>2</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4055-6527>

Flaviano Benavides-González<sup>3</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2972-6089>

Ausencio Azuara-Domínguez<sup>4</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1180-1538>

María de la Luz Vázquez-Sauceda<sup>5</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6988-3281>

<sup>1</sup>TecNM - Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, nazdrybriones@hotmail.com

<sup>2</sup>TecNM - Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, jose.rl@cdvictoria.tecnm.mx

<sup>3</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, flbenavides@docentes.uat.edu.mx

<sup>4</sup>TecNM - Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, azuarad@gmail.com

<sup>5</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, mvazquez@docentes.uat.edu.mx

Autor para correspondencia: José Antonio Rangel Lucio,  
jose.rl@cdvictoria.tecnm.mx

## Abstract

This study focused on the analysis of the spatial and temporal distribution of 13 pesticides in sediment and largemouth bass (*Micropterus* spp.) tissue, by spatial and multivariate analysis techniques in the “Vicente Guerrero” dam (Tamaulipas, Mexico). The concentration of the compounds was obtained by HPLC-MS/MS using the QuEChERS extraction procedure. The mean pesticide concentration varied in sediment from 0.37 to 8.33  $\mu\text{g/kg}$ , and in largemouth bass from 0.05 to 2.88  $\mu\text{g/kg}$ . Spatial variation was significant at the five sampled sites, both in