



---

---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

Variación Fenotípica del Caparazón y Quela de

*Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf.

TESIS DE INVESTIGACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**B I Ó L O G O**

P R E S E N T A:

**KARLA MARIANA OSORIO FLORES**

DIRECTOR DE TESIS

M. en C. José Luis Viveros Legorreta

Los Reyes Iztacala, Estado de México, 2018





Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



## **AGRADECIMIENTOS**

El presente trabajo de tesis fue dirigido por el M. en C. José Luis Viveros Legorreta junto con el apoyo del Biol. Edgar Peláez Rodríguez con quienes estaré agradecida siempre por apoyarme en lo que parecía una tarea imposible. Por aventarse a esta misión conmigo y no solo no desanimarme, todo lo contrario, apoyarme, así como también por la gran amistad que me brindaron desde el principio. GRACIAS.

A mis sinodales, M. en C. Jonathan Franco López, Biol. Edgar Peláez Rodríguez, Biol. Rodolfo Becerril Millán y al Biol. Carlos Manuel Bedia Sánchez por aceptar y apoyar este proyecto de tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por abrirme sus puertas para caminar a través del conocimiento no solo de la Biología sino también de otras ramas del saber que han sido parte importante de mi formación personal y profesional.

*“...mi corazón azul es y mi piel dorada, siempre te querré”*

## DEDICATORIA

A mis padres, Jesús Osorio y Carmen Flores que me enseñan más de lo que he aprendido en un salón de clases, que me inspiran a soñar, mi más grande apoyo en cualquier momento o situación y que me han demostrado que hasta las metas que parecen imposibles, se pueden lograr. De quienes aprendí a hacer bien las cosas, a pensar y razonar. Las palabras jamás serán suficientes para decirles lo agradecida que estoy con ustedes.

A mi hermano, Rafael Osorio que apoya mis decisiones y me da ánimos cuando más los necesito para seguir avanzando, que está conmigo en todo momento siendo uno de mis pilares más fuertes, quien me hace reír en momentos tristes y hace amenos los buenos ratos, el que me da la mano cuando necesito levantarme. Me has enseñado mucho más de lo que yo te enseñado a ti, hermanito. Gracias.

A mi Chule que me ha acompañado en todas las noches de desvelo, en mis buenos y malos ratos, en los peores días, quien me brinda todo su amor y su compañía desde el principio, quien ha estado ahí desde siempre y sin importar nada hace lo que puede por animarme sin la necesidad de comunicarnos con palabras 🐶

A Daniel Morales, colega, amigo, hermano, quien me ha brindado su ayuda, su apoyo incondicional, su gran amistad y sus grandes consejos a lo largo de todos estos años los cuales llevaré siempre conmigo. No serás mi hermano de sangre pero sí de corazón.

A David, parte importante en mi vida; que siempre ha estado conmigo en los buenos, malos y peores días, quien me ha apoyado, quien me ha hecho romper muchas de mis murallas y me inspira a hacer cosas que jamás me hubiera atrevido a hacer, quien me ha escuchado siempre, quien nunca me ha dejado caer. Gracias por las grandes lecciones que aprendo contigo y sobre todo merci de m'avoir fait voir...

*la vie en rose... 🎵*

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>RESUMEN</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b>   |           |
| I.1. BIOLOGÍA GENERAL .....                                      | 7         |
| I.1.1. DIAGNOSIS.....  | 8         |
| I.2. DISTRIBUCIÓN .....  | 9         |
| I.3. VARIACIÓN MORFOLÓGICA.....                                  | 11        |
| I.4. MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA.....                                 | 12        |
| <b>II. ANTECEDENTES</b> .....                                    | <b>14</b> |
| <b>III. JUSTIFICACIÓN</b> .....                                  | <b>16</b> |
| <b>IV. HIPÓTESIS</b> .....                                       | <b>17</b> |
| <b>V. OBJETIVOS</b>  |           |
| V.1. OBJETIVO GENERAL .....                                      | 17        |
| V.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....                                 | 17        |
| <b>VI. ÁREA DE ESTUDIO</b> .....                                 | <b>18</b> |
| <b>VII. MATERIALES Y MÉTODO</b>                                  |           |
| VII.1. CAPTURA DE ORGANISMOS Y DETERMINACIÓN DE LA ESPECIE ..... | 19        |
| VII.2. REGISTRO MORFOMÉTRICO .....                               | 19        |
| VII.3. MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA .....                              | 20        |
| VII.4. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO GEOMÉTRICO .....                    | 22        |
| VII.5. FOTOGRAFÍAS A MICROSCOPIA ELECTRÓNICA .....               | 22        |
| <b>VIII. RESULTADOS</b>  |           |
| VIII.1. REGISTRO MORFOMÉTRICO.....                               | 23        |
| VIII.2. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO                                    |           |
| VIII.2.1. CAPARAZÓN .....  | 28        |
| VIII.2.1. QUELA.....   | 31        |
| <b>IX. DISCUSIÓN</b>   |           |
| IX.1. REGISTRO MORFOMÉTRICO.....                                 | 35        |
| IX.2. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO                                      |           |
| IX.2.1. CAPARAZÓN .....  | 38        |
| IX.2.2. QUELA.....   | 40        |
| <b>X. CONCLUSIONES</b> .....                                     | <b>42</b> |
| <b>XI. RECOMENDACIONES</b> .....                                 | <b>43</b> |
| <b>XII. REFERENCIAS</b> .....                                    | <b>44</b> |

## RESUMEN

*Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. es una especie de crustáceo que se distribuye en el centro de México, estos acociles tienen gran importancia en la cadena trófica pues se ha demostrado que pueden modificarlas al cambiar su tipo de alimentación pues consumen cantidades importantes de macrófitas, así como invertebrados, peces pequeños, microorganismos y semillas, sirven de presa a una amplia variedad de organismos, además son depredadores tanto de vertebrados como de invertebrados en los cuerpos de agua donde desarrollan su ciclo de vida.

La distribución de estos acociles es muy amplia lo que genera una heterogeneidad en su hábitat que tiene como consecuencia una variación morfológica entre los organismos. Se han reportado para otras especies de crustáceos variaciones en la morfología relacionadas con las condiciones ambientales en la que se encuentra su hábitat, teniendo así como objetivo analizar las variaciones morfológicas en caparazón y quela de dos poblaciones de machos forma 1 de *P. (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. utilizando como herramienta para ello la morfometría geométrica.

Las poblaciones de crustáceos de *San Joaquín* y *El Plátano* sometidas al estudio se ubican en una zona geográfica completamente diferente a Olotla, Hidalgo donde es la especie descrita: *Procambarus hidalgoensis*. Como resultados se obtuvo que los acociles de *San Joaquín* y *El Plátano* presentaron un epistoma hexagonal y circular respectivamente a diferencia de la especie descrita de Olotla, Hidalgo donde es de forma triangular, el ápice del acumen de ambas poblaciones alcanza el segundo segmento de las anténulas y en la especie de Olotla alcanza el tercero, la dirección de la estría del annulus ventralis en hembras en las poblaciones de este estudio se encuentra del lado izquierdo y para la especie de Olotla se encuentra del lado derecho, la forma de los procesos mesiales de los pleópodos en *San Joaquín* y *El Plátano* son planos, con pequeños vértices en la parte media y terminan en una trifurcación lo que no sucede en la especie de Olotla donde son cónicos y lisos. El análisis morfométrico mostró que no existen diferencias significativas entre los caparazones de las dos poblaciones de acuerdo con el valor de Mahalanobis de 2.28 con un *P-value* 0.40, ni en las quelas con valor de 2.78 y un *P-value* de 0.01, sin embargo, el análisis arrojó una elevada variabilidad morfométrica dentro de cada población.

Concluyendo que las poblaciones de *El Plátano* y *San Joaquín* presentan una variabilidad fenotípica intrapoblacional amplia de acuerdo con los valores de Procrustes y una diferencia morfométrica respecto a la especie de Olotla.

## I. INTRODUCCIÓN

### I.I. Biología general

*Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis*. Pertenece al reino Animal, filo Artrópoda, clase Malacostraca, orden Decápoda, familia Cambaridae, género *Procambarus* (López-Mejía *et al.*, 2005; Álvarez *et al.*, 2010).

Su ciclo de vida está adaptado a las condiciones cíclicas de niveles bajos y altos del nivel de agua de los ríos donde habitan. Los organismos maduros se aparean en aguas abiertas y los espermatozoides son almacenados en un receptáculo seminal (annulus ventralis) en la parte inferior de la hembra. La hembra madura expulsa óvulos grandes y oscuros por los oviductos para ser fertilizados externamente por los espermatozoides para después adherirse a los pleópodos. Al nacer las crías se unen al abdomen de la madre lo que la hace susceptible a depredadores (McClain & Romaine, 2007).

Estos crustáceos pueden ser herbívoros, detritívoros, omnívoros y carnívoros obligados. Los alimentos que consumen van desde semillas, algas, microorganismos y también pueden ingerir invertebrados más grandes, además de peces pequeños pero esa variedad de alimentos difiere en cada hábitat, mientras que las plantas se consideran el recurso más abundante. En su mayoría consumen la parte fibrosa de las plantas cuando los demás recursos escasean. Estos animales son una fuente de nutrición de alta calidad para otro tipo de animales pero para que los acociles tengan gran valor nutricional deben a su vez consumir alimentos con alto contenido proteico (McClain & Romaine, 2007). Se ha observado que los

acociles pueden modificar las cadenas tróficas al cambiar su tipo de alimentación (Nyström *et al.*, 1996; Álvarez & Rangel, 2007) puesto que pueden consumir cantidades importantes de macrófitas (Lodge & Lorman, 1987; Nyström & Strand, 1996; Álvarez & Rangel, 2007), servir de presa a una amplia variedad de organismos (Foster & Slater, 1995; Davis *et al.*, 1999; Hinojosa-Garro & Zambrano, 2004; Álvarez & Rangel, 2007), así como ser depredadores tanto de vertebrados como de invertebrados en los cuerpos de agua donde se encuentran (Foster & Slater, 1995; Nyström *et al.*, 2001; Ságová-Marecková, 2002; Álvarez & Rangel, 2007).

### **I.I.I. Diagnosis**

La coloración del cuerpo varía entre café oscuro hasta un verde oscuro. Presentan ojos compuestos, facetas bien definidas. Los quelípedos son más cortos que la longitud total del cuerpo. Epistoma semitriangular, ángulos laterales bien definidos con márgenes ligeramente ondulados (López-Mejía *et al.*, 2005).

Proceso cefálico espiniforme, con punta plana dirigida centralmente. Proceso caudal espatulado, ligeramente quitinoso, cóncavo hacia el proceso mesial. Annulus ventralis con una placa preanular tubular con dos fuertes crestas laterales que se extienden lateralmente. Annulus romboidal con dos fuertes crestas laterales, formando una profunda depresión en forma de V en la parte anterior, parcialmente cubierta por una placa preanular, la mitad posterior de la cresta curvada lateralmente, cada vez menos definida (López-Mejía *et al.*, 2005).

Los quelípedos son 1.7 veces la longitud del caparazón, presentan quelas largas, delgadas, ligeramente ovadas lateralmente, 3 veces más largas que anchas, cubiertas con pequeños tubérculos romos diseminados. La palma es 1.6 veces más larga que ancha con la superficie cubierta de tubérculos, formando una fila irregular a lo largo de la superficie mesial (López-Mejía *et al.*, 2005).

## **I.2. Distribución**

Las especies de procambaridos del subgénero *Ortmannicus* Fowler, 1912, se distribuyen en el sur de Estado Unidos y en el centro de México donde se han registrado seis especies de ese subgénero: *Procambarus cuevachicae* Hobbs, 1941, *P. toltecaae* Hobbs, 1943, *P. gonopodocristatus* Villalobos, 1958, *P. caballeroi* Villalobos, 1944, *P. villalobosi* Hobbs, 1969, and *P. xilitlae* Hobbs & Grubbs, 1982. Estas especies habitan en ríos, arroyos y cuevas con gran variedad de condiciones abióticas. Su distribución en la porción central de la Sierra Madre Oriental comprende localidades en un rango de altitudes de entre los 155-1600 msnm (López-Mejía *et al.*, 2005).

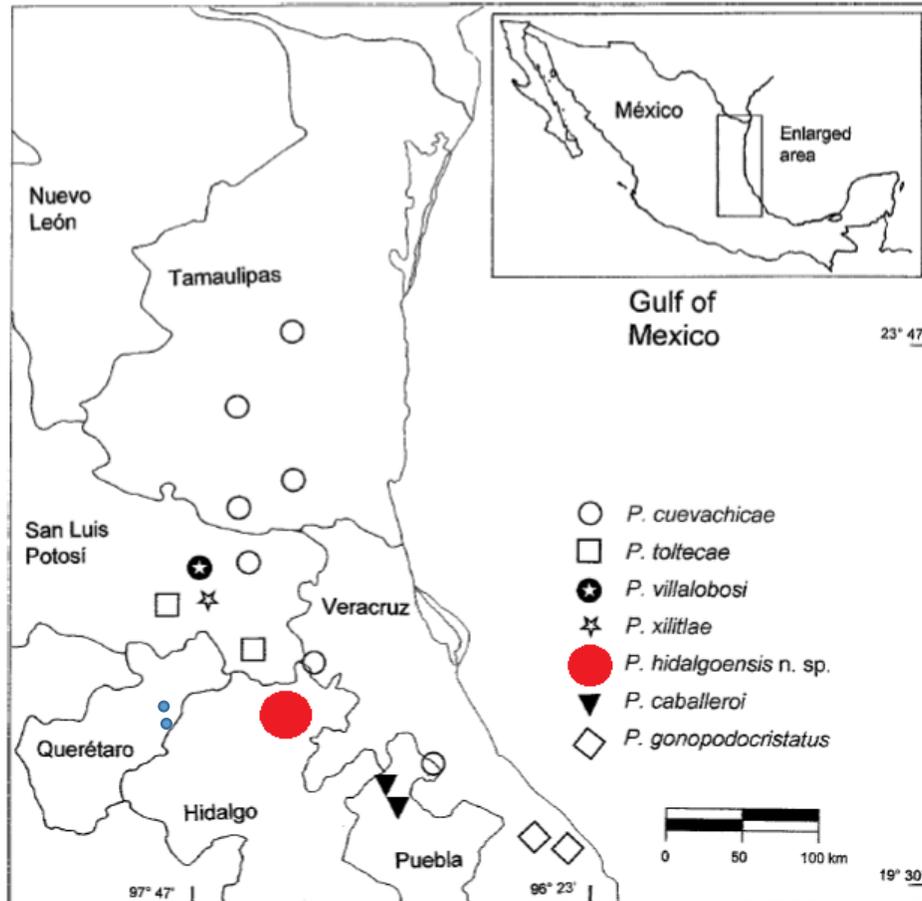


Figura 1. Mapa de distribución del subgénero *Ortmannicus* en México. En rojo el área de distribución de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis*. Obtenido de López-Mejía *et al.*, 2005. En azul las áreas de colecta de las dos poblaciones sometidas a este estudio.

*P. (Ortmannicus) hidalgoensis* ha sido encontrada solamente en un afluente del Río Pánuco en la localidad tipo en Camino a Olotla, al este de Tlanchinol en el estado de Hidalgo a una altitud de 1375 msnm. Habita en sistemas de agua en bosque de niebla, donde la temperatura del agua rara vez supera los 15 °C. (López-Mejía *et al.*, 2005; Álvarez *et al.*, 2010).

### **I.3. Variación morfológica**

El éxito de los organismos acuáticos varía con la historia de vida o los rasgos funcionales. Los rasgos variables frecuentemente varían con los cambios ambientales (Schilderman *et al.*, 1999; Hawkins *et al.*, 2000; Etchison, 2011). Los organismos generalistas o con gran variación morfológica pueden ocupar una amplia gama de hábitats (Haas *et al.*, 2010; Langerhans *et al.*, 2007; Etchison, 2011). La variación morfológica es un instrumento poco utilizado como mecanismo explicativo del éxito de colonización en múltiples hábitat de taxa acuáticos (Dunithan *et al.*, 2012; Etchison, 2011).

Por ejemplo, el cangrejo *Procambarus virginalis* es una especie de crustáceo cuya reproducción es por partenogénesis, esto originado de macromutaciones de *Procambarus fallax* lo cual ha dado como resultado una mayor adaptabilidad a diferentes tipos de condiciones ambientales convirtiéndose así en una especie altamente invasora. La generación de esa diversidad genética se conforma de un conjunto de factores que incluyen la mutabilidad intrínseca del genoma, factores ambientales, deriva genética y presión selectiva. El análisis de estas mutaciones ayuda a detectar los factores específicos que llevaron a ese tipo de cambios (Gutekunst *et al.*, 2018).

La plasticidad fenotípica es una estrategia evolutiva por la cual un organismo puede alterar la expresión de su genotipo (Brian *et al.*, 2006; Haddaway *et al.*, 2012), lo cual permite al organismo alterar su morfología o su comportamiento (West-Eberhard, 2003; Haddaway *et al.*, 2012). Los organismos con poca plasticidad pueden estar adaptados localmente, la falta de adaptación fenotípica puede resultar

en la extinción después de una reubicación a nuevas condiciones ambientales. Sin embargo, un alto grado de plasticidad fenotípica puede permitir que los animales se adapten rápidamente física y conductualmente a las nuevas condiciones ambientales (West-Eberhard, 2003; Uller, 2008; Badyaev, 2009; Badyaev & Uller, 2009; Haddaway *et al.*, 2012).

#### **I.4. Morfometría geométrica**

La morfometría es el estudio cuantitativo de la variación de las formas biológicas (Bookstein, 1996; UTM, 2015) mientras que la morfometría geométrica analiza la forma de los organismos o de sus estructuras, considerando el espacio geométrico y empleando métodos estadísticos multivariados (UTM, 2015).

Las mediciones morfométricas combinadas con análisis multivariante ofrecen una buena herramienta para explorar las diferencias entre grupos de organismos (Saila & Flowers 1969; Chambers *et al.*, 1979; Winans, 1984; Murta, 2000; Palma & Andrade, 2002; Sint *et al.*, 2005). Según estos autores la morfología de un animal refleja su entorno, esta depende de la información genética (Saila & Flowers, 1969). Por lo tanto la morfometría puede utilizarse para distinguir poblaciones sin ser tan costosa como el análisis genético.

Los primeros trabajos para medir el grado de diferenciación morfológica en una especie se realizaban utilizando distancias anatómicas que podían ser analizadas con una diferencia en las medias o con métodos multivariantes, sin embargo, es vista como un análisis estadístico o algebraico más que de la forma de un

organismo. Por otro lado, la utilización de la morfometría geométrica como una herramienta nos permite cuantificar el grado de variación de la forma de una población, utilizando como referencia coordenadas cartesianas en estructuras anatómicas simples o de tipo taxonómicas para extraer su forma abstracta utilizando marcas. Para la localización de estas marcas o estructuras homólogas en los organismos se utilizan *landmarks*, que son lugares anatómicos que no alteran su posición topológica relativamente a otros *landmarks*, proveen una cobertura adecuada de la forma y pueden ser ubicados repetidamente entre un organismo y otro (Zedlitch *et al.*, 2004; UTM, 2015). En ocasiones es difícil establecer *landmarks* ya sea porque la estructura es plana o lisa o porque no cubre totalmente la estructura a analizar, para solucionar esta limitante, se utilizan puntos distribuidos uniformemente a lo largo de esta superficie, conocidos como *semilandmarks* (Bookstein, 1991; UTM, 2015).

Las variaciones morfológicas de las poblaciones se pueden observar con rejillas de transformación que representan las diferentes formas de los organismos en un espacio euclidiano (su distribución en el ACP (Análisis de Componentes Principales)).

## II. ANTECEDENTES

Huner & Romaire en 1978 estudiaron poblaciones de *Procambarus clarkii* en aguas profundas estables de la cuenca de Atchafalaya en Louisiana y encontraron que el tamaño del cuerpo estaba directamente influenciado por la calidad del hábitat. Bajo esas condiciones estables, junto con bajas densidades de población se encontraron cangrejos desde los 8.4 cm LT a 13.5 cm LT.

Chambers *et al.*, 1979 demostraron que los organismos de dos poblaciones de *Cambarellus puer* presentan diferencias morfológicas con respecto al área geográfica donde se ubica su hábitat. Además el ambiente influye en el tamaño más que en la forma.

Chambers *et al.*, 1980 indican que los pleópodos de machos forma 1 de *Cambarellus puer* presentan heterogeneidad por localidades en su morfología.

Mort, 1989; Sorensen & Sterner, 1992; Burns, 2000; Lass & Spaak, 2003; Laforsch & Tollrian, 2004; Zuykova *et al.*, 2013 demostraron que diversos factores en otras especies diferentes a *P. (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. pueden provocar cambios en la morfología, en el caso de especies de *Daphnia* pueden variar morfométricamente dependiendo de la temperatura del agua, turbulencia o presencia/ausencia de depredadores.

Rojas *et al.*, en 2002 analizaron variaciones morfológicas en 5 poblaciones de *Cambarellus (Cambarellus) montezumae* encontrando diferencias significativas entre las mismas, cuando se pensaba que existía una morfología uniforme en toda el área de distribución.

Giri & Paggi, 2006 indican que es difícil definir un rango de variaciones morfológicas para el estudio de diferentes especies, junto con Rohlf, 1999 señalan que la morfometría geométrica representa un nuevo enfoque en el estudio de la variación y covariación de las estructuras biológicas.

Sint *et al.*, 2005 encontraron que en *Astacus astacus* y *Austropotamobius pallipes* existe una diferencia entre poblaciones que no solo se refleja en análisis genéticos, sino también en sus características morfométricas. También indica que el factor predominante en la variación morfológica es la distribución de los organismos en un área geográfica. Estas variaciones fenotípicas pueden indicarnos una separación prolongada para dar como resultado el inicio de una separación de especies.

Rufino *et al.*, 2006 encontraron diferencias morfológicas en la forma del caparazón de *Liocarcinus depurator* relacionadas al género y la ubicación de los organismos, utilizando la morfometría geométrica como herramienta.

Etchison *et al.*, 2011 encontraron una covariación entre la morfología y la variación ambiental en *Orconectes rusticus* dada al éxito de ese taxón para habitar múltiples hábitats. Asimismo indicaron que las hembras tienen mayor plasticidad morfológica con variación ambiental a diferencia de los machos.

### III. JUSTIFICACIÓN

Muchas de las especies de *Procambarus* presentan una dificultad de tipo taxonómica cuando se quiere identificarlas, debido a las diferencias morfológicas que se presentan a consecuencia de su distribución amplia en diferentes hábitats por lo que esa heterogeneidad ambiental hace que la plasticidad fenotípica pueda ser muy grande. La información existente hasta el momento es insuficiente para poder discernir morfológicamente entre poblaciones de la misma especie, por ejemplo para las poblaciones de *P. (Ortmannicus) hidalgoensis* en San Joaquín y Pinal de Amoles en Querétaro presentan diferencias morfológicas por lo que es importante hacer más análisis de dichas poblaciones utilizando la morfometría geométrica como una herramienta óptima para los primeros estudios morfológicos de este acocil y así diferenciar el grado de plasticidad morfológica que presentan.

#### **IV. HIPÓTESIS**

Especies de la familia Cambaridae tienen una amplia distribución que las ha llevado a presentar una variación morfológica, entonces al haber heterogeneidad en el ambiente, se presentara una variación fenotípica en los machos forma 1 de las poblaciones de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf.

#### **V. OBJETIVOS**

##### **V.1. Objetivo general**

- Analizar la variación fenotípica de caparazón y quelas de machos forma 1 de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf.

##### **V.2. Objetivos particulares**

- Utilizar como herramienta la morfometría geométrica para el análisis de las variaciones morfológicas de macho forma 1.
- Tomar fotografías en Microscopio Electrónico de los procesos apicales de los pleópodos de forma 1.

## VI. ÁREA DE ESTUDIO

La localidad del *El Plátano* se ubica en el municipio de Pinal de Amoles a 2,400 msnm y *San Joaquín* dentro del municipio de San Joaquín a 2,440 msnm, ambos en el estado de Querétaro, dentro de la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda de Querétaro.

Pertencen a la región hidrológica del río Pánuco, la cual se encuentra situada geográficamente entre los 19° 01' y 23° 50' latitud norte, y entre 97° 46' y 101° 21' longitud oeste; tiene un área aproximada de 84,956 km<sup>2</sup> (Pereyra *et al.*, 2010). El río Extoraz pertenece a esta región hidrológica y es el área de colecta de los organismos.

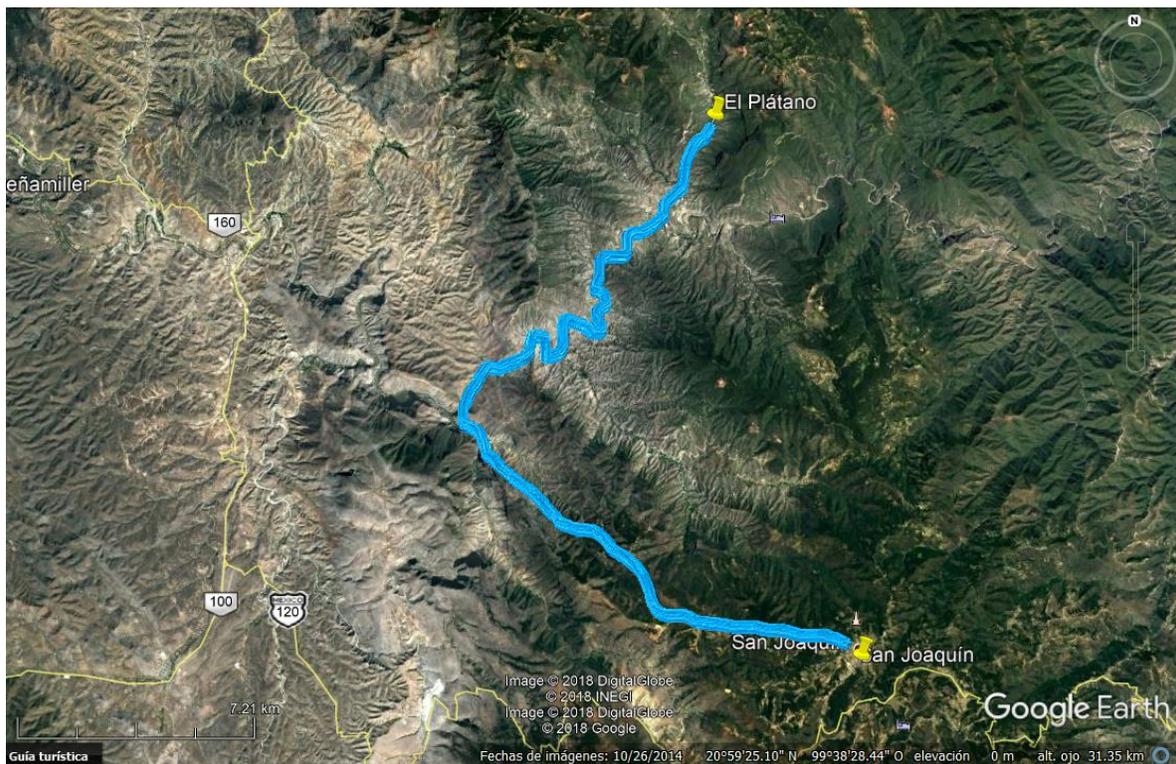


Figura 2. Ubicación geográfica de las área de colecta de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. En amarillo las localidades y en azul el río Extoraz. Obtenido de Google Earth Pro.

## **VII. MATERIALES Y MÉTODO**

### **VII.1. Captura de organismos y determinación de la especie**

Los organismos fueron colectados en las localidades de *El Plátano* y *San Joaquín*, ambos ubicados en la Sierra Gorda del estado de Querétaro. Para determinar la especie se utilizaron las claves de Hobbs (1972) tomando como referencia *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis*.

### **VII.2. Registro morfométrico**

Se tomaron medidas de longitud total de caparazón que va de la punta del ácumen al margen posterior del telson (LTC), ancho total (AT), longitud total de areola (LA), ancho de la areola (A), longitud de escama antenal derecha (LE), ancho de escama antenal derecha (AE), longitud de quela derecha (LQ) y ancho de quela derecha (AQ) con un vernier digital marca Truper proporcionado por el laboratorio de Ecología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (Jasso-Maldonado, 2016).

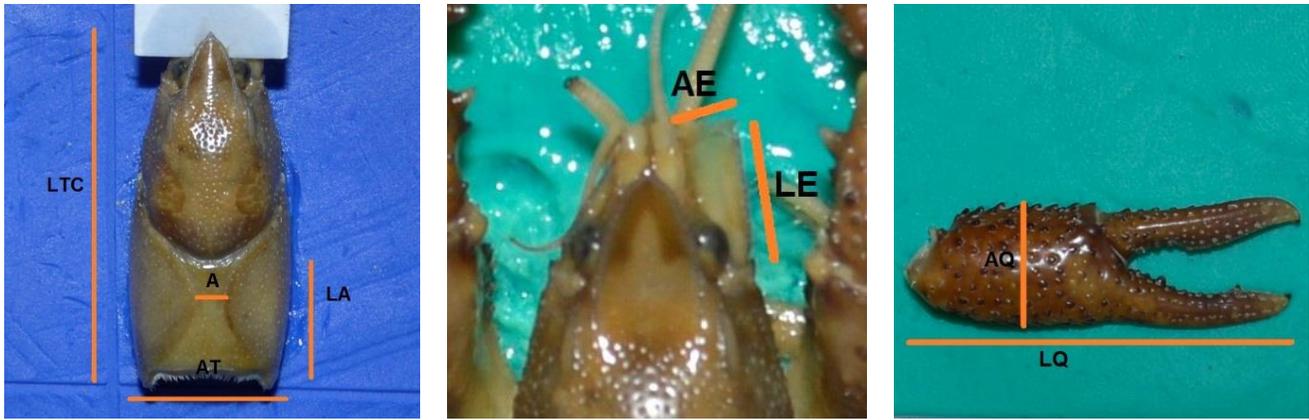


Figura 3. Fotografías donde se indica la ubicación en las estructuras de las medidas para el registro morfométrico de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. donde longitud total de caparazón que va de la punta del ácumen al margen posterior del telson (LTC), ancho total (AT), longitud total de areola (LA), ancho de la areola (A), longitud de escama antenal derecha (LE), ancho de escama antenal derecha (AE), longitud de quela derecha (LQ) y ancho de quela derecha (AQ)

### VII.3. Morfometría geométrica

Se utilizaron técnicas de morfometría geométrica basadas en *landmarks*, los cuales se determinarán por medio de radianes en el caparazón y quela de los organismos. Los *landmarks*, contienen información de la forma, tamaño, orientación y posición de los objetos, por lo cual no son adecuados para los análisis estadísticos de la forma (Mitteroecker *et al.*, 2013). Para remover toda la información adicional, se utiliza un Análisis Generalizado de Procrustes (GPA abreviado en inglés) (Rohlf & Slice, 1990).

A los acociles se les retiraron con unas pinzas de disección las quelas derechas y se retiró el abdomen junto con los pereopodos y las coxas de los mismos para dejar descubierto el caparazón con la finalidad de obtener fotografías claras.

Se tomaron fotografías de la parte dorsal del caparazón con una cámara Nikon modelo D-3200 apoyada en un tripie. Los *landmarks* de las fotografías fueron procesados con el software Tps Dig2 versión 2.17 (Jasso-Maldonado, 2016).

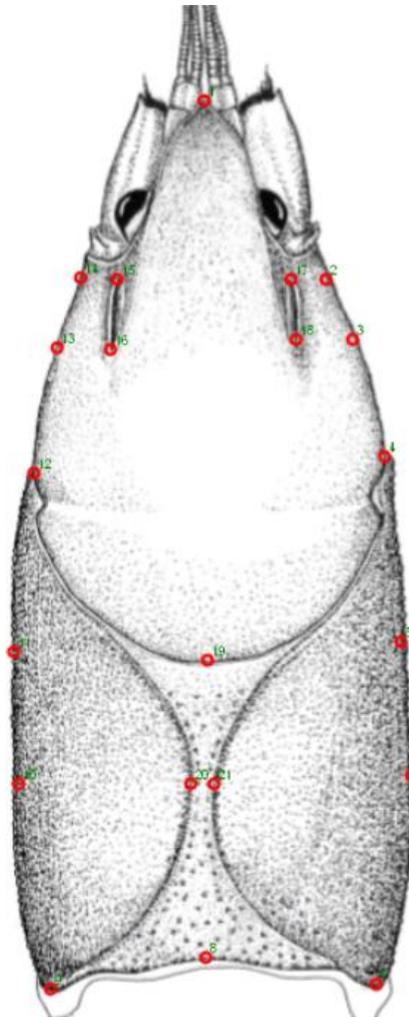


Figura 4. Localización de los 21 *landmarks* marcados en el caparazón para el análisis morfométrico. Obtenido de López-Mejía *et al.*, 2005.

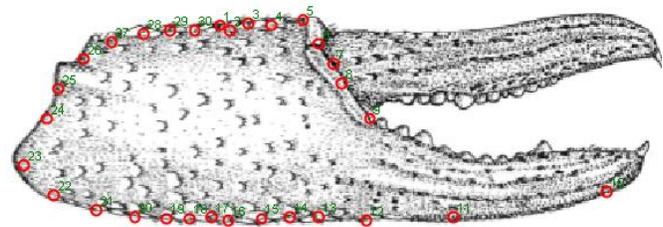


Figura 5. Localización de los 30 *landmarks* marcados en la quela para el análisis morfométrico. Obtenido de López-Mejía *et al.*, 2005

Los *landmarks* ubicados tanto en el caparazón como en la quela para definir distancias morfométricas son los que corresponden al largo y ancho, los restantes se consideran *semilandmarks*.

#### **VII.4. Análisis morfométrico geométrico**

Los datos que se obtuvieron de los *landmarks* fueron procesados en el programa Morpho J versión 1.06 d. (Trevisan *et al.*, 2012)

Se utilizó el análisis de Procrustes para observar la separación de los caracteres morfométricos dentro de las poblaciones trabajadas y un Análisis de Variación Canónica, para observar diferencias entre las mismas mediante un análisis multivariado de varianza entre poblaciones (Jasso-Maldonado, 2016).

#### **VII.5. Fotografías a microscopía electrónica**

Se tomaron fotografías de los pleópodos de machos forma 1, del annulus ventralis de hembra de *P. hidalgoensis*, así como también del epistoma de machos forma 1; en el microscopio electrónico de la UBIPRO en la FES Iztacala.

## VIII. RESULTADOS

### VIII.I. Registro morfométrico

Se presentan las medias junto con la desviación estándar de los datos obtenidos a partir de las mediciones realizadas en cada uno de los organismos de ambas localidades en la tabla 1, mostrando en naranja las medidas donde se presentó una mayor desviación estándar con respecto a todos los registros obtenidos; teniendo así que la longitud total del caparazón junto con la longitud total de la quela derecha son las medidas que presentan una mayor variación.

Tabla 1. Medias y Desviaciones Estándar de las medidas tomadas de los organismos de la localidad *El Plátano* y *San Joaquín*, donde: longitud total de caparazón que va de la punta del álcumen al margen posterior del telson (LTC), ancho total (AT), longitud total de areola (LA), ancho de la areola (A), longitud de escama antenal derecha (LE), ancho de escama antenal derecha (AE), longitud de quela derecha (LQ) y ancho de quela derecha (AQ). Se muestran en color naranja los registros morfométricos que presentaron una mayor variación.

|     | EL PLÁTANO    |         | SAN JOAQUÍN   |         |
|-----|---------------|---------|---------------|---------|
|     | MEDIA<br>(mm) | DESVEST | MEDIA<br>(mm) | DESVEST |
| LTC | 30.78         | 2.26    | 29.84         | 2.00    |
| AT  | 14.52         | 1.14    | 14.05         | 0.79    |
| LA  | 10.42         | 0.94    | 10.14         | 0.59    |
| A   | 1.97          | 0.37    | 2.16          | 0.30    |
| LE  | 6.21          | 0.50    | 6.00          | 0.39    |
| AE  | 3.36          | 0.25    | 3.38          | 0.38    |
| LQ  | 29.14         | 4.67    | 26.95         | 2.40    |
| AQ  | 9.05          | 1.37    | 8.60          | 1.19    |

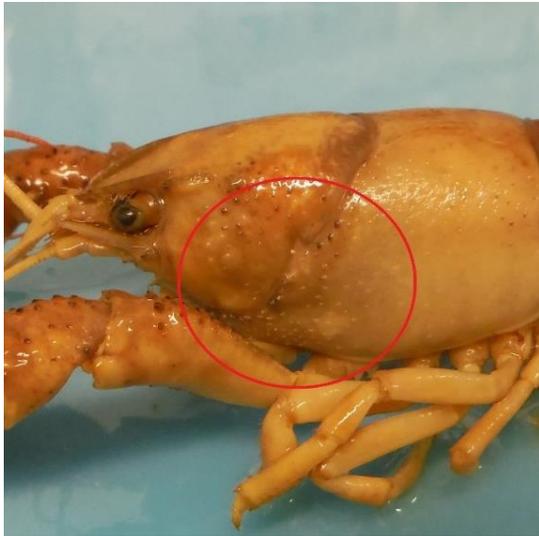


Figura 6. Fotografía de parte lateral izquierdo de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. donde se observa que no existen protuberancias laterales en el caparazón.



Figura 7. Fotografía de parte dorsal del rostro de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. donde se observa que el acumen llega al límite del segundo segmento de las anténulas.

En los acociles de ambas localidades no se encontraron protuberancias laterales en el caparazón (figura 6), tampoco hay evidencia de espinas marginales. El acumen del rostro llega al límite superior del segundo segmento de las anténulas (figura 7), excepto el acocil número 8 de la localidad de *El Plátano* el cual presentaba daños en esa parte del rostro.

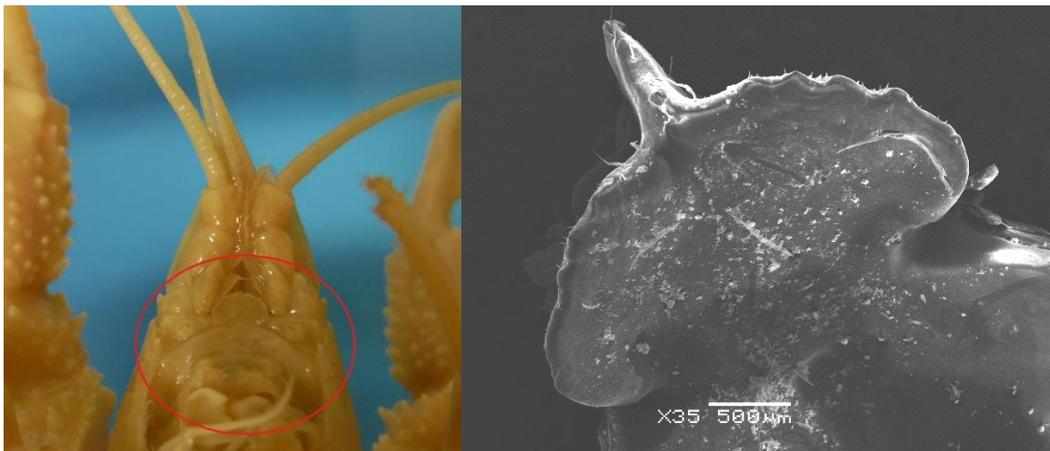


Figura 8. Fotografía del epistoma de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. A la derecha se observa que la estructura mencionada es de tipo circular, a la izquierda se observa la misma estructura tomada con microscopio electrónico.

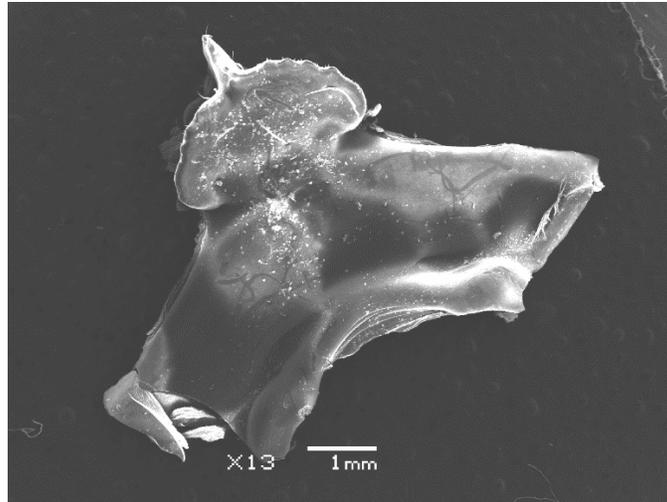


Figura 9. Fotografía tomada con microscopio electrónico del epistoma de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. donde se observa que la estructura es de tipo circular.

En el caso del epistoma se muestra una forma circular (figura 8) para los organismos de la localidad *El Plátano*, mientras que en los acociles de la localidad de *San Joaquín* esta estructura tiene una forma hexagonal.



Figura 10. Fotografía de quela derecha de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf.

Los acociles del estudio muestran una carencia de tubérculos en la superficie de la quela como se puede observar en la figura 10. El dácilo se descartó para evitar errores significativos en el análisis morfométrico debido a su movilidad.

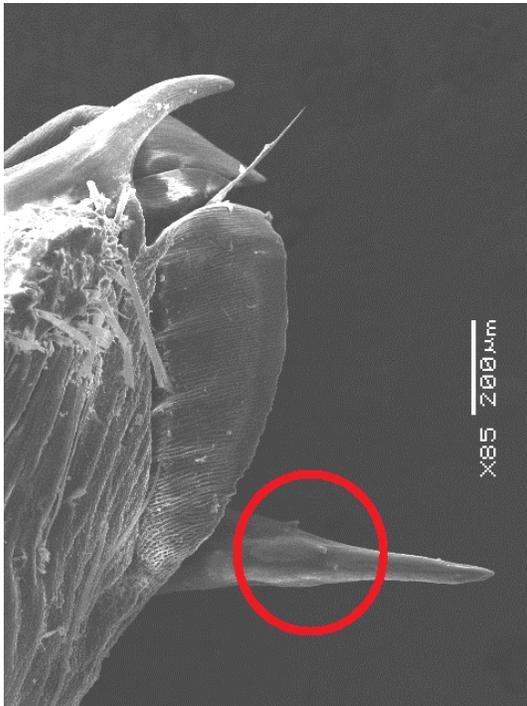


Figura 11. Fotografía a microscopio electrónico x85 del pleópodo de macho forma 1 de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. donde se señalan unos pequeños vértices en la parte media.



Figura 12. Fotografía a microscopio electrónico x70 del pleópodo de macho forma 1 de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. donde se señala una trifurcación en la cúspide.

Los pleópodos de los acociles de ambas poblaciones muestran vértices pequeños en la parte media de la estructura como se muestra en la figura 11 en lugar de tener una superficie completamente lisa. La cúspide no termina solo en una punta, presenta una trifurcación como se aprecia en la figura 12.

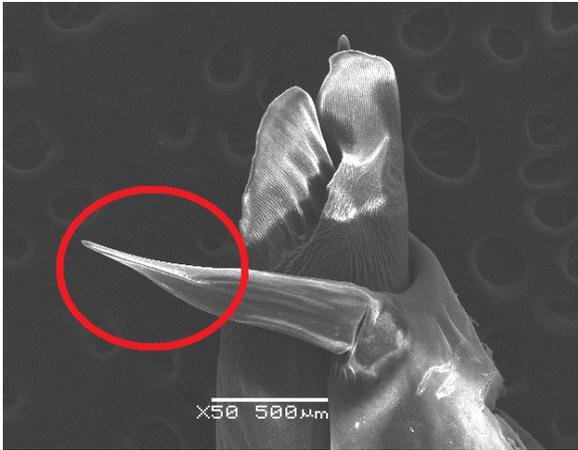


Figura 13. Fotografía a microscopio electrónico x50 del pleópodo de macho forma 1 de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. donde se señala con el círculo rojo la parte aplanada del proceso mesial.

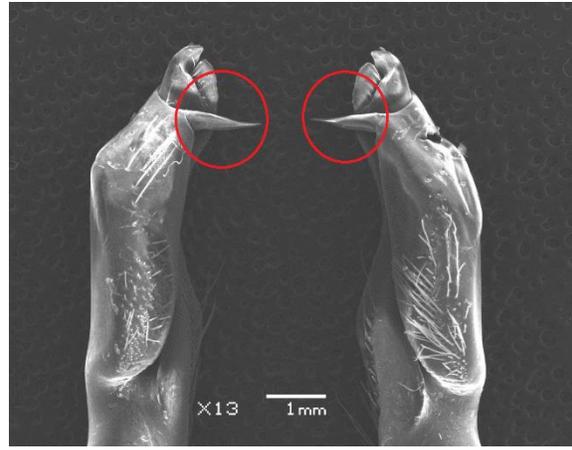


Figura 14. Fotografía a microscopio electrónico x13 de ambos pleópodos de macho forma 1 de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. donde se señala con el círculo rojo la parte aplanada de ambos procesos mesiales.

En la figura 13 se puede observar a detalle que el proceso mesial del pleópodo es plano a pesar de que la base tiene una forma cónica, lo cual se muestra en ambos procesos mesiales en la figura 14.

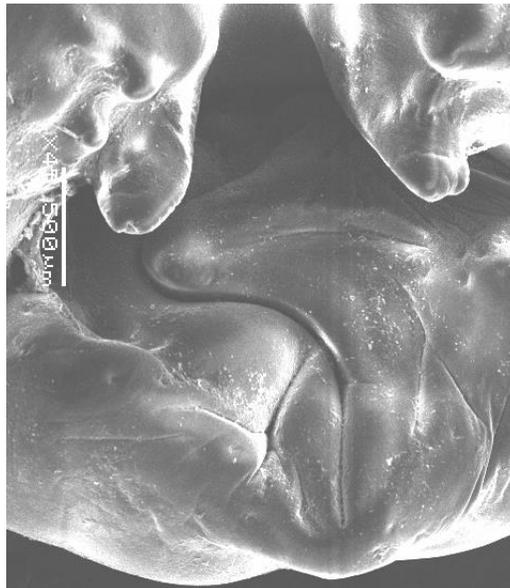


Figura 15. Fotografía tomada con microscopio electrónico del annulus ventralis de hembra de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. donde se observa que la estría se ubica de lado izquierdo

Como complemento se tomaron fotografías en microscopio electrónico del annulus ventralis de las hembras de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. donde se observa en la figura 15 que la estría se encuentra hacia el lado izquierdo.

## **VIII.2. Análisis morfométrico**

Los análisis morfométricos realizados sobre el cefalotórax y las quelas de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. permitieron diferenciar significativamente con los valores de las distancias Mahalanobis, Procrustes y sus respectivos *P-value*, las poblaciones sometidas al estudio.

El organismo número 8 de la localidad de *El Plátano* fue descartado para el análisis de caparazón debido a que presentaba daños en el ácumen, pero si fue considerado para el análisis de quelas.

### **VIII.2.1. Caparazón**

Las áreas de la rejilla de la figura 16 que presentan una deformación nos indican los puntos estructurales en donde se expone una variabilidad en el caparazón entre las dos poblaciones de *P. hidalgoensis* cf. sometidas al análisis. En la gráfica lollipop está representado con los puntos la localidad de *San Joaquín* mientras que los extremos de las líneas representan la población de acociles de *El Plátano*.

Se observa que la variabilidad del caparazón está dada por el ancho y largo del caparazón, porque en esta zona se encuentra la areola (A), una estructura taxonómica con mucha variación.

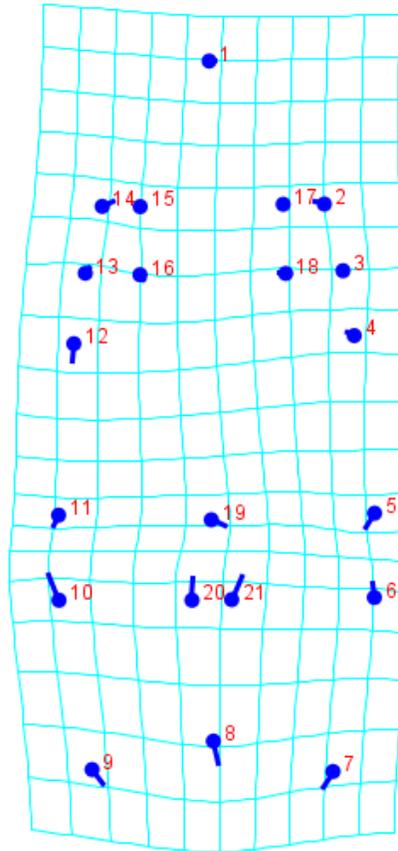


Figura 16. Gráfica de Lollipop con rejilla de transformación para el caparazón obtenida del Análisis de Variación Canónica donde los puntos representan a la población de *San Joaquín* y los extremos de las líneas a la población de *El Plátano*.

Los valores de la tabla 2 nos indican una variabilidad en la morfología de los caparazones de las dos poblaciones de *P. hidalgoensis* cf. La distancia Procrustes muestra la variabilidad que existe entre las mismas poblaciones, como resultado de las ubicaciones de los *landmarks* y *semilandmarks* a partir de coordenadas cartesianas de puntos anatómicos como se observa en la figura 16.

Tabla 2. Se muestran los valores de la distancias Mahalanobis y Procrustes además del valor de *P-value* para cada una de las distancias, obtenidas del Análisis de Variación Canónica de caparazón de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf.

| LOCALIDAD              | DISTANCIA MAHALANOBIS | P-VALUE | DISTANCIA PROCRUSTES | P-VALUE |
|------------------------|-----------------------|---------|----------------------|---------|
| El Plátano-San Joaquín | 2.28                  | 0.02    | 0.01                 | 0.40    |

La distancia Mahalanobis hace referencia a la distancia entre los centroides de las elipses de confianza de cada localidad que se muestran en la figura 17, quedando en evidencia que tienen similitud entre los acociles de *El Plátano* y *San Joaquín*.

El Análisis de Variación Canónica no muestra diferencias significativas entre las poblaciones sometidas al estudio como se puede observar en la figura 17 pero sí indica la variación presente en cada una de las poblaciones de *P. hidalgoensis*. Para la población de *El Plátano* la variación es mucho mayor 0.0095 con respecto a la de *San Joaquín* 0.0060 de acuerdo al valor de Procrustes, cabe mencionar que para los análisis de componentes el efecto de las tallas se eliminó porque solo se consideraron a los machos forma 1, indicando que la variación en el tamaño es mínima o nula.

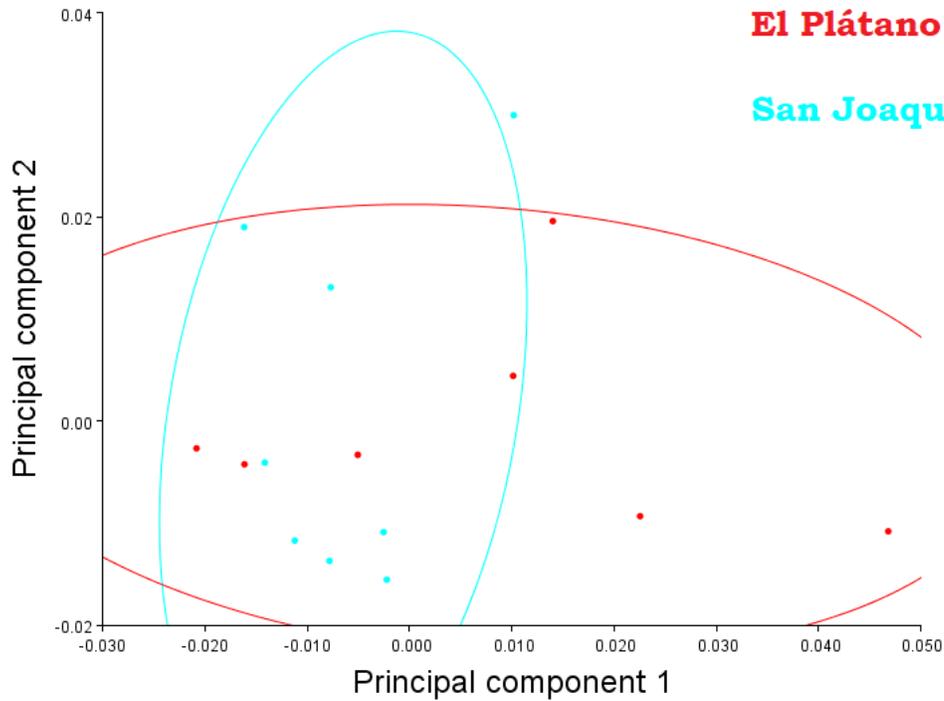


Figura 17. Gráfica de caparazón donde se muestran las elipses de confianza para cada población, mostrándose en rojo la localidad de *El Plátano* y en azul *San Joaquín*.

### VIII.2.2. Quela

Las áreas de la rejilla de la figura 18 que presentan una deformación representan los puntos estructurales en donde se expone una variabilidad en la quela entre las dos poblaciones de *P. hidalgoensis* sometidas al análisis. En la gráfica de lollipop se representa con puntos la población de *El Plátano* y los extremos de las líneas representan a la población de acociles de *San Joaquín*.

Se observa que la variabilidad de la quela está dada por el borde superior derecho de la misma, justo donde empieza el dedo móvil, a esa parte le corresponden los *landmarks* 3, 4, 5, 6 y 7. También hay que resaltar que en el vértice entre el dedo móvil y la palma se observan diferencias significativas, correspondiendo el landmark

número 9. La quela es una estructura que está altamente relacionada con su hábitat y con las condiciones que se presentan en él, por ejemplo el tipo de alimento que consumen que pueden ser plantas muy fibrosas que requieren mayor esfuerzo para cortar.

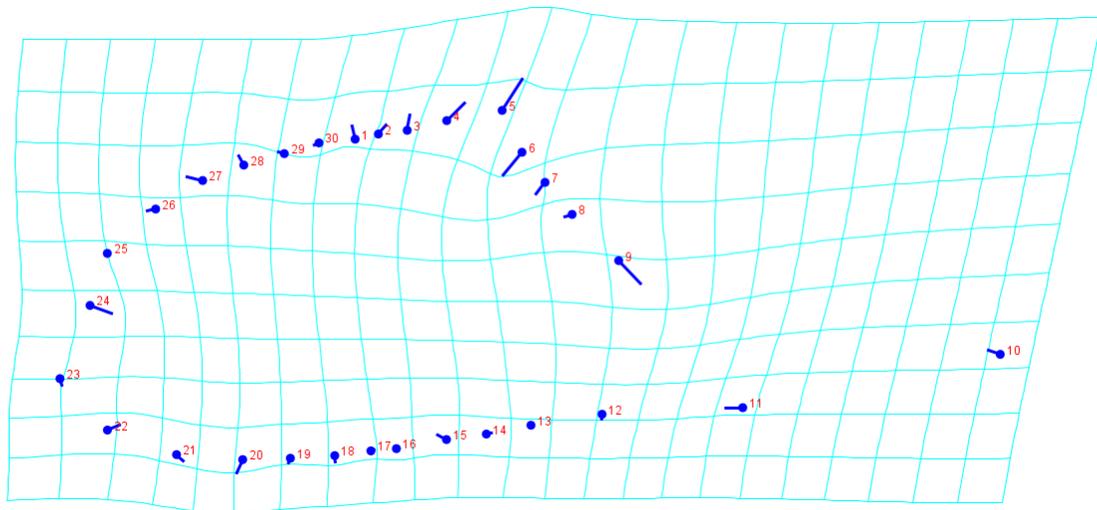


Figura 18. Gráfica de Lollipop con rejilla de transformación para la quela obtenida del Análisis de Variación Canónica donde los puntos representan a la población de *El Plátano* y los extremos de las líneas a la población de *San Joaquín*.

Tabla 3. Se muestran los valores de las distancias Mahalanobis y Procrustes además del valor de *P-value* para cada una de las distancias, obtenidas del Análisis de Variación Canónica de quela de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf.

| LOCALIDAD              | DISTANCIA MAHALANOBIS | P-VALUE | DISTANCIA PROCRUSTES | P-VALUE |
|------------------------|-----------------------|---------|----------------------|---------|
| El Plátano-San Joaquín | 2.78                  | 0.002   | 0.019                | 0.01    |

Los valores de la tabla 3 nos indican una variabilidad en la morfología de las quelas de las dos poblaciones de *P. (Ortmannicus) hidalgoensis*. La distancia Procrustes

nos indica la variabilidad que existe dentro de la misma población, como resultado de las ubicaciones de los *landmarks* y *semilandmarks* a partir de coordenadas cartesianas de puntos anatómicos como se observa en la figura 18.

El Análisis de Variación Canónica no muestra diferencias significativas entre las poblaciones sometidas al estudio como se puede observar en la figura 19 pero sí indica la variación presente en cada una de las poblaciones de *P. hidalgoensis*. Para la población de *El Plátano* la variación es mucho mayor 0.0083 con respecto a la de *San Joaquín* 0.0026 de acuerdo al valor de Procrustes

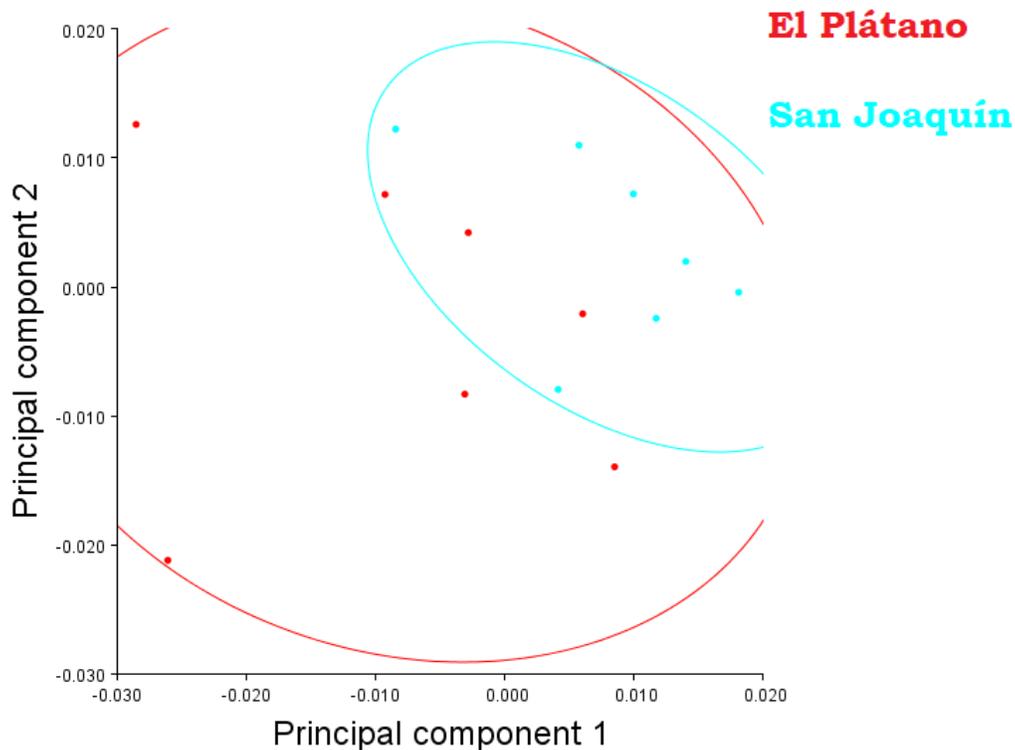


Figura 19. Gráfica de quela donde se muestran las elipses de confianza para cada población, mostrándose en rojo la localidad de *El Plátano* y en azul *San Joaquín*.

La distancia Mahalanobis hace referencia a las similitudes que existen entre las poblaciones dada por la distancia entre los centroides de las elipses de confianza de cada localidad que se muestran en la figura 19, quedando en evidencia la similitud entre los acociles de *El Plátano* y *San Joaquín*; sin embargo se aprecia que la variación dentro de cada población es mayor para *El Plátano* marcado de color rojo con respecto a la variación dentro de la población de *San Joaquín*.

La distancia Malahanobis que es la que corresponde a los centroides de las elipses es mayor en la quela con respecto al caparazón, además de tener una evidencia clara de la variación que presenta la población de *El Plátano* con respecto a *San Joaquín* como se muestra en las figuras 17 y 19. La distancia Procrustes es mayor para la quela en comparación al mismo valor obtenido para el caparazón como se observa en las tablas 2 y 3, lo que en consecuencia se refiere a que la variabilidad dentro de las poblaciones es mayor para la quela que para el caparazón.

## IX. DISCUSIÓN

### IX.I. Registro morfométrico

Las poblaciones de acociles sometidas al estudio se encuentran en un área geográfica distinta a Olotla, Hidalgo donde se encuentra la especie descrita por López-Mejía *et al.*, (2005).

Dentro de la diagnosis de *P. (Ortmannicus) hidalgoensis*, se describe al holotipo macho forma 1 con medidas de longitud total de caparazón, de 27.9 mm, comparados con los resultados obtenidos (tabla 1) se observa que no existen diferencias significativas entre *P. hidalgoensis* y los crustáceos utilizados para este trabajo dado que para la localidad del *El Plátano* la longitud total de caparazón es de 30.78 mm, mientras que para *San Joaquín* la media es de 29.84 mm.

La longitud de la areola es 5.28 veces el ancho de la misma para la localidad del *El Plátano*, lo cual coincide con lo descrito para *P. (Ortmannicus) hidalgoensis* donde la proporción es de 5.2 veces; en *San Joaquín* la relación es de 4.69 más largo que ancho. Con relación a la longitud de la areola y la longitud total del caparazón se obtuvo que la población de *El Plátano* la relación es de 2.95 y para *San Joaquín* es de 2.94 veces la longitud de la areola con respecto a la longitud total del caparazón, obteniendo un resultado similar a lo reportado con una relación de 2.3 (tabla 1).

En los resultados se puede observar que el acumen del rostro llega al límite superior del segundo segmento de las anténulas (figura 7) lo que difiere con la descripción de *P. (Ortmannicus) hidalgoensis*, pues describen que el acumen llega a la mitad

del tercer segmento de las anténulas. Por otro lado, ambos trabajos coinciden con la falta de espinas marginales.

Se encontró una diferencia cualitativa en cuanto a la forma del epistoma teniendo para *El Plátano* un epistoma visiblemente circular (figuras 8 y 9) mientras que para *San Joaquín* es en forma hexagonal, lo cual no coincide con *P. (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. donde se encontró que la forma del mismo es de carácter triangular.

En *P. (Ortmannicus) hidalgoensis* las quelas cuentan con 14 tubérculos en la superficie de las quelas (López-Mejía *et al.*, 2005) lo cual es contrastante con lo encontrado en los acociles utilizados para este estudio donde son prácticamente inexistentes como se observa en la figura 10.

Las pequeñas espinas que sobresalen en el proceso mesial de los pleópodos como se observa en la figura 11 no las presenta la especie de Olotla la cual es en su totalidad lisa, en la figura 12 se observa una trifurcación en el proceso mesial que no está presente en *P. hidalgoensis* siendo en esta especie una terminación en punta; así como también la forma aplanada de los mismos (figuras 13 y 14) en comparación a *P. hidalgoensis* donde el proceso mesial de los pleópodos son completamente cónicos. Respecto al annulus ventralis en la hembra se observa en la figura 15 que la estría tiene una dirección hacia el lado izquierdo en comparación a *P. hidalgoensis* cuya estría se encuentra de lado derecho (López-Mejía *et al.*, 2005).

Los acociles utilizados en este estudio pertenecen a una zona geográfica donde no se ha realizado ninguna descripción de la especie y donde las condiciones

ambientales son completamente diferentes en comparación con la localidad de Olotla, lugar donde se encontró la especie reportada como *Procambarus hidalgoensis*, donde la altitud es considerablemente variable, teniendo en *San Joaquín* y *El Plátano* una altitud de entre 2400 y 2440 msnm mientras que para la especie de Olotla el rango de altitud va de los 155 a los 1600 msnm, por lo tanto, tomando en cuenta los elementos taxonómicos anteriormente referidos podemos decir que comparando ambas poblaciones no existen diferencias entre ellas porque se ubican en un área geográfica que si bien presenta diferencias entre los puntos de colecta, no son lo suficientemente variables para que las presiones ambientales orillen a los acociles a presentar variabilidad entre ellos, sin embargo comparadas con la especie de Olotla, las diferencias se observan en estructuras importantes como el epistoma y los pleópodos (figuras 11-14), además de presentar diferencias en el annulus ventralis de la hembra (figura 15).

Considerando lo anterior para diferenciar a las poblaciones de *El Plátano* y *San Joaquín* con respecto a la de Olotla no existe una evidencia muy convincente de que estas poblaciones pudieran considerarse otra especie de *Procambarus*, si bien existen variaciones en las fotografías solo es un reflejo de la gran diversidad morfológica que este género presenta.

## **IX.2. Análisis morfométrico**

Se ha reportado que diferentes especies de crustáceos poseen una adaptación favorable a diversas presiones ambientales lo cual se ve reflejado en su estructura morfológica. Diferentes factores pueden provocar esta variabilidad teniendo como ejemplo la especie estudiada.

### **IX.2.1. Caparazón**

En la figura 16 se muestra de forma gráfica las diferencias en la morfología de las dos poblaciones sometidas a estudio.

La variabilidad morfológica se presenta particularmente en el ancho de la areola (figura 16), donde se encuentra una cámara branquial (Brusca & Brusca, 2005) que es en donde sucede la respiración del organismo. Por lo tanto la cantidad de oxígeno presente en el hábitat donde se desarrolla el acocil está altamente relacionado con morfología de esta estructura.

Los organismos de *San Joaquín* se encuentran en la parte de mayor altitud del río Extoraz en comparación a los organismos que se encuentran en la localidad *El Plátano* (figura 2) por lo tanto las condiciones ambientales son diferentes ya que se trata de un afluente de agua lo cual significa que las condiciones en la parte alta como en la parte más baja son heterogéneas. Lo anterior puede estar fuertemente relacionado con la morfología de los acociles pues en las partes altas de los ríos la fuerza del agua es mucho mayor por lo tanto la oxigenación del agua es mayor que en partes bajas donde la fuerza del agua disminuye teniendo un intercambio de

oxígeno mucho menor tal como lo menciona Jeffries & Mills, 1990; Haddaway *et al.*, 2012 y la disponibilidad del mismo se relaciona con la cámara branquial que es como ya se mencionó el lugar donde se lleva a cabo la respiración.

En especies americanas de cangrejos que se desarrollan en hábitats pobres en oxígeno poseen adaptaciones de caparazón que aumentan el volumen branquial, como los anchos de la areola que se presentan más estrechos en cangrejos que habitan lugares pobres de oxígeno en comparación con las especies que se encuentran en hábitats ricos en oxígeno (Hobbs, 1942; Holdich & Reeve, 1988; Haddaway *et al.*, 2012) lo cual concuerda con los resultados obtenidos pues como se observa en la figura 16 los acociles que pertenecen a la población de *El Plátano* son los que presentan un caparazón más anchos en comparación con los acociles de *San Joaquín*, en esta última localidad es donde el río tiene una altitud mayor por lo tanto hay una mayor fuerza en el movimiento del agua oxigenándola más que en la parte baja del río que es donde se encuentra *El Plátano*. El ancho de la areola, ubicado en el cefalotórax, ha sido registrado como carácter de gran variabilidad entre las poblaciones de acociles (Rojas *et al.*, 2002; Jasso-Maldonado, 2016).

En la figura 17 se observa el gráfico de elipses de confianza donde se muestra la diferencia entre ambas poblaciones, respaldado por los datos mostrados en la tabla 2 donde la distancia de Mahalanobis que señala la similitud en este caso de las poblaciones sometidas a estudio, es de valor 2.28 que es mayor a la distancia Procrustes que es de valor 0.01.

Gutekunst *et al.* (2018), reportaron para *Procambarus virginialis* una rápida invasión en diversos hábitats la cual aparentemente es independiente de variables genéticas

las cuales se consideran como las principales determinantes de la adaptación ecológica, por lo que sugieren que otros mecanismos alternativos como la plasticidad epigenética desempeñan un papel importante en la rápida adaptación en diversas condiciones ambientales de los cangrejos de río por lo tanto, que la variabilidad encontrada para *P. hidalgoensis* cf. no esté significativamente marcada entre las poblaciones pero sí dentro de las mismas nos indica su importancia para adaptarse a diferentes presiones ambientales en cada población (Savolainen *et al.*, 2013; Vogt *et al.*, 2008; Pujadas & Feinberg, 2012).

#### **IX.2.2. Quela**

Se puede observar de manera gráfica la variabilidad que presentan los acociles de *El Plátano* con respecto a los de *San Joaquín* en cuanto a la morfología de la quela derecha como lo muestra la figura 18. Esta diferencia en la forma se da en la zona donde la palma se une con el dedo móvil, siendo más ancha en los acociles de *San Joaquín* que en la población de *El Plátano*. En el caso de las dos poblaciones confrontadas en este estudio, se encontró que en *El Plátano* las quelas no fueron tan robustas en comparación a la población de *San Joaquín*.

De acuerdo con Haddaway *et al.*, (2012) las quelas más anchas en *Austropotamobius pallipes* se encontraron en organismos que vivían en sitios lénticos (Snedden, 1990; Garvey & Stein, 1993), esta variación en la morfología está relacionada con las presiones de competencia para aparearse, alimentarse y refugiarse, así como también con la presencia de depredadores (Stein & Magnuson,

1976). en contraste con lo reportado por Moctezuma en 1996 que las hembras ovígeras de *Cambarellus montezumae* ssp. *lermensis* prefieren aguas someras haciendo que la competencia para aparearse en ese tipo de condiciones sea mucho mayor. Los resultados obtenidos pueden ser explicados por el tipo de alimento presente en cada una de los hábitats de los acociles, como ya se mencionó parte importante de su dieta son plantas, entre ellas las macrófitas, las cuales debido a su naturaleza deben ser bastante resistentes a la corriente de agua por lo tanto es importante que los acociles tengan la suficiente fuerza en las quelas para cortarlas, por lo tanto como se observa en la figura 18 las diferencias morfológicas entre las quelas está dada en la parte que corresponde al dácilo, estructura que es fundamental para poder cortar su alimento, más que por la competencia con otros acociles pues también es una especie territorial como lo reporta Blank & Figler en 1996 para *Procambarus clarkii* y *Procambarus zonangulus*.

En la figura 19 se observa el gráfico de elipses de confianza donde se muestra claramente la diferencia entre ambas poblaciones, respaldado por los datos mostrados en la tabla 3 donde la distancia de Mahalanobis es de 2.78 siendo mayor que la distancia Procrustes la cual es de valor 0.019 indicando así una variabilidad significativa entre las quelas de la localidad de *El Plátano* y *San Joaquín*.

Al igual que en el caso del caparazón como lo menciona Gutekunst *et al.*, (2018), la variabilidad dentro de cada una de las poblaciones nos indica su capacidad de adaptación y por lo tanto de colonización de nuevos hábitats (Savolainen *et al.*, 2013; Vogt *et al.*, 2008; Pujadas & Feinberg, 2012).

## X. CONCLUSIONES

- Considerando la hipótesis planteada las poblaciones de acociles sometidas al estudio arrojaron diferencias estructurales en el epistoma, los procesos mesiales y en annulus ventralis de la hembra con respecto a la especie de Olotla, mostrando una variación fenotípica.
- Los machos forma 1 de *El Plátano* y *San Joaquín* de *Procambarus (Ortmannicus) hidalgoensis* cf. empleados en este estudio presentan variación fenotípica en el epistoma.
- Considerando el análisis de morfometría geométrica, no existen diferencias significativas entre los caparazones de los organismos de las localidades de *El Plátano* y *San Joaquín* de acuerdo al valor de Mahalanobis de 2.28 con un *P-value* 0.40.
- Considerando el análisis de morfometría geométrica, no existen diferencias significativas entre las quelas derechas de los organismos de las localidades de *El Plátano* y *San Joaquín* de acuerdo al valor de Mahalanobis de 2.78 con un *P-value* de 0.01.
- Finalmente se puede observar que las poblaciones de *El Plátano* y *San Joaquín* presentan una variabilidad fenotípica intrapoblacional amplia de acuerdo a los valores de Proustes.

## **XI. RECOMENDACIONES**

El presente trabajo es una base para estudios posteriores donde se pueda realizar una análisis de diversas poblaciones que se colecten desde la localidad de Olotla, Hidalgo hasta San Joaquín en Querétaro para analizar a detalle la variación que existe entre las estructuras de carácter taxonómico de los organismos y su relación con las presiones ambientales de sus respectivos hábitats para posteriormente realizar análisis genéticos de los mismos y corroborar si se trata de una diversidad morfológica de la misma especie en un gradiente de condiciones ambientales diferentes.

## XII. REFERENCIAS

Álvarez, F., López-Mejía, M. & Pedraza Lara, C. (2010). Procambarus hidalgoensis. *La Lista Roja de la UICN de Especies Amenazadas* 2010: e.T153977A4571524. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20103.RLTS.T153977A4571524.en>. Consultado el 21 de enero de 2018.

Álvarez, F., & Rangel, R. (2007). Estudio poblacional del acocil *Cambarellus montezumae* (Crustacea: Decapoda: Cambaridae) en Xochimilco, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78(2), 431-437.

Badyaev, A. V. (2009). Evolutionary significance of phenotypic accommodation in novel environments: an empirical test of the Baldwin effect. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1520), 1125-1141.

Badyaev, A. V., & Uller, T. (2009). Parental effects in ecology and evolution: mechanisms, processes and implications. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1520), 1169-1177.

Blank, G. S., & Figler, M. H. (1996). Interspecific shelter competition between the sympatric crayfish species *Procambarus clarkii* (Girard) and *Procambarus zonangulus* (Hobbs and Hobbs). *Journal of Crustacean Biology*, 16(2), 300-309.

Bookstein, F. L. (1991). *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge University Press.

Bookstein, F. L. (1996). Biometrics, biomathematics and the morphometric synthesis. *Bulletin of mathematical biology*, 58(2), 313.

Brian, J. V., Fernandes, T., Ladle, R. J., & Todd, P. A. (2006). Patterns of morphological and genetic variability in UK populations of the shore crab, *Carcinus maenas* Linnaeus, 1758 (Crustacea: Decapoda: Brachyura). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 329(1), 47-54.

Brusca, R. C., & Brusca, G. J. (2005). *Invertebrados* (No. Sirsi) i9788448602468). McGraw-Hill.

Burns, C. W. (2000). Crowding-induced changes in growth, reproduction and morphology of *Daphnia*. *Freshwater Biology*, 43(1), 19-29.

Chambers, C. L., Payne, J. F., & Kennedy, M. L. (1979). Geographic Variation in the Dwarf Crayfish, *Cambarellus Puer* Hobbs (Decapoda, Cambaridae) 1. *Crustaceana*, 36(1), 39-55.

Chambers, C. L., Payne, J. F., & Kennedy, M. L. (1980). Geographic variation in the first pleopod of the form I male dwarf crayfish, *Cambarellus puer* Hobbs (Decapoda, Cambaridae). *Crustaceana*, 38(2), 169-177.

Davis, C. J., Miner, J. G., & Wojdak, J. M. (1999). Potential effects of the Round Goby (*Neogobius melanostomus*) on crayfish (*Orconectes rusticus*) in Lake Erie. In *IAGLR'99. International Association for Great Lakes Research: Great Lakes, Great Science, Great Cities. Program and Abstracts*.

Dörr, A. J. M., Pedicillo, G., & Lorenzoni, M. (2001). Prima segnalazione di *Procambarus clarkii*, *Orconectes limosus* e *Astacus leptodactylus* (Crustacea Decapoda) in Umbria. *Rivista di Idrobiologia*, 40, 221-233.

Dunithan, A., Jacquemin, S., & Pyron, M. (2012). Morphology of *Elimia livescens* (Mollusca: Pleuroceridae) in Indiana, USA covaries with environmental variation. *American Malacological Bulletin*, 30(1), 127-133.

Etchison, L., Jacquemin, S. J., Allen, M., & Pyron, M. (2011). Morphological variation of rusty crayfish *Orconectes rusticus* (Cambaridae) with gender and local scale spatial gradients. *International Journal of Biology*, 4(1), 163.

Foster, J., & Slater, F. M. (1995). A global review of crayfish predation with observations on the possible loss of *Austropotamobius pallipes* in the Welsh Wye due to crayfish plague. *Freshwater Crayfish*, 8, 589-613.

Garvey, J. E., & Stein, R. A. (1993). Evaluating how chela size influences the invasion potential of an introduced crayfish (*Orconectes rusticus*). *American Midland Naturalist*, 172-181.

Giri, F., & de Paggi, S. J. (2006). Geometric morphometric and biometric analysis for the systematic elucidation of *Brachionus caudatus* Barrois and Daday, 1894 (Rotifera Monogononta Brachionidae) forms. *Zoologischer Anzeiger-A Journal of Comparative Zoology*, 244(3-4), 171-180.

Gutekunst, J., Andriantsoa, R., Falckenhayn, C., Hanna, K., Stein, W., Rasamy, J., & Lyko, F. (2018). Clonal genome evolution and rapid invasive spread of the marbled crayfish. *Nature ecology & evolution*, 1.

Haas, T. C., Blum, M. J., & Heins, D. C. (2010). Morphological responses of a stream fish to water impoundment. *Biology Letters*, 6(6), 803-806.

Haddaway, N. R., Mortimer, R. J., Christmas, M., Grahame, J. W., & Dunn, A. M. (2012). Morphological diversity and phenotypic plasticity in the threatened British white-clawed crayfish (*Austropotamobius pallipes*). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 22(2), 220-231.

Hawkins, C. P., Norris, R. H., Hogue, J. N., & Feminella, J. W. (2000). Development and evaluation of predictive models for measuring the biological integrity of streams. *Ecological applications*, 10(5), 1456-1477.

Hinojosa-Garro, D., & Zambrano, L. (2004). Interactions of common carp (*Cyprinus carpio*) with benthic crayfish decapods in shallow ponds. *Hydrobiologia*, 515(1-3), 115-122.

Hobbs, H. (1942). *The Crayfish of Florida*. University of Florida Biological Series.

Hobbs, H. H. (1972). *Crayfishes (Astacidae) of north and middle America*.

Holdich, D. M., & Lowery, R. S. (1988). *Freshwater crayfish: biology, management and exploitation*.

Huner, J. V., & LINDQVIST, O. V. (1995). Physiological adaptations of freshwater crayfishes that permit successful aquacultural enterprises. *American Zoologist*, 35(1), 12-19.

Huner, J. V., & Romaine, R. P. (1978). Size at maturity as a means of comparing populations of *Procambarus clarkii* (Girard) (Crustacea, Decapoda) from different habitats. *Freshwater Crayfish*, 4, 53-64.

Jasso-Maldonado, L. F. (2016). Morfometría geométrica del acocil *Cambarellus montezumae* (Saussure, 1858) en 10 cuerpos de agua. *México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México*.

Jeffries, M., & Mills, D. (1990). *Freshwater ecology: principles and applications*. Belhaven Press.

Laforsch, C., & Tollrian, R. (2004). Inducible defenses in multipredator environments: cyclomorphosis in *Daphnia cucullata*. *Ecology*, 85(8), 2302-2311.

Langerhans, R. B., Chapman, L. J., & DeWitt, T. J. (2007). Complex phenotype–environment associations revealed in an East African cyprinid. *Journal of evolutionary biology*, 20(3), 1171-1181.

Lass, S., & Spaak, P. (2003). Chemically induced anti-predator defences in plankton: a review. *Hydrobiologia*, 491(1-3), 221-239.

Lodge, D. M., & Lorman, J. G. (1987). Reductions in submersed macrophyte biomass and species richness by the crayfish *Orconectes rusticus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 44(3), 591-597.

López-Mejía, M., Alvarez, F., & Mejía-Ortíz, L. M. (2005). *Procambarus* (Ortmannicus) *hidalgoensis* (Crustacea: Decapoda: Cambaridae), a new species of crayfish from Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 118(3), 558-565.

McClain, W. R., & Romaine, R. P. (2007). *Procambarid* crawfish: life history and biology. *Southern Regional Aquaculture Center*, 2403.

Mitteroecker, P., Gunz, P., Windhager, S., & Schaefer, K. (2013). A brief review of shape, form, and allometry in geometric morphometrics, with applications to human facial morphology. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 24(1), 59-66.

Moctezuma, M. A. (1996). Bases biológicas y técnicas para el cultivo del acocil *Cambarellus montezumae*. *Colima: Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima*.

Mort, M. A. (1989). Cyclomorphosis in *Daphnia galeata mendotae*: variation and stability in phenotypic cycles. *Hydrobiologia*, 171(2), 159-170.

Murta, A. G. (2000). Morphological variation of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the Iberian and North African Atlantic: implications for stock identification. *ICES Journal of Marine Science*, 57(4), 1240-1248.

Nyström, P. E. R., Brönmark, C., & Graneli, W. (1996). Patterns in benthic food webs: a role for omnivorous crayfish?. *Freshwater Biology*, 36(3), 631-646.

Nyström, P., & Strand, J. (1996). Grazing by a native and an exotic crayfish on aquatic macrophytes. *Freshwater Biology*, 36(3), 673-682.

Nyström, P., Svensson, O., Lardner, B., Brönmark, C., & Granéli, W. (2001). The influence of multiple introduced predators on a littoral pond community. *Ecology*, 82(4), 1023-1039.

Palma, J., & Andrade, J. P. (2002). Morphological study of *Diplodus sargus*, *Diplodus puntazzo*, and *Lithognathus mormyrus* (Sparidae) in the Eastern Atlantic and Mediterranean Sea. *Fisheries Research*, 57(1), 1-8.

Pereyra Díaz, D., Pérez Sesma, J. A. A., & Salas Ortega, M. D. R. (2010). Hidrología.

Pujadas, E., & Feinberg, A. P. (2012). Regulated noise in the epigenetic landscape of development and disease. *Cell*, 148(6), 1123-1131.

Rohlf, F. J., & Slice, D. (1990). Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Biology*, 39(1), 40-59.

Rohlf, F. J. (1999). Shape statistics: Procrustes superimpositions and tangent spaces. *Journal of Classification*, 16(2), 197-223.

Rojas, Y., Alvarez, F., & Villalobos, J. L. (2002). Morphological variation in the crayfish *Cambarellus (Cambarellus) montezumae* (Decapoda: Cambaridae). In *Modern approaches to the study of Crustacea* (pp. 311-317). Springer, Boston, MA.

Rufino, M. M., Abelló, P., & Yule, A. B. (2006). Geographic and gender shape differences in the carapace of *Liocarcinus depurator* (Brachyura: Portunidae) using geometric morphometrics and the influence of a digitizing method. *Journal of Zoology*, 269(4), 458-465.

Ságová-Marecková, M. (2002). Interactions between crayfish, benthic invertebrates, macrophyte roots and sediment in a littoral zone. *Archiv für Hydrobiologie-Hauptbände*, 645-665.

Saila, S. B., & Flowers, J. M. (1969). Geographic morphometric variation in the American lobster. *Systematic Zoology*, 18(3), 330-338.

Savolainen, O., Lascoux, M., & Merilä, J. (2013). Ecological genomics of local adaptation. *Nature Reviews Genetics*, 14(11), 807.

Schilderman, P. A. E. L., Moonen, E. J. C., Maas, L. M., Welle, I., & Kleinjans, J. C. S. (1999). Use of crayfish in biomonitoring studies of environmental pollution of the river Meuse. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 44(3), 241-252.

Sint, D., Dalla Via, J., & Füreder, L. (2005). Morphological variations in *Astacus L.* and *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet) populations. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (376-377), 637-652.

Snedden, W. A. (1990). Determinants of male mating success in the temperate crayfish *Orconectes rusticus*: chela size and sperm competition. *Behaviour*, 115(1), 100-113.

Sorensen, K. H., & Sterner, R. W. (1992). Extreme cyclomorphosis in *Daphnia lumholtzi*. *Freshwater Biology*, 28(2), 257-262.

Stein, R. A., & Magnuson, J. J. (1976). Behavioral response of crayfish to a fish predator. *Ecology*, 57(4), 751-761.

Trevisan, A., Marochi, M. Z., Costa, M., Santos, S., & Masunari, S. (2012). Sexual dimorphism in *Aegla marginata* (Decapoda: Anomura). *Nauplius*, 20(1), 75-86.

Uller, T. (2008). Developmental plasticity and the evolution of parental effects. *Trends in ecology & evolution*, 23(8), 432-438.

Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM). (2015). Morfometría geométrica: el estudio de la forma y su aplicación en biología. *Temas de ciencia y tecnología*. 55(19), 53-59.

Vogt, G., Huber, M., Thiemann, M., van den Boogaart, G., Schmitz, O. J., & Schubart, C. D. (2008). Production of different phenotypes from the same genotype in the same environment by developmental variation. *Journal of Experimental Biology*, 211(4), 510-523.

West-Eberhard, M. J. (2003). *Developmental plasticity and evolution*. Oxford University Press.

Winans, G. A. (1984). Multivariate morphometric variability in Pacific salmon: technical demonstration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41(8), 1150-1159.

Zedlitch, M. L., Swiderski, D. L., & Sheets, D. S. (2004). *Geometric morphometrics for biologists*.

Zuykova, E. I., Bochkarev, N. A., & Katokhin, A. V. (2013). Identification of the *Daphnia* species (Crustacea: Cladocera) in the lakes of the Ob and Yenisei River basins: morphological and molecular phylogenetic approaches. *Hydrobiologia*, 715(1), 135-150.