



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Morfometría de *Chirostoma humboldtianum* en
las presas Villa Victoria, Edo. de México y
Tepuxtepec en el estado de Michoacán.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

P R E S E N T A :

Héctor Iván Gutiérrez Oliva



DIRECTOR DE TESIS: DR. ANTONIO VALENCIA HERNÁNDEZ

MÉXICO, D.F. JUNIO DE 2009



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.

DEDICATORIAS

A mi madre: ¡Felicidades! esto también es tu logro

A Nancy: si pude

A Marujeña: por tu fortaleza, ojala todos fuéramos como tú. Gracias por confiar en mí

A Yessi: por tu paciencia en todo este proceso

A mis sobrinos, Fany, Maciel, Ram, Fercho y Ojitos: quiero verlos crecer

A una mayonesa que se cayó: por recordarme en todo momento que se debe concluir
todo lo empezado

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater, la **Universidad Nacional Autónoma de México** por brindarme la oportunidad de crecer entre sus aulas, por la formación adquirida, por amor a la camiseta.

A mi director de tesis: Dr. Antonio Valencia Hernández, entiendo que todo esto ha sido parte del proceso.

A mis sinodales: M. en C. Ernesto Mendoza Vallejo, M. en C. Armando Cervantes Sandoval, Dr. Guillermo Blancas Arroyo y Biól. Ernesto Constanzo Casillas por sus aportaciones y comentarios para este trabajo.

Al Coordinador del CIBAC: el profesor Fernando Arana, por brindarme la oportunidad de trabajar en su equipo, por el aporte de sus conocimientos y experiencia.

A mis compañeros y amigos de la carrera: Alma (burbuja), Pooh, Rockdrigo, Isra, Karamy, Adolfo, Carmen, Elievft, Hugo, Itzia, Alma Chávez, Dr. Grifou, Israel (lab), Raúl y la Maniaquita. ¡qué buenas fiestas!

A mis compañeros del CIBAC: Aby, Gaby, Armando y Arturo, gracias por mostrarme otra perspectiva de la biología.

CONTENIDO

RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	5
Morfometría	5
Distribución del género <i>Chirostoma</i>	6
Antecedentes	7
Justificación	8
Hipótesis	9
ANÁLISIS MORFOMÉTRICO A PARTIR DE DISTANCIAS LINEALES	10
Introducción	10
Elección de caracteres morfométricos	11
Método de Truss	13
Objetivos	14
Material y Método	15
Colecta de organismos	15
Procesamiento de las muestras	15
Calibración de imágenes	16
Selección de organismos	16
Ubicación de los landmarks	17
Forma básica de <i>Chirostoma humboldtianum</i>	17
Variabilidad en la forma	19
Resultados	22
Forma básica de <i>Chirostoma humboldtianum</i>	22
Variabilidad en la forma	33
Discusión y Análisis de Resultados	48
Forma básica de <i>Chirostoma humboldtianum</i>	48
Variabilidad en la forma	50
Conclusiones	54
MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA	56
Introducción	56
Obtención de datos	56
Métodos de Superimposición	58
Análisis de la forma	61

Objetivos	62
Material y Método	63
Forma geométrica básica de <i>C. humboldtianum</i>	63
Variabilidad en la forma	64
Resultados	65
Forma geométrica básica de <i>Chirostoma humboldtianum</i>	65
Variabilidad en la forma	70
Discusión y Análisis de Resultados	81
Forma geométrica básica de <i>Chirostoma humboldtianum</i>	81
Variabilidad en la forma	82
Repercusiones del medio en la forma de <i>Chirostoma humboldtianum</i>	84
Conclusiones	87
REFERENCIAS	89
ANEXOS	98

RESUMEN

La plasticidad fenotípica es un atributo de los seres vivos, particularmente en los peces. Se ha demostrado que las diferencias en la forma corporal no necesariamente implican diferencias genéticas sino que son influenciadas por las condiciones ambientales. Los métodos de morfometría tradicional se basan en la medición de distancias lineales y el análisis de relaciones entre variables. A partir de estos métodos es difícil visualizar diferencias en la forma de algunas especies cercanas. Los estudios morfométricos han evolucionado notoriamente en las últimas dos décadas, con una tendencia a visualizar de manera gráfica los resultados (Morfometría Geométrica). Esto permite observar diferencias dentro de las especies, logrando identificar diferencias morfométricas entre especies cercanas e incluso entre poblaciones de la misma especie. Para la morfometría, la obtención de caracteres morfométricos es trascendente. El método de Truss fue propuesto como alternativa para la obtención de caracteres morfométricos a partir de la ubicación de puntos homólogos (landmarks) de manera cruzada, permitiendo la identificación de zonas corporales con mayor variabilidad. Los métodos tradicionales presentan algunas desventajas sobre los métodos de morfometría geométrica, por lo que a pesar de las ventajas que implica el uso del método de Truss, este no ha sido empleado para las especies ícticas de México. El género *Chirostoma* está conformado por peces nativos de la Meseta Central de México, de gran importancia económica, ecológica y cultural. La caracterización morfológica de sus especies es ambigua debido a que los caracteres morfométricos tradicionales empleados son confusos y se traslapan entre organismos de especies cercanas, repercutiendo en dificultades para la ubicación taxonómica de sus especies. En el Laboratorio de Biología Acuática de la FES Zaragoza (LBAFZ) se ha venido estudiando a la especie *Chirostoma humboldtianum* desde un enfoque ecológico. Sin embargo, se ha observado cualitativamente que, por lo menos en dos poblaciones: Villa Victoria, Estado de México; y Tepuxtepec, Michoacán, existen diferencias básicamente en talla y en algunos caracteres morfométricos. Los métodos de morfometría tradicional, no han permitido la identificación de diferencias en forma entre ambas poblaciones, por lo cual surgió la necesidad de explorar los métodos de morfometría geométrica para un análisis morfométrico detallado.

En este trabajo se propuso el análisis morfométrico de dos poblaciones de la especie *C. humboldtianum* (Villa Victoria y Tepuxtepec). La obtención de caracteres morfométricos se realizó siguiendo el método de Truss, proponiendo 14 landmarks y su análisis a partir de dos enfoques: análisis morfométrico a partir de distancias lineales entre pares de landmarks (Morfometría Tradicional), y análisis de landmarks a partir de métodos gráficos (Morfometría Geométrica). A partir del análisis tradicional, se obtuvo la forma básica la especie *C. humboldtianum*, identificando 12 variables morfométricas características de la especie, constituidas por las distancias entre landmarks de la zona cefálica y la zona caudal. Se identificaron zonas corporales de mayor variabilidad, que además, siguen patrones de crecimiento potencial (zona cefálica, pectoral, abdominal, aleta anal y aleta caudal). Fue posible encontrar diferencias en la forma de ambas poblaciones, así como diferencias entre sexos. El análisis a partir de Morfometría Geométrica permitió la visualización de landmarks con baja y alta variabilidad. Con este método se obtuvo la forma geométrica básica de la especie, caracterizada por el landmark del margen inferior del opérculo y los landmarks que indican el inicio de la aleta caudal. Se pudo observar que la mayoría de los landmarks que involucran a la forma geométrica básica de la especie, presentan variabilidad morfométrica y que no fue posible identificar por el Método Tradicional. Se obtuvieron 5 zonas de alta

variabilidad correspondientes a las zonas cefálica, pectoral, abdominal, aleta anal y aleta caudal, coincidiendo con los resultados obtenidos por el Método Tradicional, pero permitiendo observar a los landmarks causantes de esta variabilidad.

Los resultados aportados por estos dos métodos, sugieren variabilidad morfométrica causadas por diferencias intra-poblacionales en los hábitos alimenticios y natatorios, así como diferencias morfométricas inter-poblacionales, indicando que la población de Villa Victoria está adaptada a climas más fríos por poseer cuerpos más elongados.

INTRODUCCIÓN

MORFOMETRÍA

La morfología de los organismos aporta información valiosa acerca de hábitos y patrones evolutivos de las especies, por ejemplo, en el Lago Malawi donde existe diversificación de especies de la familia Cichilidae, Albertson y Kocher (2001), demostraron que la forma del aparato bucal de estas especies está relacionada con sus hábitos alimenticios; otro ejemplo es el proporcionado por Fulton, *et al.* (2005), donde mencionan que la forma de las aletas pectorales en peces de arrecife es útil para entender la relación ecomorfológica entre los peces y las características físicas del arrecife.

Los primeros estudios morfológicos tenían un carácter fundamentalmente cualitativo, y no fue sino hasta 1917 cuando Thompson (Thompson, 1992) escribió la primera publicación formal acerca del estudio cuantitativo de la forma. A partir de esta publicación, el estudio de la morfología empieza a adquirir un nuevo enfoque.

En ictiología se usan caracteres morfológicos de fácil observación para la discriminación de grupos. Según Cailliet *et al.* (1986), los caracteres morfológicos que sirven para la identificación taxonómica deben ser fácilmente observables y variar de un taxón a otro. Dentro de los caracteres morfológicos podemos encontrar 2 categorías: los caracteres merísticos y los caracteres morfométricos. Los caracteres merísticos son los caracteres que se pueden contar, por ejemplo, el número de escamas en un pez, y los caracteres morfométricos son aquellos que pueden ser medidos, por ejemplo, el tamaño de las escamas de un pez (Cailliet *et al.*, 1986).

Estadísticamente, los resultados del análisis morfométrico se pueden expresar en la relación lineal que hay entre los caracteres morfométricos con respecto a una longitud que describe el tamaño corporal (Cailliet *et al.*, 1986). El análisis morfométrico también, se apoya en elementos cuantitativos de la estadística multivariada como herramienta cuantitativa para el estudio de la forma (Wiens, 2001). La aplicación de métodos estadísticos multivariados demanda una gran cantidad de cálculos, por lo que el estudio de la forma se tiene que apoyar fuertemente en herramientas de cómputo. A su vez, el avance tecnológico en computación ha permitido la utilización de técnicas matemáticas que en el pasado eran difíciles y hasta imposibles de realizar, favoreciendo la diversificación de métodos para la cuantificación de la forma (Adams *et al.*, 2004).

En las décadas de los sesenta y setenta la cuantificación de la forma en peces se realizaba a partir de mediciones lineales sobre un solo plano cartesiano (Adams *et al.*, 2004). Algunos autores mencionan desventajas de estos métodos (Strauss y Bookstein, 1982; Bookstein, 1991; Rohlf, 2002; Richtsmeier *et al.*, 2002; Adams *et al.*, 2004); quizá la más sobresaliente era la presencia de abundantes variables redundantes como la longitud del pedúnculo caudal, longitud de la base anal, longitud cefálica que impedían identificar cambios de forma; así mismo, en ese tiempo los métodos para visualizar los resultados de manera gráfica aún no se desarrollaban completamente pues no se contaba con tecnología en cómputo como en la

actualidad. Estos métodos son conocidos como métodos de “morfometría tradicional” o “morfometría convencional”.

El problema de las dimensiones redundantes fue solucionado mediante el método de Truss, donde se sugiere también la toma de dimensiones lineales, pero se propone que estas dimensiones sean tomadas de forma cruzada (Strauss y Bookstein, 1982). De esta manera, se obtienen dimensiones que dan indicio del cambio de forma en los organismos contrarrestando la toma de mediciones redundantes (las que no dan información de la variabilidad en la forma). Este método podría considerarse como el eslabón entre la morfometría tradicional y la morfometría geométrica (véase “Método de Truss” en el capítulo ANÁLISIS MORFOMÉTRICO A PARTIR DE DISTANCIAS LINEALES)

La morfometría geométrica implica la ubicación de puntos de referencia o landmarks en un sistema de coordenadas ya sea bidimensional o tridimensional. De esta manera, la morfometría geométrica adquiere ventaja sobre la morfometría tradicional al permitir la visualización de la forma de manera gráfica (Strauss y Bookstein, 1982; Bookstein, 1991; Rohlf, 2002; Richtsmeier *et al.*, 2002; Adams *et al.*, 2004; Zelditch *et al.*, 2004). A pesar de las ventajas que pudiese tener la morfometría geométrica sobre la morfometría tradicional, también se presentan algunas desventajas (Zelditch *et al.*, 2004), por ejemplo, el no considerar la distancia entre pares de landmarks que pueden aportar información sobre variables redundantes. Por lo tanto, para hacer un estudio morfométrico más completo es necesario conjuntar ambos puntos de vista aprovechando las virtudes de cada enfoque.

Para la identificación de especies ícticas de México, únicamente se han empleado caracteres morfológicos basados en la morfometría tradicional (p. e. Álvarez del Villar, 1970; Barbour, 1973b). Por lo tanto, el uso de medidas tradicionales en el reconocimiento de especies es muy frecuente y conocido.

El presente trabajo tiene como objetivo, evidenciar atributos morfométricos discriminantes que contribuyan al reconocimiento de poblaciones de *Chirostoma humboldtianum*, incluso la existencia de grupos dentro de las mismas poblaciones. Para esto es necesaria la exploración de caracteres morfométricos obtenidos a partir del método de Truss y el análisis de puntos de referencia homólogos empleando métodos de Morfometría Geométrica.

DISTRIBUCIÓN DEL GÉNERO *CHIROSTOMA*

El género *Chirostoma* es un grupo de peces nativos de México, perteneciente a la familia Atherinopsidae. De acuerdo con Barbour y Chernoff (Barbour, 1973a; Chernoff, 1986), el centro de radiación del género fue el grupo Jordani. Esta radiación dio como resultado el surgimiento de 18 especies y 6 subespecies (Barbour, 1973a). Su distribución natural está restringida a la Meseta Central de México, teniendo como origen de su distribución el sistema Lerma-Santiago (Barbour, 1973a; Chernoff, 1986).

La distribución de este género en México ha cambiado a partir de las décadas de los sesenta y setenta, debido a su introducción en presas y otros cuerpos de agua artificiales. Debido a la importancia económica que representan las especies de mayor tamaño “se desarrolló un programa intenso de repoblación, por medio de la introducción de huevo aculado no identificado de varias especies de *Chirostoma* en un gran número de cuerpos de agua” (Arredondo Figueroa, 1998). No se tuvo un control estricto en la introducción de estas especies y no se sabe con certeza que especies se introdujeron (Arana Magallón, 2007, comunicación personal), dando como resultado el surgimiento de nuevas variedades y la presencia de algunos híbridos de diferentes especies (Alaye, 1993).

De acuerdo a lo reportado por Álvarez del Villar y Navarro, 1957 la especie *Chirostoma humboldtianum* fue erradicada de la Cuenca del Valle de México a principio de la década de los cincuentas. El trabajo de Barbour, 1973b indica que esta especie se distribuye a lo largo de la Cuenca del Lerma-Santiago hasta el occidente del Altiplano Mexicano, encontrando ejemplares en los estados de Michoacán (Lago de Zacapu y Presa de Tepuxtepec), Nayarit (Lago Santa María y Lago de San Pedro Lagunillas) y Jalisco (Lago de Juanacatlan).

Trabajos más recientes evidencian la diseminación de esta especie en por lo menos tres embalse del Estado de México, Presa Huapango (De la Cruz Agüero y Moncayo López, 1983), Presa San Felipe Tiacaque (Navarrete y Cházaro, 1992), Presa Villa Victoria (Villagómez González e Islas Solís, 1999) y en el lago de Pátzcuaro, Michoacán (Alaye, 1993; Jiménez, 1995).

ANTECEDENTES

Los primeros estudios sobre el género *Chirostoma* fueron dirigidos originalmente a aspectos taxonómicos (p. e. Jordan y Hubbs, 1919; Álvarez del Villar, 1950; Álvarez del Villar, 1970; Barbour, 1973b; Dyer y Chernoff, 1996). Los trabajos limnológicos de cuerpos de agua donde está presente el género *Chirostoma* (De Buen, 1945) aunque no se refieran directamente a los peces, son elementos que contribuyen al conocimiento biológico de éste y aportan datos valiosos acerca de su distribución geográfica.

Debido a la importancia económica que tienen las especies de mayor talla, se han realizado trabajos acerca de la biología y reproducción en cautiverio de algunas de ellas. Solórzano, 1963, trabajó aspectos alimentarios de *Chirostoma estor* llegando a la conclusión de que ésta especie en su etapa juvenil se alimenta principalmente de microcrustáceos. Rosas, 1970, realizó trabajos encaminados a la reproducción en cautiverio, transporte y alimentación de *Chirostoma estor*, siendo éste un gran adelanto para el cultivo del Pescado Blanco (Rojas

Carrillo, 2003). Martínez Palacios (Martínez Palacios *et al.*, 2002; Martínez Palacios *et al.*, 2004) publicó trabajos acerca de la influencia de la salinidad y la temperatura durante la etapa embrionaria de *Chirostoma estor*. Vega *et al.*, (2004), aportan información acerca del balance energético de juveniles de *Chirostoma estor* en condiciones de cautiverio utilizando una dieta balanceada.

Para la especie *Chirostoma humboldtianum* existe poca información acerca de aspectos poblacionales (p. e. Navarrete y Cházaro, 1992; Jiménez, 1995; Villagómez González e Islas Solís, 1999). En condiciones naturales, se tiene un trabajo realizado para especies del Género *Chirostoma*, donde se obtuvo una curva única de crecimiento de los “charales del Lago de Pátzcuaro a partir de las especies presentes en el lago (*C. grandocule*, *C. humboldtianum*, *C. Attenuatum*, *C. Patzcuaro*, *C. estor*) y se sugirió el aumento del tamaño de malla para mejorar el rendimiento pesquero (Jiménez, 1995). Existe relativamente poca información particular para la especie *Chirostoma humboldtianum* en ambientes naturales. Se sabe que el *Chirostoma humboldtianum* se alimenta principalmente de organismos zooplantónicos y zoobentónicos, teniendo al grupo de los cladóceros como componentes de su dieta diaria y en ocasiones se alimenta de huevos y larvas de su misma especie (Navarrete y Cházaro, 1992). Villagómez González e Islas Solís (1999), trabajaron aspectos poblacionales de la especie *Chirostoma humboldtianum* en la Presa Villa Victoria, Edo. de México, donde se menciona como antecedente para esta tesis que las hembras y los machos presentan una disminución de la talla en comparación a la talla reportada para esta especie.

Los trabajos referentes a la variabilidad morfológica se enfocan principalmente a varias especies del género *Chirostoma* (p. e. Barbour y Chernoff, 1984; Echelle y Echelle, 1984; Arredondo Figueroa, 1998; Barriga Sosa *et al.*, 2002); y solo una publicación acerca de la variabilidad morfológica en una población de *Chirostoma humboldtianum* en la Presa Huapango, Edo. de México, donde se sospecha de un posible dimorfismo sexual que no se pudo comprobar debido a que las variables que se midieron no arrojaron los resultados esperados (De la Cruz Agüero y Moncayo López, 1983).

JUSTIFICACIÓN

En la Presa Villa Victoria fueron introducidos organismos de *Chirostoma spp* entre los años 1954 y 1966 (Arredondo Figueroa, 1976). Para la Presa Tepuxtepec, Michoacán, no se tiene el dato de cuando ocurrió la introducción. Estos organismos pueden ser ubicados taxonómicamente como miembros de la especie *Chirostoma humboldtianum* según las claves taxonómicas de Álvarez del Villar y Barbour (Álvarez del Villar, 1970; Barbour, 1973b).

En el Laboratorio de Biología Acuática de la FES Zaragoza (LBAFZ) se ha venido estudiando a *Chirostoma humboldtianum* desde un enfoque ecológico. Sin embargo, se ha observado cualitativamente por lo menos en dos poblaciones: Villa Victoria, Estado de México; y Tepuxtepec, Michoacán, que existen diferencias básicamente en tamaño y en algunos caracteres morfométricos.

El tamaño más pequeño de los peces de Villa Victoria donde la especie ha servido como sustento económico de muchas familias ribereñas, repercute en la explotación del recurso y podría afectar a la población de peces a futuro (Villagómez González e Islas Solís, 1999).

Desde un enfoque pesquero, es importante conocer la magnitud y la razón de tal diferencia en tamaño corporal, lo cual permitirá contribuir a la toma de decisiones respecto al manejo del recurso. Evolutivamente, resulta importante conocer los patrones de cambio morfométrico que permitan la identificación de cambios diferenciales en crecimiento de las estructuras, lo que a su vez pudiese evidenciar cambios en la forma y su trascendencia como respuesta a influencias ambientales (relación forma-función).

Desafortunadamente, la morfometría a partir de caracteres merísticos y morfométricos tradicionales, tan importantes para la diferenciación taxonómica, no permite apreciar la magnitud de tal diferencia en tamaño y forma corporal. Debido a la variabilidad genética del género y de sus especies, su identificación taxonómica a partir de caracteres morfométricos tradicionales ha llegado a ser confusa en el momento de la discriminación de especies cercanas, inclusive con traslape de algunos caracteres morfométricos considerados. Esta situación refleja la necesidad de abundar más en el aspecto morfométrico mediante un estudio más detallado tanto desde el enfoque tradicional como desde el geométrico.

En cuanto a la morfometría tradicional, es necesario explorar un mayor número de variables morfométricas, identificar realmente cuales son estadísticamente trascendentes para la discriminación de la especie, ubicar la presencia de subgrupos, e identificar dimensiones redundantes estadísticamente correlacionadas para la caracterización de la forma básica general y formas básicas de los posibles subgrupos poblacionales. La aplicación de métodos de morfometría geométrica es necesaria para un análisis más específico de la forma sin las limitaciones de la morfometría tradicional, eliminando también la influencia del tamaño relativo de los organismos.

Debido a que los objetivos del presente trabajo de tesis se enfocan a cubrir las necesidades enunciadas, su importancia y trascendencia quedan claramente justificadas.

HIPÓTESIS

Los caracteres morfométricos tradicionales, no permiten observar la variabilidad de la especie *Chirostoma humboldtianum* a nivel de poblaciones, inclusive han llegado a hacer confusa la discriminación entre especies cercanas. El empleo de un análisis morfométrico más detallado que contemple el uso de metodologías morfométricas tradicional y morfometría geométrica deberá evidenciar caracteres morfométricos que permitan la discriminación de grupos morfológicos dentro de las poblaciones de la especie *Chirostoma humboldtianum*.

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO A PARTIR DE DISTANCIAS

LINEALES

INTRODUCCIÓN

En un principio, las diferencias en la forma corporal eran cuantificadas básicamente mediante la aplicación del análisis multivariado a un conjunto de variables que involucraban distancias lineales, ángulos y proporciones entre dimensiones corporales de los organismos (Dryden y Mardia, 1998; Richtsmeier *et al.*, 2002; Adams *et al.*, 2004; Zelditch *et al.*, 2004).

Como medidas de distancia lineal (caracteres morfométricos), se tomaban medidas estándares como la longitud total, la altura y la anchura, ya sea del organismo completo o de alguna estructura en particular (Zelditch *et al.*, 2004). En ictiología, se ha empleado la medición de distancias lineales para el análisis morfométrico de las especies y para su taxonomía (Figura 1), aunque es factible obtener caracteres discriminantes entre especies, es difícil para subgrupos de una misma especie, por ejemplo, entre sexos (Negi y Nautiyal, 2002).

En el caso particular de la familia Atherinopsidae, Díaz Pardo (1998), menciona que los caracteres morfométricos que se eligieron para el ordenamiento taxonómico poseen un carácter subjetivo para establecer las relaciones taxonómicas y filogenéticas de estos grupos. Para los Atherinópsidos que habitan en Sudamérica, también existe dificultad para la identificación de especies y se propone un análisis morfométrico más detallado para mostrar diferencias en cuando menos dos especies (Dyer, 2000). Alternativamente algunos autores proponen trabajar en claves basadas en la Sistemática Molecular; como en el caso de las especies del género *Chirostoma*, donde los caracteres morfométricos son ambiguos (Alaye, 1993; Arredondo Figueroa, 1998).

Las claves taxonómicas para la identificación de especies del género *Chirostoma* están basadas en la medición de caracteres morfométricos tradicionales (Álvarez del Villar, 1950; Álvarez del Villar, 1970; Barbour, 1973b) y aún en trabajos más actuales, se sigue empleando métodos morfométricos tradicionales (Alaye, 1993; Dyer y Chernoff, 1996; Arredondo Figueroa, 1998; Díaz Pardo, 1998; Barriga Sosa *et al.*, 2002; Miller, 2005), por lo que se espera que los resultados sigan siendo ambiguos.

La elección de los caracteres morfométricos es trascendente para la obtención de buenos resultados, no solo para la identificación taxonómica, sino también para la observación de tendencias evolutivas y la relación de la forma corporal con el medio.

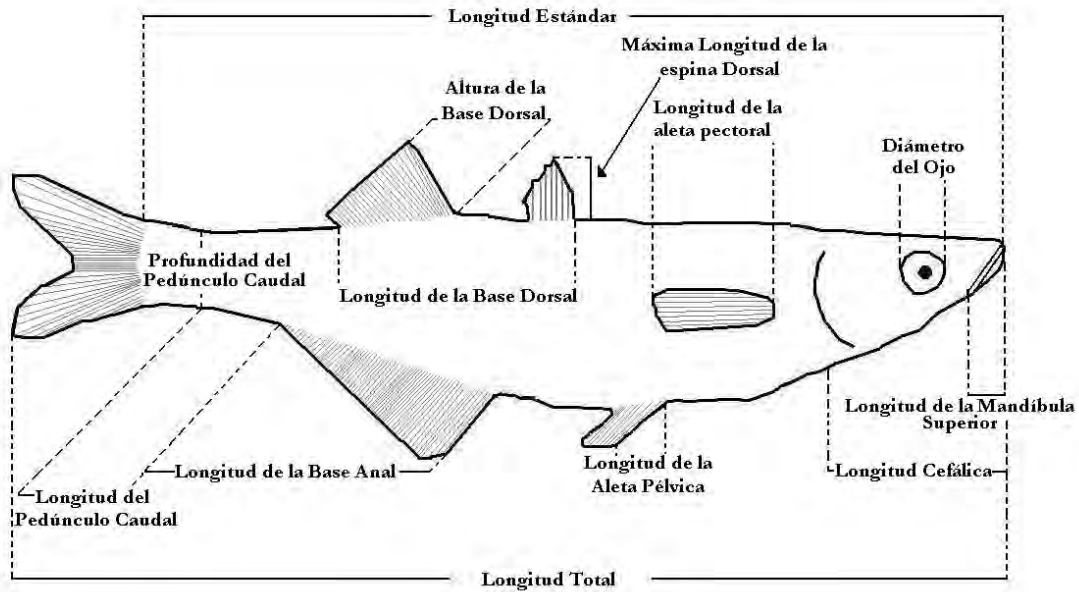


Figura 1. **Caracteres Morfométricos Tradicionales.** Esquema de un ejemplar de *C. humboldtianum*, donde se muestran los caracteres morfométricos equivalentes a los propuestos por Cailliet *et al.* (1986).

Elección de caracteres morfométricos

Para especies ícticas es común medir caracteres morfométricos tradicionales (Figura 1 y Figura 2), sin embargo, para varios autores (Strauss y Bookstein, 1982; Dryden y Mardia, 1998; Dyer, 2000; Richtsmeier *et al.*, 2002; Adams *et al.*, 2004; Zelditch *et al.*, 2004), estos caracteres presentan entre otras desventajas, las siguientes: (1) la mayoría de los caracteres tienden a alinearse en un solo plano (plano longitudinal), por lo cual la información de los datos es repetitiva y no se considera información de la variación en otros planos; (2) la toma repetitiva de dimensiones lineales en un solo plano, aporta poca información de variabilidad morfométrica; (3) la toma de algunas dimensiones parte de un solo punto y si el primer punto no es localizado correctamente, se puede incurrir en errores de carácter sistemático; (4) no siempre se miden caracteres homólogos, por ejemplo, todos los organismos tienen altura, pero la altura es subjetiva ya que no siempre se mide desde un mismo punto en todos los organismos; (5) no es posible la obtención de resultados gráficos y los resultados que se obtienen son fundamentalmente numéricos; (6) debido a que las mediciones corporales pueden no pertenecer al mismo orden de magnitud, se presenta un problema de escala, por ejemplo, no es viable comparar la dimensión del ojo con la longitud estándar en búsqueda de diferencias en magnitud.

Con el surgimiento de herramientas de cómputo, la morfometría ha tomado un enfoque gráfico. Esto ha dando origen a lo que se conoce como morfometría geométrica, la cual se basa en el análisis de coordenadas. La ubicación de coordenadas parte del criterio de homología por lo cual se busca la ubicación de puntos anatómicos específicos en estructuras comunes en un grupo de organismos. A dichos puntos anatómicos se les denomina

landmarks. La morfometría geométrica soluciona algunos problemas presentes en la morfometría tradicional, de los más importantes, en orden jerárquico son los siguientes: (1) la obtención de información a partir de coordenadas (es posible la transformación de estas por métodos matemáticos, contrarrestando así el problema de la escala); (2) se permite la ubicación homóloga de caracteres morfométricos, ya que la localización de landmarks es la ubicación de puntos anatómicos específicos; (3) los resultados obtenidos son esencialmente gráficos; (4) se emplean métodos gráficos para la obtención de los datos ya sea mediante fotografía, video o digitalización de coordenadas en un plano cartesiano, lo que facilita la corroboración de datos y reducción de errores.

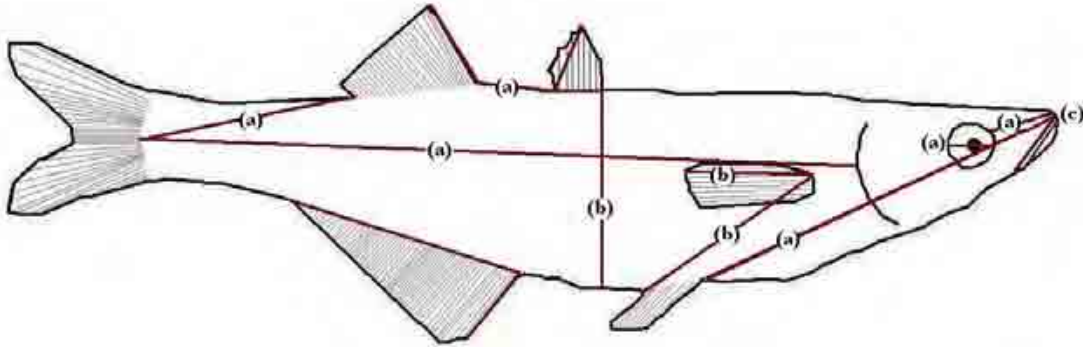


Figura 2. **Ejemplo de Caracteres Morfométricos.** Caracteres en un mismo plano longitudinal (a), dimensiones no homólogas (b), punto de origen común para más de un carácter (c). Las dimensiones ejemplificadas son equivalentes a las de una especie de salmón (Humphries *et al.*, 1981), utilizando la silueta de *C. humboldtianum*.

A pesar de que la morfometría geométrica es útil para la observación de la variabilidad en la forma, reduce el número de variables redundantes que podrían contener información útil (Zelditch *et al.*, 2004), por ejemplo, la obtención de la forma básica de los organismos se basa en la medición de variables redundantes, lo cual, ha servido para la identificación de grupos a partir de la forma corporal básica (Merz y Merz, 2004). Por lo tanto, para un análisis morfométrico integral se deberían contemplar ambas metodologías.

La medición de caracteres morfométricos tradicionales (distancias lineales) se puede implementar ubicando landmarks y calculando la distancia entre pares de estos. Ya que la ubicación de landmarks sigue el principio de homología, las distancias lineales resultantes corresponden a caracteres homólogos.

Método de Truss

Humphries *et al.* (1981) sugieren la pertinencia de crear un método intermedio entre la morfometría tradicional y la morfometría geométrica. Strauss y Bookstein (1982) proponen al método de Truss como método intermedio. El método de Truss es la construcción de la forma a partir de una serie de cuadrantes contiguos, ubicando landmarks en sitios

estructuralmente significativos, con la obtención de distancias lineales cruzadas a partir de los vértices de los cuadrantes (Figura 3).

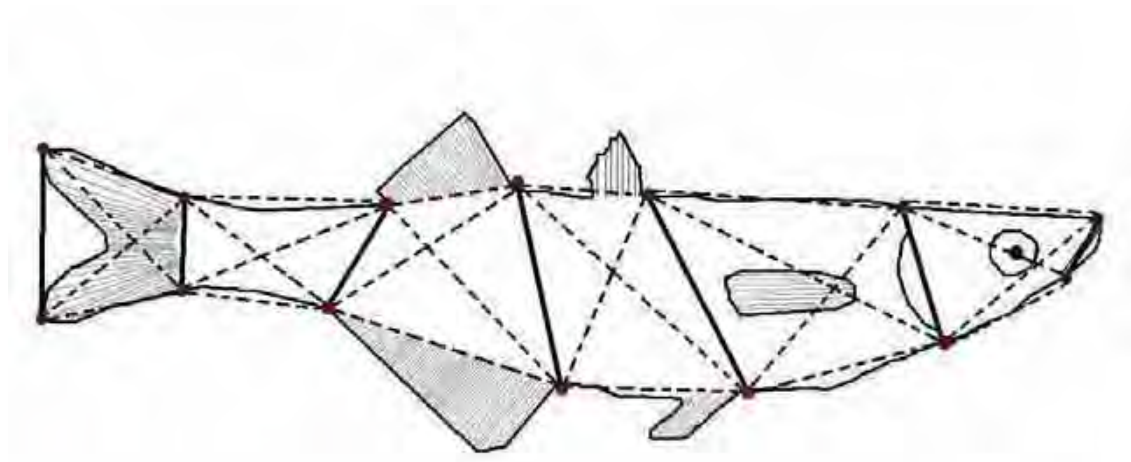


Figura 3. **Landmarks propuestos para el análisis morfométrico de *C. humboldtianum*.** Los landmarks se representan como puntos en los vértices de cada cuadrante; cada cuadrante está separado por una línea continua; las distancias entre pares de landmarks (caracteres morfométricos) se representan con líneas punteadas y líneas continuas.

El método de Truss propuesto por Strauss y Bookstein, 1982, permite: a) la estimación de la variabilidad morfométrica en los ejes horizontal y vertical, ya que considera distancias corporales cruzadas; b) archivar la configuración de landmarks para un análisis por métodos de morfometría geométrica y el cálculo de distancias lineales a partir de la ubicación de dichos landmarks; c) la disminución de errores en la medición de variables morfométricas, ya que los landmarks se pueden registrar digitalmente y verificar con posterioridad; d) la visualización de la forma promedio de un grupo de individuos por métodos gráficos; e) la visualización de tendencias de crecimiento y alometría dentro de las poblaciones debido a que las distancias cruzadas son pequeñas, siendo también posible observar cambios de forma en cada cuadrante por separado; y f) la eliminación de variables redundantes, dejando únicamente las que dan indicio de cambio en la forma.

El método de Truss ha sido empleado para la cuantificación de la variabilidad morfométrica entre grupos de especies cercanas, para la diferenciación morfométrica de subgrupos de una misma población, y para la identificación de stocks (Winans, 1984; Hard *et al.*, 1999; Turan, 1999; Gonzalez-Díaz *et al.*, 2005; Narváez B. *et al.*, 2005; Bronte y Moore, 2007). Ya que la morfología de los peces puede estar influenciada por su composición genética y por el medio donde habitan (Matthews, 1998), con el método de Truss es posible encontrar diferencias morfométricas causadas por la influencia del medio en los organismos, por ejemplo cambios en la condición corporal (Fitzgerald *et al.*, 2002) o cambios morfométricos sin que necesariamente existan cambios a nivel genético (por ejemplo, Turan y Ergüden, 2004), y en contraposición con los caracteres tradicionales donde es difícil identificar dichas diferencias (Pineda Santis *et al.*, 2004).

Los métodos de análisis multivariado (Análisis de componentes principales y regresión múltiple) y análisis univariado (regresiones lineales simples), son empleados tanto para el análisis de caracteres tradicionales como para caracteres basados en el método de Truss. Por lo tanto, se puede emplear el mismo análisis estadístico para ambas metodologías (Matthew, 2002; Gonzalez-Díaz *et al.*, 2005).

OBJETIVOS

Analizar la morfometría de la especie *Chiostoma humboldtianum* (Valenciennes, 1835) a partir de la medición de distancias lineales, tomando como referencia las poblaciones de las presas Villa Victoria, Edo. de México y Tepuxtepec, Michoacán.

Describir la forma básica de la especie por medio de la obtención de caracteres morfométricos redundantes.

Identificación de los caracteres morfométricos que presentan mayor variabilidad entre organismos de las variables categóricas localidad y sexo, que puedan dar un indicio de cambios en la forma.

MATERIAL Y MÉTODO

Colecta de organismos

La colecta de organismos se realizó en el periodo de Marzo de 2005 a Febrero de 2006 a partir de capturas comerciales con ayuda de pescadores locales de las presas Villa Victoria y Tepuxtepec. El arte de pesca utilizado fue “Chinchorreo playero”, con una longitud aproximada de 100 m (50 m por manga) y una altura de 1.5 m. Los tamaños de malla variaron en función de la localidad y del pescador contratado, en algunos casos fue de 0.5 cm y en otros de 1 cm, sin embargo las dimensiones del chinchorro fueron comparables en ambas localidades.

Procesamiento de las muestras

Con la finalidad de disponer de un acervo fotográfico para la realización del presente trabajo, después de la captura se numeró y fotografió a cada organismo. El fotografiado se realizó con la muestra fresca, colocando únicamente a los organismos en hielo mientras se procesaban, para retardar la descomposición y facilitar el procesamiento. Se utilizó una cámara digital con resolución de 4 mega píxeles. Se fotografió a los organismos sobre una superficie de papel milimétrico para contar con una referencia geométrica extra a la necesaria para la corrección geométrica de imágenes. Se colocó cada pescado de tal forma que fue posible fotografiarlos en los planos lateral, dorsal y ventral con las aletas extendidas ayudándose para ello con alfileres convencionales (Figura 4).

En el Laboratorio de Biología Acuática de la FES Zaragoza (LBAFZ) se han venido estudiando parámetros poblacionales de la especie *Chirostoma humboldtianum*, para lo cual se realizó un registro de datos morfométricos básicos por individuo (longitud estándar y peso total), así como otras variables categóricas (sexo y estadio gonádico). El pesado se realizó con una balanza de marca Ohaus modelo TP200S con precisión de 0.001 g y capacidad de 200 g. El sexado y determinación del estadio gonádico se llevaron a cabo por inspección visual, de acuerdo con la tabla de Solórzano, 1961. Los datos registrados en dicho periodo fueron utilizados para el cálculo de ecuaciones de crecimiento por el método de Corrimiento de Tallas presentados en el X Congreso Nacional de Ictiología (Gutiérrez Oliva *et al.*, 2006).



Figura 4. Fotografía en posición lateral de un ejemplar de la presa Villa Victoria.

Calibración de imágenes

Para la toma de imágenes, se cuidó el mantener las mismas características geométricas del sistema de fotografiado para todas las imágenes. La calibración de imágenes se realizó siguiendo la metodología propuesta por Gutiérrez Oliva (2007) para la medición de caracteres morfométricos a partir de imágenes digitalizadas. La distancia cámara-objeto elegida correspondió a 40 centímetros, obteniendo un área observada de 625 cm² (25 X 25 cm). En esta área observada es posible visualizar de 10 a 20 organismos por imagen. El promedio del número de píxeles por centímetro fue de 66.182 con una desviación estándar de 0.15109712 mm y no fue necesario hacer ningún tipo de corrección matemática.

Selección de organismos

Con la finalidad de considerar el efecto del crecimiento por la talla en la morfometría de las poblaciones, se trabajó con organismos entre 4.0 y 18.0 cm de longitud estándar para Tepuxtepec y entre 4.0 y 9.0 cm para Villa Victoria. El intervalo de longitud se dividió en grupos de talla de 1.0 cm \pm 0.49 cm. Con centros de grupo en múltiplos de 1.0 cm. La clase de talla más grande para cada localidad correspondió a las tallas máximas encontradas a lo largo de las colectas.

Para la detección de posible dimorfismo sexual se buscó contar con 10 organismos de cada sexo por clase de talla, en función de su disponibilidad en todas las muestras, por lo que no en todos los casos se pudo contar con el tamaño mínimo de muestra. Se consideraron tres categorías para la variable sexo: Hembra, Macho e Indeterminado (juveniles que no muestran indicios de madurez sexual).

En la mayoría de las clases de talla se completó la cuota de 10 organismos por sexo. En ambas poblaciones hubo menor cantidad de hembras en las primeras clases de talla y menor cantidad de machos en las últimas. En consecuencia, el número total de organismos considerado para este estudio fue de 104 individuos en Villa Victoria (Cuadro 1) y 225 en Tepuxtepec (Cuadro 2).

Cuadro 1. **Organismos seleccionados de la Población Villa Victoria.** Se seleccionaron 29 organismos indeterminados, 40 hembras y 35 machos.

Villa Victoria

Clase de talla	Indeterminados	Hembras	Machos	Total
4	10			
5	9	8	10	
6	10	10	9	
7		8	8	
8		4	7	
9		10	1	
	29	40	35	104

Cuadro 2. **Organismos seleccionados de la Población Tepuxtepec.** Se seleccionaron 32 organismos indeterminados, 106 hembras y 87 machos.

Tepuxtepec

Clase de talla	Indeterminados	Hembras	Machos	Total
4	10			
5	9	3	10	
6	10	7	10	
7	3	9	8	
8		9	10	
9		9	10	
10		9	10	
11		9	8	
12		10	4	
13		10	5	
14		10	5	
15		10	6	
16		9	1	
17		1		
18		1		
	32	106	87	225

Ubicación de los landmarks

La elección de landmarks se realizó empleando el criterio de homología (Bookstein, 1991; Dryden y Mardia, 1998; Zelditch *et al.*, 2004). Siguiendo la metodología de cuadrantes contiguos propuesta por Strauss y Bookstein, 1982 se ubicaron 14 landmarks en cada organismo fotografiado (Figura 5). **L1.-** Inicio del hocico; **L2.-** Margen superior del opérculo; **L3.-** Parte basal del maxilar inferior; **L4.-** Margen inferior del opérculo; **L5.-** Inicio de la

primera aleta dorsal; **L6**.- Inicio de la aleta ventral; **L7**.- Inicio la segunda aleta dorsal; **L8**.- Inicio de la aleta anal; **L9**.- Término de la segunda aleta dorsal; **L10**.- Término de la aleta anal; **L11**.- Margen superior del inicio de la aleta caudal; **L12**.- Margen inferior del inicio de la aleta caudal; **L13**.- Término de la bifurcación superior de la aleta caudal; **L14**.- Término de la bifurcación inferior de la aleta caudal; y **L15** Fin de la línea plateada (landmark utilizado para la obtención de la longitud estándar).

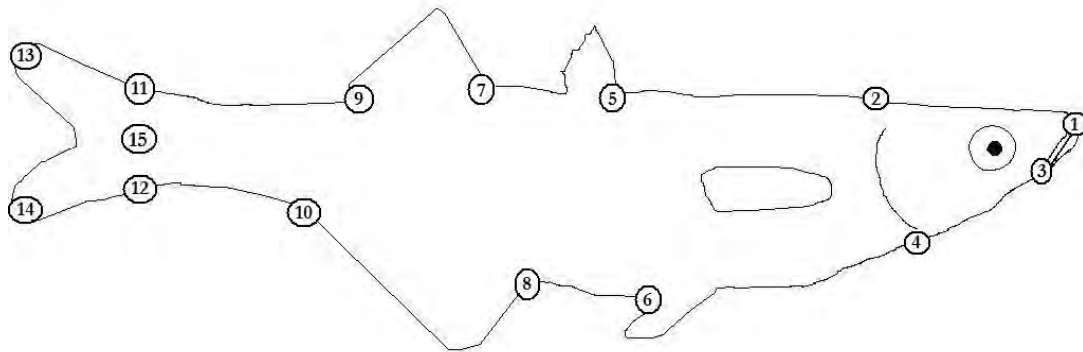


Figura 5. **Landmarks que integran el Truss.** 14 landmarks propuestos para la especie *Chirostoma humboldtianum*.

Forma básica de *Chirostoma humboldtianum*

Una vez seleccionados los organismos, se trabajó con las imágenes de cada pescado. Se registraron las coordenadas de cada landmark en unidades de píxel con el programa Coordinator (Valencia Hernandez, 2008) a partir de las fotografías tomadas. En este trabajo denominamos “variables morfométricas” o “caracteres morfométricos” a las distancias cartesianas entre pares de landmarks. Se estimó la distancia cartesiana entre pares de landmarks en unidades de píxel y posteriormente se transformó a unidades de distancia estándar (centímetros), asumiendo aberración geométrica ínfima. Para ello se empleó el programa de cómputo denominado “Zhang”, por su capacidad para emplearse como interface del programa “EasyCalib” (Zhang, 2002) empleado para la calibración de cámaras. Tanto el programa “Coordinator” como “Zhang” fueron desarrollados en el LBAFZ.

Para la obtención de la forma básica, únicamente se consideraron las variables morfométricas que tenían una relación lineal con la longitud estándar, ya que nos indicarían una misma proporción de las estructuras corporales independientemente del tamaño, sexo y población de los peces.

La existencia de relación lineal se hizo mediante regresiones por mínimos cuadrados de acuerdo a la ecuación:

$$\text{Variable redundante} = b_0 + b_1x$$

Donde:

x : Longitud Estándar

b_0 : Ordenada al origen

b_1 : Pendiente

Se empleó el criterio de la R^2 ajustada $\geq 97.5\%$ equivalente a $R \approx 95\%$ como indicativo de relación lineal, discriminando así entre las posibles variables redundantes y las que presentaron alta variabilidad.

Se identificaron las posibles variables redundantes (variables con valores de $R^2 \geq 97.5\%$) dentro de cada grupo (localidad y sexo) y para la obtención de las variables que describen la forma básica o variables redundantes, se consideraron las variables con una misma pendiente (b_1).

Para la obtención de la forma básica exclusiva de cada población, se compararon las pendientes de la variable categórica "Sexo" (indeterminados, hembras y machos). Para la obtención de la forma básica para cada sexo, se compararon las pendientes de la variable categórica "Localidad" (Villa Victoria y Tepuxtepec).

La forma básica común a ambas localidades fue la integrada por las variables morfométricas con R^2 ajustada ≥ 97.5 que además mantuvieron una pendiente similar, independientemente de la población y el sexo de los organismos, a estas variables se les consideró como variables redundantes.

Variabilidad en la forma

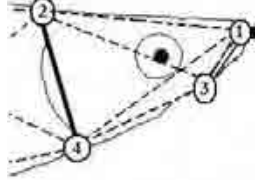
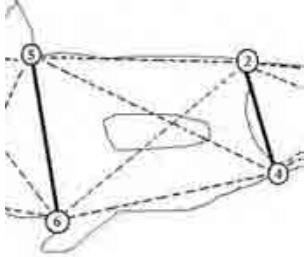
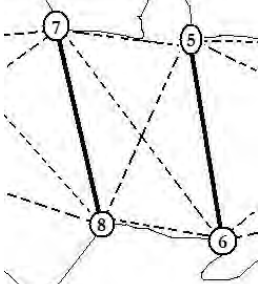
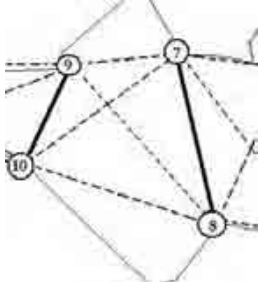
Complementario a la forma básica, la búsqueda de diferencias se basa en tendencias que se alejen de la forma básica, particularmente patrones de distribución diferentes al lineal entre las variables morfométricas y una variable morfométrica de referencia, en nuestro caso la longitud estándar, así como casos con alta variabilidad aun cuando se conserve la linealidad.

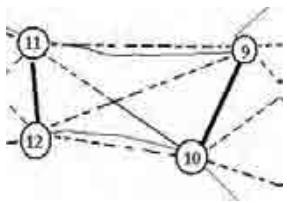
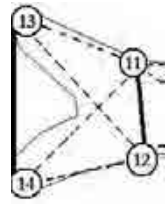
El análisis se realizó por zonas corporales o cuadrantes (Método de Truss), esperando encontrar mayor variabilidad en las distancias entre pares de landmarks cercanos. Para los 14 landmarks que se propusieron (Véase Figura 3 y Figura 5 para guiarse acerca del número de landmarks y la combinación de distancias entre pares de landmarks por cuadrantes), se analizaron 31 variables morfométricas o distancias entre pares de landmarks (Cuadro 3).

Se analizaron los atributos linealidad y homocedasticidad residual en búsqueda de divergencias del patrón lineal y se discriminó si el crecimiento es lineal con alta variabilidad o si existía otra tendencia de crecimiento.

Para la obtención de variabilidad morfométrica dentro de una misma población, se analizó cada variable morfométrica por separado para organismos indeterminados, hembras, machos y por toda la población. Se tomaron como datos extraordinarios a aquellos residuos estudentizados mayores a 3.

Cuadro 3. **Variables morfométricas analizadas.** Se analizaron las variables morfométricas que componen exclusivamente a cada cuadrante.

<p>Cuadrante 1</p> <p>L1_L2 L1_L3 L1_L4 L2_L3 L2_L4 L3_L4</p>	
<p>Cuadrante 2</p> <p>L2_L5 L2_L6 L4_L5 L4_L6 L5_L6</p>	
<p>Cuadrante 3</p> <p>L5_L7 L5_L8 L6_L7 L6_L8 L7_L8</p>	
<p>Cuadrante 4</p> <p>L7_L9 L7_L10 L8_L9 L8_L10 L9_L10</p>	

<p>Cuadrante 5</p>	<p>L9_L11 L9_L12 L10_L11 L10_L12 L11_L12</p> 
<p>Cuadrante 6</p>	<p>L11_L13 L11_L14 L12_L13 L12_L14 L13_L14</p> 

RESULTADOS

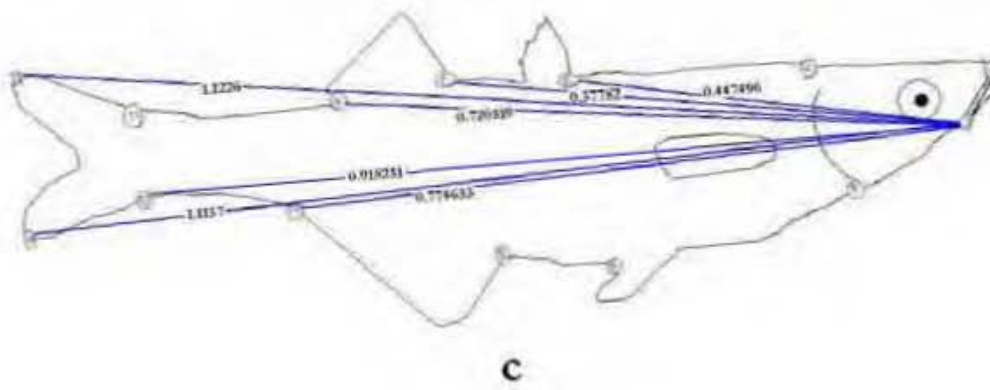
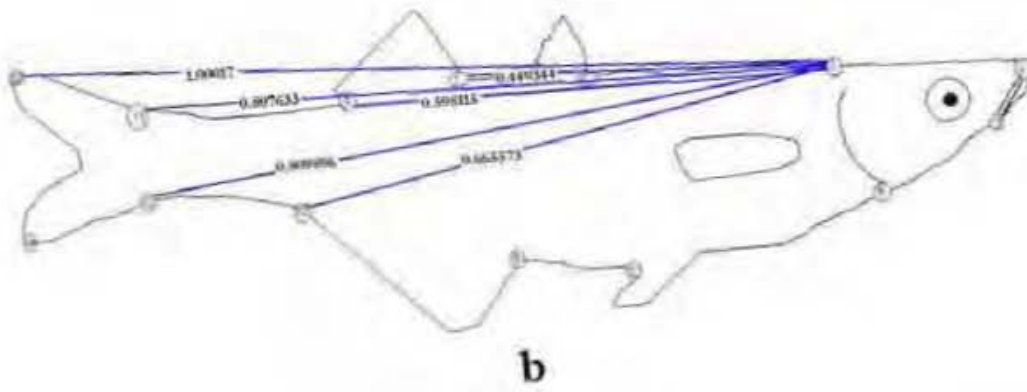
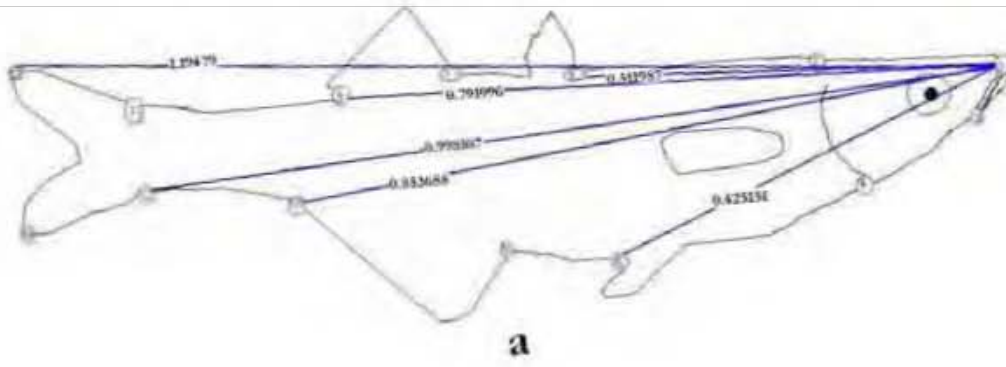
Forma básica de *Chirostoma humboldtianum*

Para la configuración de los 14 landmarks propuestos para la especie, basados en el método de Truss, se analizaron 91 variables morfométricas. Para la construcción de la forma básica únicamente se tomaron las variables morfométricas que siguen una tendencia lineal (lo que indica que no hay cambio de forma independientemente del tamaño, sexo y población de los organismos).

De las 91 posibles combinaciones se obtuvieron 46 variables morfométricas que tienen una $R^2 \geq 97.5\%$ para la población de Villa Victoria y 67 variables morfométricas para la población de Tepuxtepec. Los parámetros de las ecuaciones obtenidas por regresión lineal para las posibles variables redundantes se pueden observar en el Anexo 1 para la población de Villa Victoria y para la población de Tepuxtepec en el Anexo 2.

Para los organismos indeterminados entre ambas poblaciones se encontraron 20 variables morfométricas con una $R^2 \geq 97.5\%$ (Anexo 3), para hembras se identificaron 61 (Anexo 4) y para los machos 64 (Anexo 5).

Para la comparación de pendientes de 46 variables morfométricas potencialmente redundantes comunes en toda la población de Villa Victoria (Anexo 6), se obtuvieron 30 variables morfométricas redundantes con pendientes similares para la población de Villa Victoria (Figura 6). En todos los casos las variables redundantes fueron producto de la combinación de landmarks alejados y en ningún caso se observaron variables dentro del mismo cuadrante. De los landmarks que se ubican en la zona ventral, únicamente el landmark ubicado al inicio de la aleta ventral (L6) mostró variables redundantes con los landmarks de la zona caudal y una sola variable con el landmark 1 (inicio del hocico).



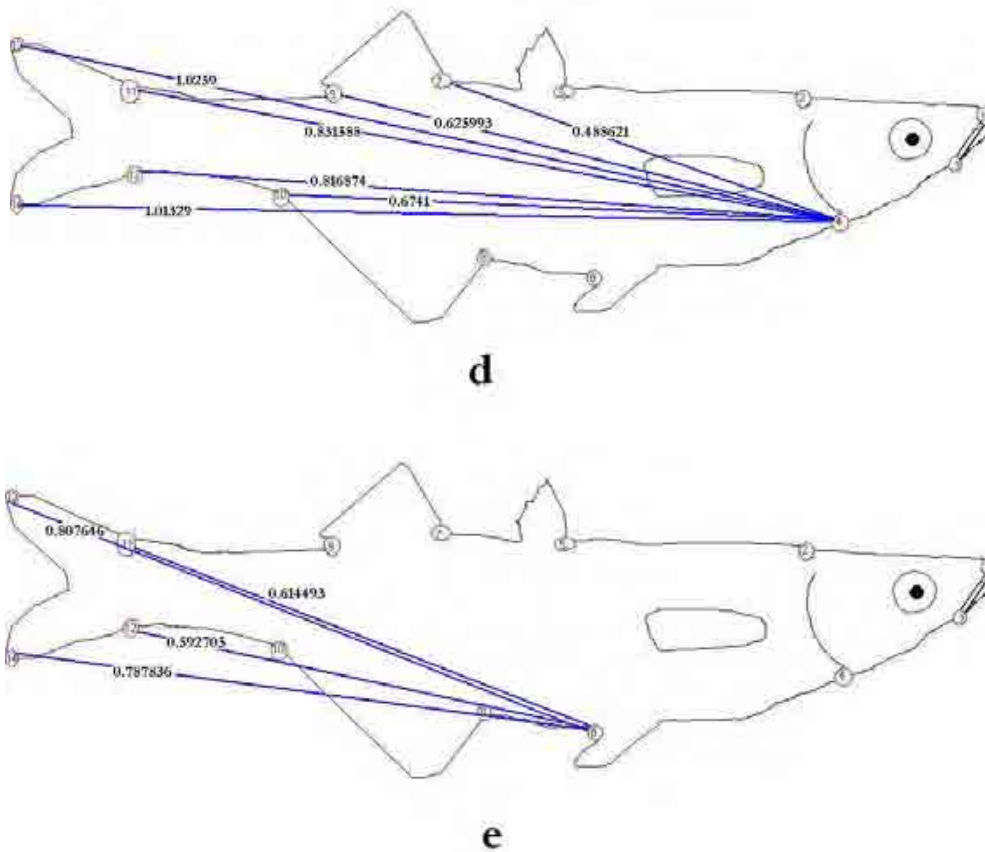
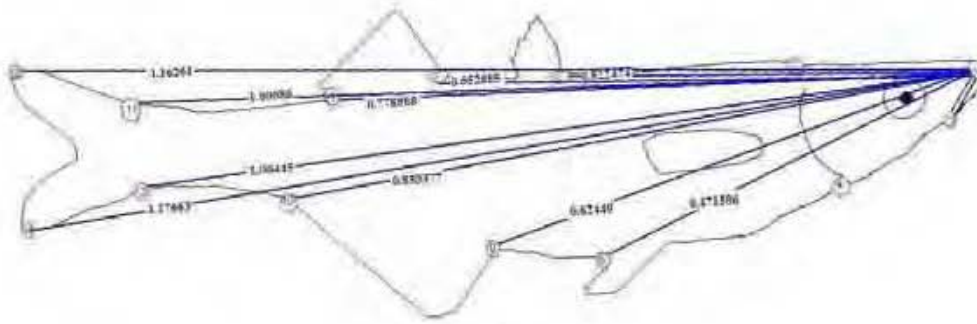
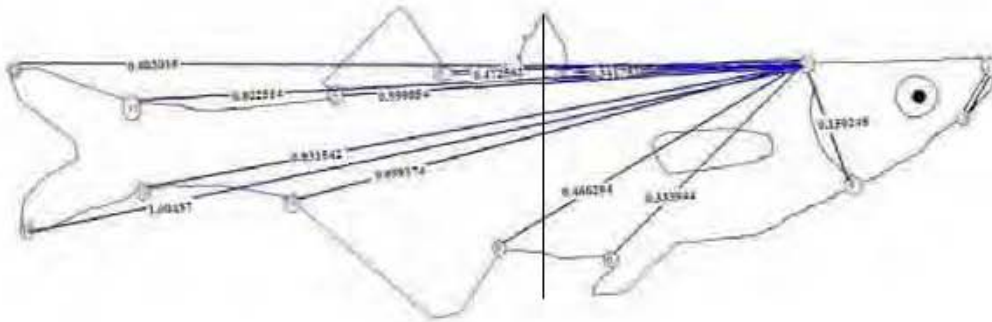


Figura 6. Forma básica para la población de Villa Victoria a partir de la medición de distancias entre pares de landmarks. Las líneas representan a las variables morfométricas redundantes (R^2 ajustada $> 97.5\%$ y “p” de la comparación de pendientes > 0.05). Los números indican el valor de su respectiva pendiente.

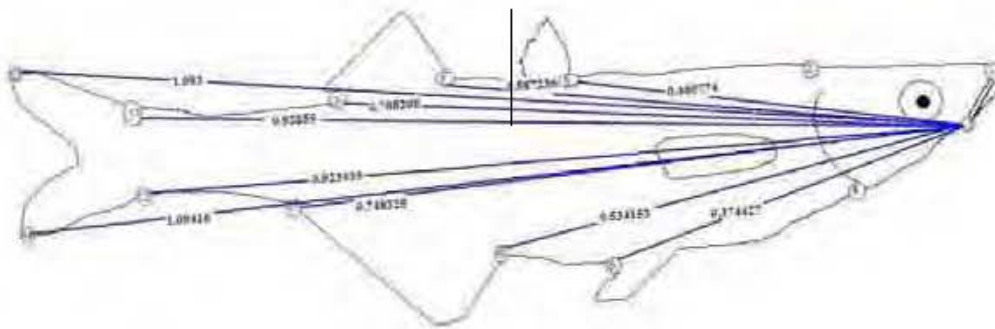
En la población de Tepuxtepec, la comparación de pendientes para las 67 variables morfométricas potencialmente redundantes (Anexo 7), 62 variables morfométricas resultaron redundantes al obtenerse pendientes similares (Figura 7). La mayoría de las variables redundantes que se obtuvieron son las resultantes entre pares de landmarks alejados sin embargo, para esta población también se obtuvieron variables redundantes entre pares de landmark vecinos. Las variables redundantes obtenidas entre pares de landmarks vecinos son: la distancia entre el margen superior e inferior del opérculo (L2_L4); las variables que componen la zona pectoral de los peces excepto la distancia del margen inferior del opérculo y el inicio de la aleta ventral (L4_L6); en la zona abdominal se obtuvieron 3 variables redundantes que describen la altura del abdomen (L5_L6, L5_L8 y L7_L8); la distancia inicio de la aleta anal y termino de la segunda aleta dorsal (L8_L9); y la variable que describe la altura del inicio de la aleta caudal (L11_L12).



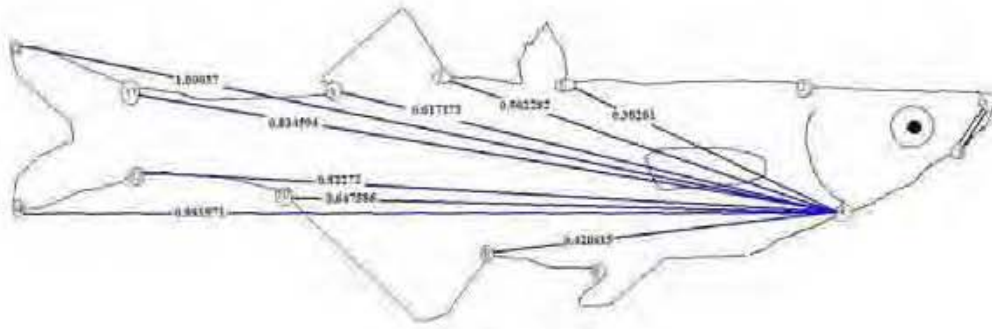
a



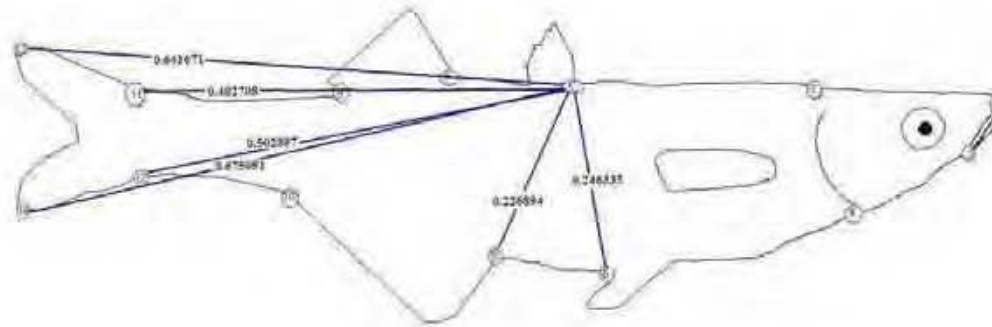
b



c



d



e

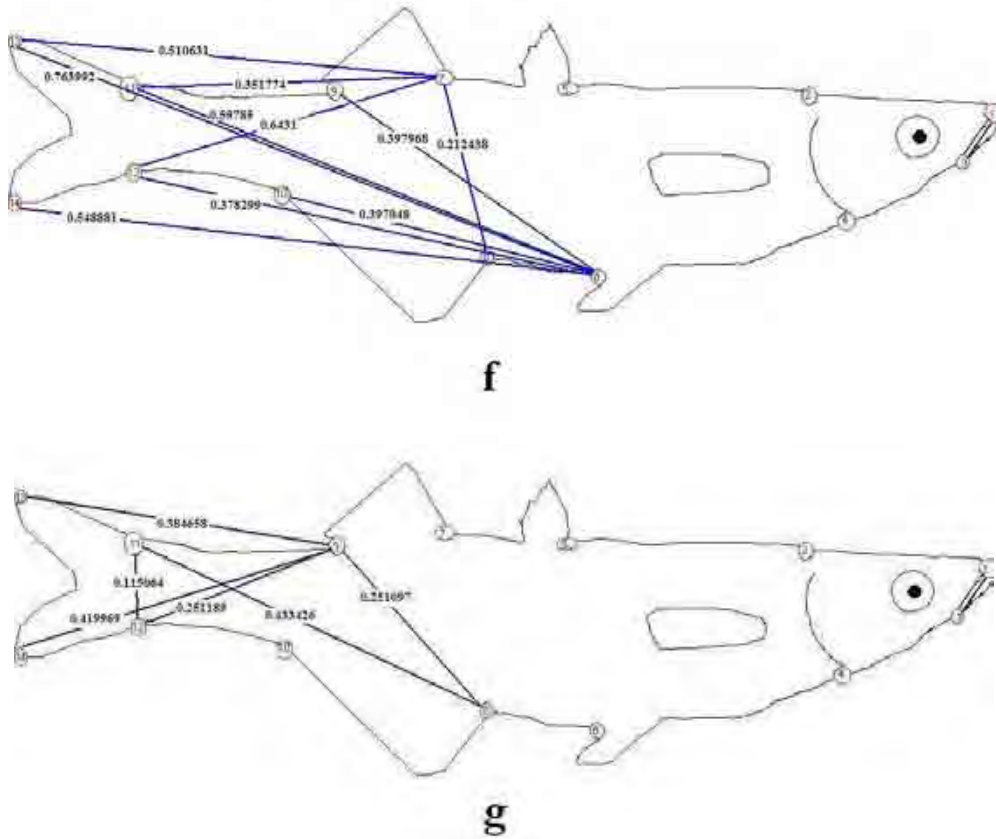


Figura 7. Forma básica para la población de Tepuxtepec a partir de la medición de distancias entre pares de landmarks. Las líneas representan a las variables morfométricas redundantes (R^2 ajustada $\geq 97.5\%$ y “p” de la comparación de pendientes > 0.05). Los números indican el valor de su respectiva pendiente.

Para los organismos indeterminados únicamente se compararon las regresiones de 20 variables morfométricas (Anexo 8). Se obtuvieron 18 variables morfométricas redundantes con pendientes similares para los organismos indeterminados de ambas poblaciones (Figura 8). En la Figura 8a se muestran las variables redundantes que tienen como origen el inicio del hocico y el margen superior del opérculo. En la Figura 8b se muestran 8 variables redundantes con origen en la parte basal del maxilar inferior y el margen inferior del opérculo. Se observa que los landmarks que componen la zona abdominal presentaron variabilidad al no obtenerse ninguna variable redundante con estos landmarks. Para los landmarks que involucran el inicio del pedúnculo caudal únicamente se obtuvieron variables redundantes cuando se tiene como origen el inicio del hocico.

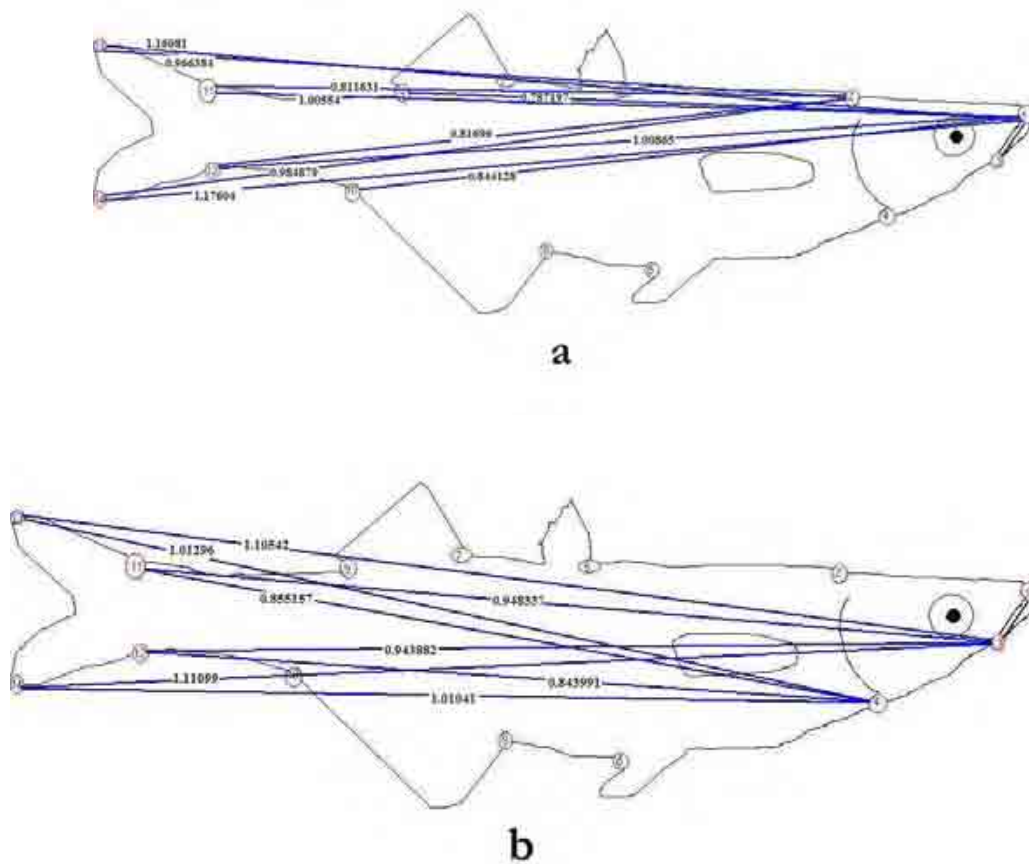
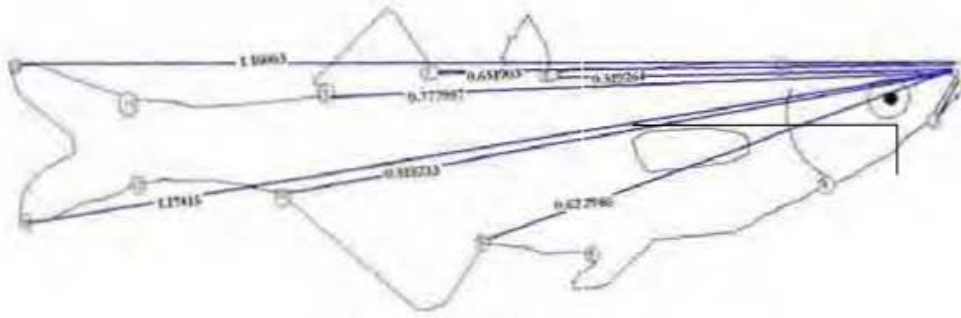
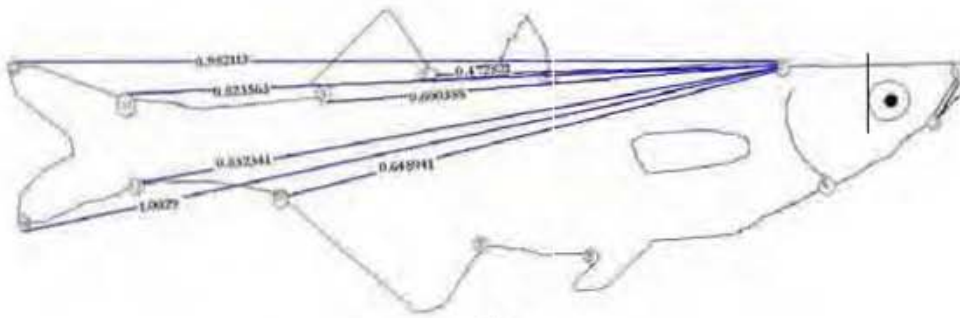


Figura 8. Forma básica para organismos indeterminados a partir de la medición de distancias entre pares de landmarks. Las líneas representan a las variables morfométricas redundantes (R^2 ajustada $\geq 97.5\%$ y "p" de la comparación de pendientes > 0.05). Los números indican el valor de su respectiva pendiente.

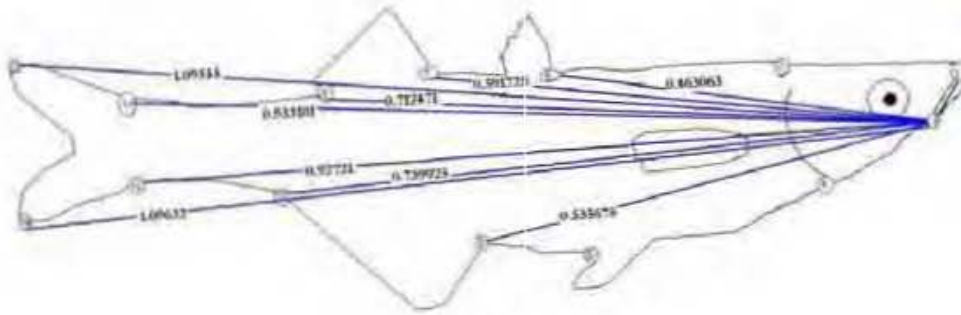
Para hembras se compararon las rectas de 61 variables morfométricas (Anexo 9). Se obtuvieron 42 variables morfométricas redundantes con pendientes similares para las hembras de ambas poblaciones (Figura 9). En ningún caso se observaron variables redundantes entre pares de landmarks vecinos. La zona abdominal presenta pocas variables redundantes y solo 7 variables relacionadas con el tamaño del abdomen (L6 y L8) resultaron redundantes.



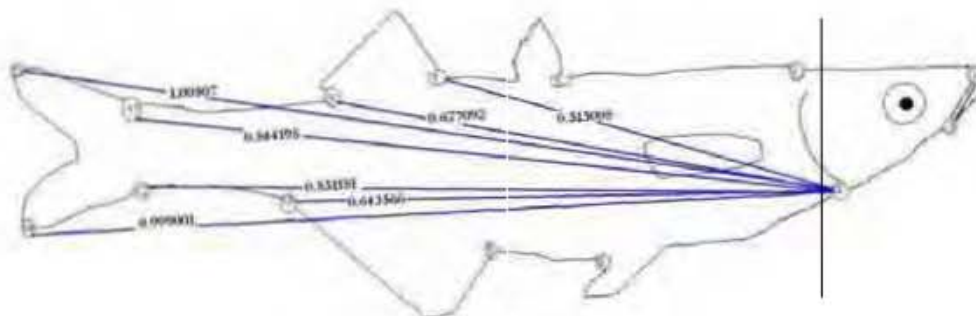
a



b



c



d

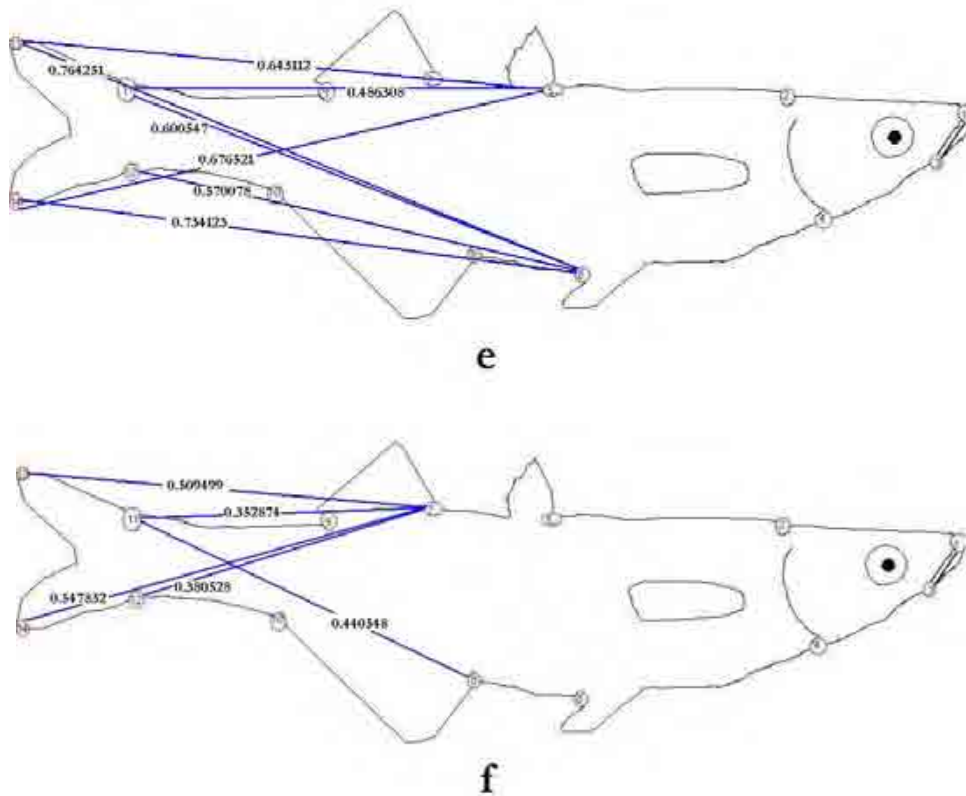
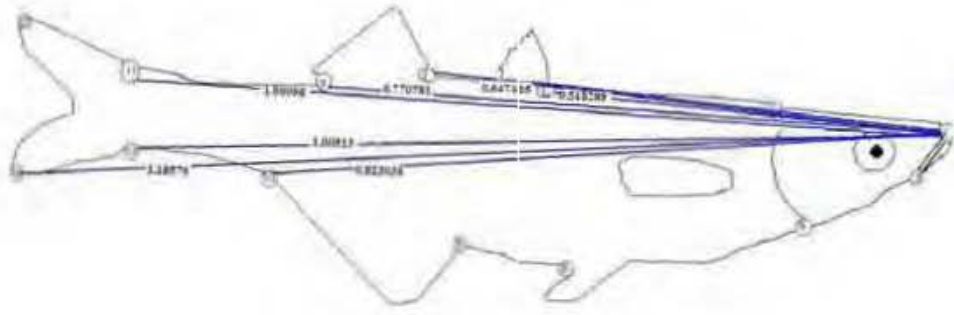
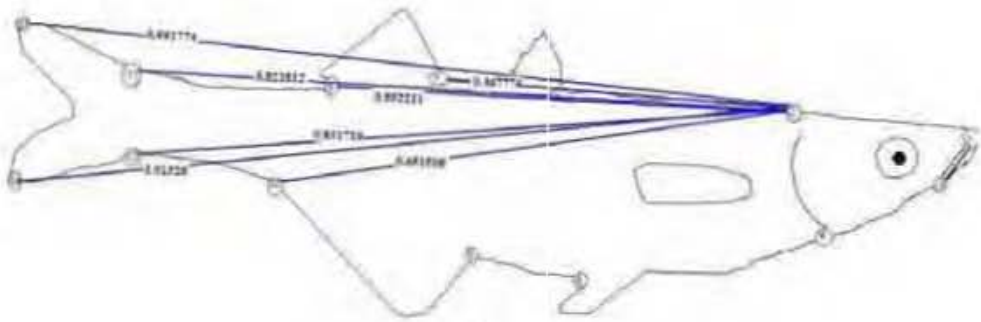


Figura 9. **Forma básica para hembras a partir de la medición de distancias entre pares de landmarks.** Las líneas representan a las variables morfométricas redundantes (R^2 ajustada $\geq 97.5\%$ y “p” de la comparación de pendientes > 0.05). Los números indican el valor de su respectiva pendiente.

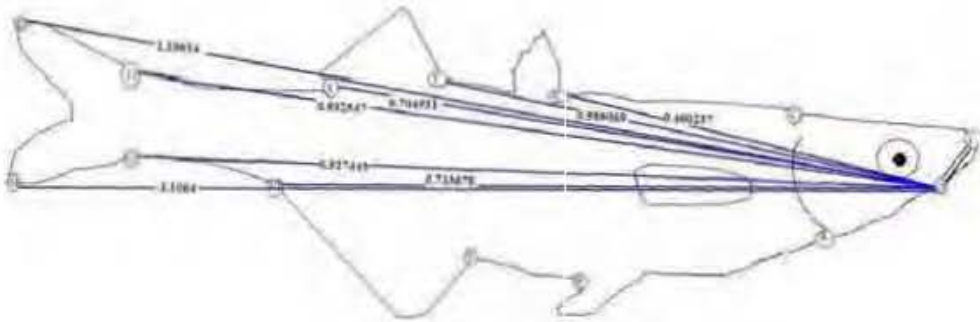
Para machos, se compararon las rectas de las 46 variables morfométricas comunes en ambas poblaciones (Anexo 10). Se obtuvieron 36 variables morfométricas redundantes con pendientes similares para los machos de ambas poblaciones (Figura 10). Al igual que en organismos indeterminados y hembras las variables redundantes resultaron de pares de landmarks alejados. Solo se presentaron 2 variables redundantes relacionadas con el tamaño del abdomen (L6 y L8).



a



b



c

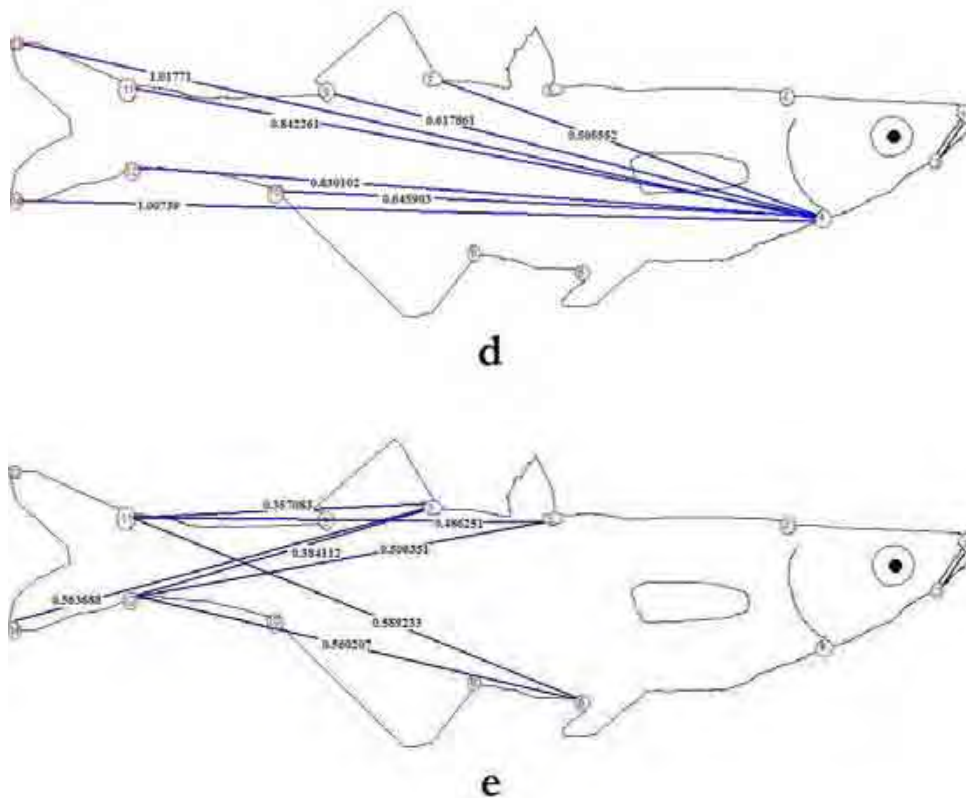


Figura 10. **Forma básica para machos a partir de la medición de distancias entre pares de landmarks.** Las líneas representan a las variables morfométricas redundantes (R^2 ajustada $\geq 97.5\%$ y “p” de la comparación de pendientes > 0.05). Los números indican el valor de su respectiva pendiente.

La comparación de las rectas ajustadas dio como resultado 12 variables que describen la forma básica de la especie (Figura 11). Los parámetros para el cálculo de las rectas que describen la forma básica se pueden consultar en el Anexo 11. En general, se observa que las variables redundantes resultaron en su mayoría de los pares de landmarks alejados, aunque como podemos observar en la Figura 11a, no siempre las variables formadas con landmarks alejados resultaron redundantes (inicio del hocico con las variables de la aleta caudal). Las variables que se observan en la Figura 11 son las que resultaron redundantes en las dos poblaciones y en las tres posibilidades de la variable categórica sexo (indeterminados, hembras y machos).

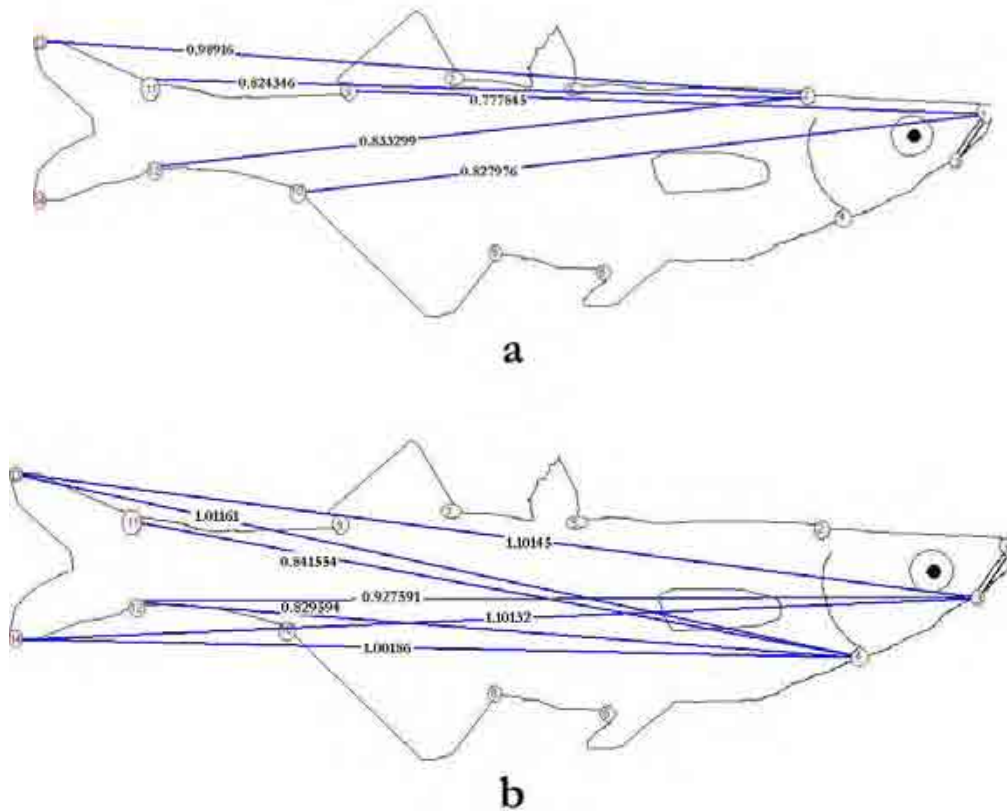


Figura 11. Forma básica para la especie *Chirostoma humboldtianum* a partir de la medición de distancias entre pares de landmarks. Los números indican el valor de su respectiva pendiente.

Variabilidad en la forma

Los resultados del análisis residual para cada variable morfométrica se muestran por cuadrantes en los cuadros subsecuentes de la siguientes manera:

1. Columnas de izquierda a derecha

Columna 1.- Variables Morfométricas

Columna 2.- Criterios empleados para la discriminación de tendencias

Columna 3.- Resultados para organismos indeterminados

Columna 4.- Resultados para hembras

Columna 5.- Resultados para machos

Columna 6.- Resultados para toda la población en conjunto (indeterminado + hembras + machos)

2. Renglones de arriba hacia abajo

Renglón 1.- Coeficiente de correlación para el modelo lineal

Renglón 2.- Coeficiente de determinación

Renglón 3.- Ecuación del modelo lineal

Renglón 4.- Ecuación del modelo alternativo (si existe otra tendencia diferente a la lineal)

Renglón 5.- Número de datos extraordinarios para el modelo lineal

Renglón 6.- Número de datos extraordinarios para el modelo alternativo (si existe otra tendencia diferente a la lineal)

A partir del análisis residual fue posible identificar 2 tendencias de crecimiento (tendencia lineal y tendencia potencial). Una tendencia potencial indica cambio en la proporción de las estructuras corporales, por lo que las variables indicativas de variabilidad morfométrica se representaron con la ecuación del modelo potencial (modelo alternativo) y las variables que no presentan cambio en proporción únicamente se representaron con la ecuación del modelo lineal. El valor de los exponentes en el modelo potencial es indicativo del aumento o disminución en proporción de las variables con respecto a la longitud estándar (Gelman y Hill, 2007). Dependiendo del valor de los exponentes obtenidos en las ecuaciones potenciales, se pueden catalogar a las variables con tendencia a aumentar (valor del exponente > 1) o disminuir en proporción (valor del exponente < 1).

Cuadrante 1 (Zona cefálica)

Los resultados para la zona cefálica de la población de Villa Victoria se pueden consultar en el Cuadro 4. En hembras y machos se observa mayor variabilidad morfométrica ya que 5 de las 6 variables que integran la zona cefálica presentaron tendencia potencial. Las discrepancias observadas entre hembras y machos, indican que en hembras se mantiene una tendencia de aumento en el tamaño del maxilar inferior (similar a indeterminados), mientras que en machos esta variable tiende a disminuir en proporción.

Cuadro 4. **Resultados del cuadrante 1 para la población Villa Victoria.** En general para toda la población se obtuvo solo una variable (L2_L4) con tendencia lineal y 5 (L1_L2, L1_L3, L1_L4, L2_L3 y L3_L4) que presentaron tendencia potencial.

	Indeterminados	Hembras	Machos	VV	
L1_L2	C. Correlación	0.980284	0.947647	0.951336	0.966009
	R ² ajustada	95.9454%	89.5351%	90.2162%	93.2511%
	Lineal	L1_L2= 0.036 + (0.185 * Le)	L1_L2= -0.016 + (0.199 * Le)	L1_L2= 0.001 + (0.189 * Le)	L1_L2=-0.022 + (0.197 * Le)
	Alternativo	-	L1_L2 = 0.194 * Le ^{1.005}	L1_L2 = 0.187 * Le ^{1.005}	L1_L2 = 0.190 * Le ^{1.006}
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L1_L3	C. Correlación	0.872614	0.927248	0.920651	0.937954
	R ² ajustada	75.262%	85.6098%	84.2981%	87.8578%
	Lineal	L1_L3 = 0.012 + (0.097 * Le)	L1_L3 = -0.035 + (0.105 * Le)	L1_L3=-0.020 + (0.099 * Le)	L1_L3 = -0.017 + (0.101 * Le)
	Alternativo	L1_L3 = 0.096 * Le ^{1.020}	L1_L3 = 0.093 * Le ^{1.035}	L1_L3 = 0.097 * Le ^{0.996}	L1_L3 = 0.096 * Le ^{1.012}
	Ext. Lineal	-	-	1	-

	Ext. Alt.	-	-	-	-
L1_L4	C. Correlación	0.961684	0.94052	0.9776614	0.968493
	R ² ajustada	92.1945%	88.154%	95.2374%	93.7365%
	Lineal	$L1_L4 = 0.007 + (0.212 * Le)$	$L1_L4 = 0.188 + (0.190 * Le)$	$L1_L4 = 0.036 + (0.205 * Le)$	$L1_L4 = 0.051 + (0.206 * Le)$
	Alternativo	-	$L1_L4 = 0.274 * Le^{0.880}$	$L1_L4 = 0.217 * Le^{0.984}$	$L1_L4 = 0.225 * Le^{0.973}$
	Ext. Lineal	-	-	-	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L2_L3	C. Correlación	0.942511	0.936607	0.933996	0.956061
	R ² ajustada	88.4031%	87.4003%	86.8481%	91.3203%
	Lineal	$L2_L3 = 0.045 + (0.143 * Le)$	$L2_L3 = 0.007 + (0.155 * Le)$	$L2_L3 = -0.010 + (0.154 * Le)$	$L2_L3 = -0.016 + (0.157 * Le)$
	Alternativo	-	$L2_L3 = 0.158 * Le^{0.992}$	$L2_L3 = 0.145 * Le^{1.025}$	$L2_L3 = 0.151 * Le^{1.008}$
	Ext. Lineal	1	-	1	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L2_L4	C. Correlación	0.94337	0.97365	0.969521	0.977748
	R ² ajustada	88.5871%	94.6626%	93.8151%	95.556%
	Lineal	$L2_L4 = -0.0009 + (0.133 * Le)$	$L2_L4 = -0.040 + (0.143 * Le)$	$L2_L4 = -0.043 + (0.141 * Le)$	$L2_L4 = -0.046 + (0.143 * Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	2	1	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L3_L4	C. Correlación	0.834542	0.766537	0.924162	0.881495
	R ² ajustada	68.5219%	57.6726%	84.9654%	77.4848%
	Lineal	$L3_L4 = -0.024 + (0.125 * Le)$	$L3_L4 = 0.251 + (0.086 * Le)$	$L3_L4 = 0.061 + (0.110 * Le)$	$L3_L4 = 0.084 + (0.107 * Le)$
	Alternativo	-	$L3_L4 = 0.207 * Le^{0.727}$	$L3_L4 = 0.125 * Le^{0.974}$	$L3_L4 = 0.136 * Le^{0.931}$
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-

En el Cuadro 5 se observan los resultados obtenidos para la zona cefálica en la población de Tepuxtepec. En esta población se observa que la variable que describe el tamaño del maxilar inferior tiende a aumentar en los tres subgrupos. La distancia entre el inicio del hocico y el margen superior del opérculo tiende a disminuir en organismos indeterminados y machos, mientras que en hembras tiende a aumentar. La altura del opérculo tiende a aumentar en organismos diferenciados sexualmente mientras que en organismos indeterminados no se observo tendencia de cambio en la forma. La distancia entre la base del maxilar inferior y el margen inferior del opérculo tiende a aumentar únicamente en machos.

Cuadro 5. **Resultados del cuadrante 1 para la población Tepuxtepec.** En general para toda la población se obtuvo una sola variable (L3_L4) con tendencia lineal y 5 (L1_L2, L1_L3, L1_L4, L2_L3 y L2_L4) con tendencia potencial.

	Indeterminados	Hembras	Machos	Tpx	
L1_L2	C. Correlación	0.8908	0.975996	0.973718	0.980089
	R ² ajustada	78.6642%	95.2111%	94.7517%	96.0398%
	Lineal	$L1_L2 = 0.002 + (0.196 * Le)$	$L1_L2 = -0.032 + (0.187 * Le)$	$L1_L2 = 0.005 + (0.182 * Le)$	$L1_L2 = 0.030 + (0.181 * Le)$
	Alternativo	$L1_L2 = 0.197 * Le^{0.996}$	$L1_L2 = 0.183 * Le^{1.0007}$	$L1_L2 = 0.187 * Le^{0.988}$	$L1_L2 = 0.201 * Le^{0.962}$
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	1	

L1_L3	C. Correlación	0.901373	0.969066	0.971501	0.976599
	R ² ajustada	80.6223%	93.8491%	94.3138%	95.3534%
	Líneal	$L1_L3 = -0.043 + (0.101 * Le)$	$L1_L3 = -0.108 + (0.107 * Le)$	$L1_L3 = -0.081 + (0.108 * Le)$	$L1_L3 = -0.072 + (0.106 * Le)$
	Alternativo	$L1_L3 = 0.077 * Le^{1.112}$	$L1_L3 = 0.077 * Le^{1.093}$	$L1_L3 = 0.087 * Le^{1.058}$	$L1_L3 = 0.083 * Le^{1.070}$
	Ext. Líneal	-	-	3	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L1_L4	C. Correlación	0.953443	0.982621	0.986337	0.988239
	R ² ajustada	90.6022%	96.5209%	97.2538%	97.651%
	Líneal	$L1_L4 = 0.027 + (0.203 * Le)$	$L1_L4 = -0.099 + (0.216 * Le)$	$L1_L4 = -0.088 + (0.217 * Le)$	$L1_L4 = -0.055 + (0.213 * Le)$
	Alternativo	-	$L1_L4 = 0.186 * Le^{1.043}$	$L1_L4 = 0.189 * Le^{1.039}$	$L1_L4 = 0.198 * Le^{1.018}$
	Ext. Líneal	1	1	-	-
	Ext. Alt.	-	-	1	3
L2_L3	C. Correlación	0.848333	0.970749	0.966919	0.974527
	R ² ajustada	71.0324%	94.1799%	93.4167%	94.9477%
	Líneal	$L2_L3 = 0.044 + (0.159 * Le)$	$L2_L3 = 0.001 + (0.152 * Le)$	$L2_L3 = 0.038 + (0.147 * Le)$	$L2_L3 = 0.061 + (0.146 * Le)$
	Alternativo	$L2_L3 = 0.185 * Le^{0.939}$	$L2_L3 = 0.166 * Le^{0.963}$	$L2_L3 = 0.167 * Le^{0.954}$	$L2_L3 = 0.182 * Le^{0.924}$
	Ext. Líneal	-	-	1	1
	Ext. Alt.	-	-	-	1
L2_L4	C. Correlación	0.946458	0.987715	0.990214	0.990414
	R ² ajustada	89.2309%	97.5345%	98.0292%	98.0833%
	Líneal	$L2_L4 = -0.007 + (0.150 * Le)$	$L2_L4 = -0.101 + (0.155 * Le)$	$L2_L4 = -0.056 + (0.148 * Le)$	$L2_L4 = -0.047 + (0.149 * Le)$
	Alternativo	-	$L2_L4 = 0.131 * Le^{1.041}$	$L2_L4 = 0.133 * Le^{1.026}$	$L2_L4 = 0.142 * Le^{1.007}$
	Ext. Líneal	-	1	-	2
	Ext. Alt.	-	1	-	-
L3_L4	C. Correlación	0.783058	0.958911	0.946894	0.964218
	R ² ajustada	60.0286%	91.8714%	89.5377%	92.9396%
	Líneal	$L3_L4 = 0.087 + (0.104 * Le)$	$L3_L4 = 0.015 + (0.113 * Le)$	$L3_L4 = 0.002 + (0.113 * Le)$	$L3_L4 = 0.027 + (0.112 * Le)$
	Alternativo	-	-	$L3_L4 = 0.111 * Le^{1.005}$	-
	Ext. Líneal	1	1	2	-
	Ext. Alt.	-	-	1	-

Cuadrante 2 (Zona pectoral)

Para la población de Villa Victoria se observa que la zona pectoral presenta baja variabilidad en la forma (Cuadro 6). En organismos indeterminados se presentó a la variable descriptora de la altura (L5_L6) como indicativa de disminución en proporción, mientras que en hembras y machos esta variable tiende a aumentar en proporción. La distancia entre el margen superior del opérculo y la primera aleta dorsal tiende a disminuir en machos únicamente.

Cuadro 6. **Resultados del cuadrante 2 para la población Villa Victoria.** En general para toda la población se obtuvieron 4 variables (L2_L5, L2_L6, L4_L5 y L4_L6) que presentan una tendencia lineal y solo una (L5_L6) con tendencia potencial.

	Indeterminados	Hembras	Machos	VV	
L2_L5	C. Correlación	0.96666	0.97106	0.969999	0.978438
	R ² ajustada	93.1909%	94.1456%	93.9108%	95.6919%
	Lineal	$L2_L5 = -0.119 + (0.335 * Le)$	$L2_L5 = -0.101 + (0.325 * Le)$	$L2_L5 = -0.101 + (0.325 * Le)$	$L2_L5 = -0.037 + (0.318 * Le)$
	Alternativo	-	-	$L2_L5 = 0.322 * Le^{0.984}$	-
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L2_L6	C. Correlación	0.956008	0.971454	0.974747	0.979494
	R ² ajustada	91.0765%	94.2241%	94.8621%	95.901%
	Lineal	$L2_L6 = -0.082 + (0.254 * Le)$	$L2_L6 = -0.176 + (0.272 * Le)$	$L2_L6 = -0.199 + (0.277 * Le)$	$L2_L6 = -0.165 + (0.271 * Le)$
	Alternativo	-	$L2_L6 = 0.203 * Le^{1.099}$	-	-
	Ext. Lineal	-	2	-	2
	Ext. Alt.	-	1	-	-
L4_L5	C. Correlación	0.968772	0.978518	0.986128	0.983824
	R ² ajustada	93.6241%	95.6378%	97.1587%	96.7592%
	Lineal	$L4_L5 = -0.164 + (0.375 * Le)$	$L4_L5 = -0.281 + (0.382 * Le)$	$L4_L5 = -0.104 + (0.362 * Le)$	$L4_L5 = -0.132 + (0.365 * Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	1	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L4_L6	C. Correlación	0.931603	0.943142	0.945496	0.953597
	R ² ajustada	86.2804%	88.6609%	89.0749%	90.8449%
	Lineal	$L4_L6 = -0.231 + (0.238 * Le)$	$L4_L6 = -0.357 + (0.246 * Le)$	$L4_L6 = -0.227 + (0.229 * Le)$	$L4_L6 = -0.209 + (0.227 * Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	1	-	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L5_L6	C. Correlación	0.918051	0.954373	0.944971	0.961296
	R ² ajustada	83.6995%	90.8482%	88.9726%	92.3346%
	Lineal	$L5_L6 = 0.0015 + (0.193 * Le)$	$L5_L6 = -0.014 + (0.199 * Le)$	$L5_L6 = -0.013 + (0.204 * Le)$	$L5_L6 = -0.033 + (0.203 * Le)$
	Alternativo	$L5_L6 = 0.194 * Le^{0.994}$	$L5_L6 = 0.186 * Le^{1.026}$	$L5_L6 = 0.184 * Le^{1.048}$	$L5_L6 = 0.181 * Le^{1.045}$
	Ext. Lineal	-	1	-	2
	Ext. Alt.	-	-	-	-

En este cuadrante se obtuvieron valores altos de correlación y de R² para la población de Tepuxtepec, pero el análisis de los residuos mostró que la mayoría de las variables presentaron tendencia al modelo potencial (Cuadro 7). En organismos indeterminados no existe evidencia de cambio morfométrico ya que todas las variables del cuadrante 2 resultaron con tendencia lineal. Al momento de diferenciarse sexualmente se observa en general una tendencia de aumento en proporción de las variables que componen a este cuadrante, haciendo evidente un aumento en proporción de la altura (desplazamiento del landmark 6) en hembras y machos.

Cuadro 7. **Resultados del cuadrante 2 para la población Tepuxtepec.** En general para toda la población se obtuvo una variable (L2_L5) con tendencia lineal y 4 (L2_L6, L4_L5, L4_L6, L5_L6) con tendencia potencial.

	Indeterminados	Hembras	Machos	Tpx	
L2_L5	C. Correlación	0.943658	0.987323	0.990094	0.991197
	R ² ajustada	88.6841%	97.4564%	98.0053%	98.2392%
	Lineal	$L2_L5 = -0.194 + (0.332 * Le)$	$L2_L5 = 0.011 + (0.329 * Le)$	$L2_L5 = -0.112 + (0.336 * Le)$	$L2_L5 = -0.154 + (0.341 * Le)$
	Alternativo	-	$L2_L5 = 0.328 * Le^{1.002}$	$L2_L5 = 0.294 * Le^{1.041}$	-
	Ext. Lineal	1	1	2	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L2_L6	C. Correlación	0.959407	0.991891	0.992229	0.994083
	R ² ajustada	91.781%	98.3691%	98.4336%	98.8147%
	Lineal	$L2_L6 = -0.244 + (0.301 * Le)$	$L2_L6 = -0.411 + (0.332 * Le)$	$L2_L6 = -0.424 + (0.336 * Le)$	$L2_L6 = -0.406 + (0.333 * Le)$
	Alternativo	-	$L2_L6 = 0.211 * Le^{1.136}$	-	$L2_L6 = 0.199 * Le^{1.160}$
	Ext. Lineal	-	1	1	3
	Ext. Alt.	-	1	-	-
L4_L5	C. Correlación	0.968896	0.990288	0.993241	0.99375
	R ² ajustada	93.6717%	98.0485%	98.637%	98.7482%
	Lineal	$L4_L5 = -0.196 + (0.392 * Le)$	$L4_L5 = -0.020 + (0.376 * Le)$	$L4_L5 = -0.136 + (0.380 * Le)$	$L4_L5 = -0.123 + (0.382 * Le)$
	Alternativo	-	$L4_L5 = 0.376 * Le^{0.997}$	$L4_L5 = 0.339 * Le^{1.033}$	$L4_L5 = 0.335 * Le^{1.041}$
	Ext. Lineal	-	1	2	1
	Ext. Alt.	-	1	-	1
L4_L6	C. Correlación	0.941538	0.977544	0.978067	0.983383
	R ² ajustada	88.2579%	95.5165%	95.6105%	96.6893%
	Lineal	$L4_L6 = -0.307 + (0.275 * Le)$	$L4_L6 = -0.279 + (0.263 * Le)$	$L4_L6 = -0.375 + (0.275 * Le)$	$L4_L6 = -0.285 + (0.265 * Le)$
	Alternativo	-	$L4_L6 = 0.183 * Le^{1.106}$	$L4_L6 = 0.176 * Le^{1.123}$	$L4_L6 = 0.173 * Le^{1.128}$
	Ext. Lineal	-	1	-	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L5_L6	C. Correlación	0.951047	0.984441	0.990159	0.990111
	R ² ajustada	90.1307%	96.8828%	98.0185%	98.0231%
	Modelo	$L5_L6 = -0.088 + (0.228 * Le)$	$L5_L6 = -0.173 + (0.248 * Le)$	$L5_L6 = -0.122 + (0.237 * Le)$	$L5_L6 = -0.176 + (0.246 * Le)$
	Alternativo	-	$L5_L6 = 0.195 * Le^{1.069}$	$L5_L6 = 0.183 * Le^{1.087}$	$L5_L6 = 0.181 * Le^{1.096}$
	Ext. Lineal	-	-	2	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-

Cuadrante 3 (Zona abdominal)

Los resultados mostrados en el Cuadro 8 indican diferencias morfométricas en la distancia comprendida entre la segunda aleta dorsal y el inicio de la aleta anal (L7_L8). En organismos indeterminados se observó que la variable L7_L8 tiende a disminuir en proporción, mientras que al momento de diferenciarse en hembras y machos esta variable muestra una tendencia de aumento.

Cuadro 8. **Resultados del cuadrante 3 para la población Villa Victoria.** En general para toda la población se tienen 3 variables (L5_L7, L5_L8, L6_L8) que presentan una tendencia lineal y 2 (L6_L7, L7_L8) con tendencia potencial.

	Indeterminados	Hembras	Machos	VV	
L5_L7	C. Correlación	0.863675	0.925195	0.92875	0.938083
	R ² ajustada	73.6163%	85.2196%	85.8412%	87.8811%
	Lineal	$L5_L7 = -0.135 + (0.149 * Le)$	$L5_L7 = -0.015 + (0.126 * Le)$	$L5_L7 = -0.062 + (0.135 * Le)$	$L5_L7 = -0.050 + (0.132 * Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	1	-	-	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L5_L8	C. Correlación	0.91855	0.976516	0.954224	0.971481
	R ² ajustada	83.7947%	95.2361%	90.7748%	94.3219%
	Lineal	$L5_L8 = 0.037 + (0.157 * Le)$	$L5_L8 = 0.007 + (0.167 * Le)$	$L5_L8 = -0.049 + (0.179 * Le)$	$L5_L8 = -0.025 + (0.172 * Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L6_L7	C. Correlación	0.964514	0.972043	0.975146	0.979717
	R ² ajustada	92.7705%	94.3416%	94.9421%	95.9451%
	Lineal	$L6_L7 = -0.149 + (0.314 * Le)$	$L6_L7 = -0.034 + (0.292 * Le)$	$L6_L7 = 0.007 + (0.292 * Le)$	$L6_L7 = -0.052 + (0.297 * Le)$
	Alternativo	-	$L6_L7 = 0.274 * Le^{1.023}$	-	$L6_L7 = 0.263 * Le^{1.049}$
	Ext. Lineal	-	1	-	2
	Ext. Alt.	-	1	-	-
L6_L8	C. Correlación	0.854339	0.905522	0.869017	0.912147
	R ² ajustada	71.9892%	81.5233%	74.7772%	83.0365%
	Lineal	$L6_L8 = -0.153 + (0.219 * Le)$	$L6_L8 = 0.002 + (0.189 * Le)$	$L6_L8 = 0.186 + (0.155 * Le)$	$L6_L8 = 0.017 + (0.184 * Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	1	-	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L7_L8	C. Correlación	0.942154	0.958231	0.944567	0.958928
	R ² ajustada	88.3493%	91.6053%	88.8939%	91.8753%
	Lineal	$L7_L8 = 0.018 + (0.154 * Le)$	$L7_L8 = -0.013 + (0.161 * Le)$	$L7_L8 = -0.096 + (0.183 * Le)$	$L7_L8 = -0.034 + (0.168 * Le)$
	Alternativo	$L7_L8 = 0.171 * Le^{0.949}$	$L7_L8 = 0.149 * Le^{1.032}$	$L7_L8 = 0.141 * Le^{1.094}$	$L7_L8 = 0.150 * Le^{1.040}$
	Ext. Lineal	-	1	1	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-

Para la población de Tepuxtepec se observa mayor variabilidad en el cuadrante 3 que la observada en la población de Villa Victoria (Cuadro 9). Las variables morfométricas de este cuadrante indican que existe una tendencia de aumento en la altura de los tres subgrupos de esta población (indeterminados, hembras y machos).

Cuadro 9. **Resultados del cuadrante 3 para la población Tepuxtepec.** En general para toda la población se tienen 4 variables (L5_L8, L6_L7, L6_L8, L7_L8) que presentan una tendencia potencial y 1 (L5_L7) con tendencia lineal.

	Indeterminados	Hembras	Machos	Tpx	
L5_L7	C. Correlación	0.783284	0.961848	0.971488	0.972691
	R ² ajustada	60.0652%	92.4431%	94.312%	94.5886%
	Lineal	L5_L7 = 0.112 + (0.105*Le)	L5_L7 = -0.114 + (0.136*Le)	L5_L7 = -0.042 + (0.130*Le)	L5_L7 = -0.047 + (0.131*Le)
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	1	-	-	1
Ext. Alt.	-	-	-	-	
L5_L8	C. Correlación	0.961975	0.988001	0.99023	0.991825
	R ² ajustada	92.291%	97.5917%	98.0327%	98.3644%
	Lineal	L5_L8 = -0.081 + (0.206*Le)	L5_L8 = -0.238 + (0.229*Le)	L5_L8 = -0.233 + (0.227*Le)	L5_L8 = -0.211 + (0.226*Le)
	Alternativo	L5_L8 = 0.169 * Le ^{1.072}	L5_L8 = 0.159 * Le ^{1.108}	L5_L8 = 0.150 * Le ^{1.129}	L5_L8 = 0.157 * Le ^{1.111}
	Ext. Lineal	-	-	3	2
Ext. Alt.	-	-	-	-	
L6_L7	C. Correlación	0.967947	0.992044	0.993225	0.994253
	R ² ajustada	93.4819%	98.3998%	98.6337%	98.8489%
	Lineal	L6_L7 = 0.043 + (0.287*Le)	L6_L7 = -0.107 + (0.317*Le)	L6_L7 = -0.031 + (0.304*Le)	L6_L7 = -0.093 + (0.313*Le)
	Alternativo	-	L6_L7 = 0.279 * Le ^{1.038}	L6_L7 = 0.271 * Le ^{1.044}	L6_L7 = 0.275 * Le ^{1.041}
	Ext. Lineal	-	-	2	-
Ext. Alt.	-	-	-	-	
L6_L8	C. Correlación	0.724792	0.957424	0.963311	0.966927
	R ² ajustada	50.95%	91.5859%	92.7121%	93.4656%
	Lineal	L6_L8 = 0.163 + (0.137*Le)	L6_L8 = -0.012 + (0.172*Le)	L6_L8 = 0.036 + (0.158*Le)	L6_L8 = -0.014 + (0.169*Le)
	Alternativo	-	L6_L8 = 0.158 * Le ^{1.031}	-	L6_L8 = 0.159 * Le ^{1.021}
	Ext. Lineal	-	-	-	1
Ext. Alt.	-	1	-	2	
L7_L8	C. Correlación	0.96943	0.986866	0.992164	0.99202
	R ² ajustada	93.7718%	97.3653%	98.4207%	98.4032%
	Lineal	L7_L8 = -0.106 + (0.213*Le)	L7_L8 = -0.114 + (0.212*Le)	L7_L8 = -0.132 + (0.215*Le)	L7_L8 = -0.107 + (0.212*Le)
	Alternativo	L7_L8 = 0.164 * Le ^{1.093}	L7_L8 = 0.178 * Le ^{1.049}	L7_L8 = 0.166 * Le ^{1.083}	L7_L8 = 0.173 * Le ^{1.063}
	Ext. Lineal	-	1	-	2
Ext. Alt.	-	2	-	3	

Cuadrante 4 (Zona entre la base de la aleta anal y la segunda aleta dorsal)

El cuadrante 4 representa una zona de baja variabilidad morfométrica para la población de Villa Victoria (Cuadro 10), a pesar de que se obtuvieron coeficientes de correlación y valores de R² bajos, en organismos indeterminados y hembras se observó tendencia lineal en todas las variables. En machos la base de la aleta anal tiende a aumentar en proporción, mientras que el resto de las variables presentaron tendencia lineal.

Cuadro 10. **Resultados del cuadrante 4 para la población Villa Victoria.** En general para toda la población se tienen 5 variables (L7_L9, L7_L10, L8_L9, L8_L10) con tendencia lineal.

	Indeterminados	Hembras	Machos	VV	
L7_L9	C. Correlación	0.861996	0.908308	0.921501	0.92011
	R ² ajustada	73.3154%	82.0419%	84.4451%	84.5068%
	Lineal	L7_L9= -0.215 + (0.146*Le)	L7_L9= -0.320 + (0.156*Le)	L7_L9= -0.398 + (0.176*Le)	L7_L9= -0.256 + (0.151*Le)
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	1	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L7_L10	C. Correlación	0.918108	0.962679	0.935407	0.962258
	R ² ajustada	83.7105%	92.4824%	87.1199%	92.5215%
	Lineal	L7_L10= -0.079+(0.206*Le)	L7_L10= -0.016 + (0.213*Le)	L7_L10= -0.174+(0.236*Le)	L7_L10= -0.182 + (0.235*Le)
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L8_L9	C. Correlación	0.928478	0.950703	0.952655	0.954086
	R ² ajustada	85.6767%	90.1306%	90.4662%	90.9383%
	Lineal	L8_L9= -0.134 + (0.236*Le)	L8_L9= -0.131 + (0.233*Le)	L8_L9= -0.324 + (0.277*Le)	L8_L9= -0.154 + (0.242*Le)
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	1	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L8_L10	C. Correlación	0.854721	0.919809	0.911155	0.934699
	R ² ajustada	72.0568%	84.1998%	82.5059%	87.2423%
	Lineal	L8_L10= -0.192+(0.248*Le)	L8_L10= 0.038 + (0.232*Le)	L8_L10= -0.198+(0.269*Le)	L8_L10 = -0.225 + (0.267*Le)
	Alternativo	-	-	L8_L10 = 0.187*Le ^{1.127}	-
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L9_L10	C. Correlación	0.865378	0.896849	0.828388	0.904904
	R ² ajustada	73.8834%	79.9189%	67.6422%	81.7021%
	Lineal	L9_L10= 0.097 + (0.093*Le)	L9_L10= 0.262 + (0.083*Le)	L9_L10= 0.161 + (0.095*Le)	L9_L10= 0.085 + (0.105*Le)
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	-	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-

En el Cuadro 11 se observan los resultados del cuadrante 4 para la población de Tepuxtepec. En organismos indeterminados no se observaron indicios de variabilidad morfométrica. La base de la aleta anal presenta tendencia de aumento en proporción en machos, mientras que en hembras esta variable no presentó indicios de cambio. En machos la altura al inicio del pedúnculo caudal tiende a aumentar mientras que en hembras se observó una tendencia a disminuir. En hembras la base de la segunda aleta dorsal tiende a aumentar, a diferencia de los machos donde esta variable no indica cambios en la proporción. La distancia entre el inicio de la aleta anal y el fin de la segunda aleta dorsal aumenta en machos, pero en hembras tiende a disminuir proporcionalmente.

Cuadro 11. **Resultados del cuadrante 4 para la población Tepuxtepec.** En general para toda la población se tienen 3 variables (L7_L9, L7_L10, L8_L9) que presentan una tendencia lineal y 2 (L8_L10, L9_L10) con tendencia potencial.

	Indeterminados	Hembras	Machos	Tpx	
L7_L9	C. Correlación	0.850723	0.945001	0.96507	0.965741
	R ² ajustada	71.4521%	89.1989%	93.0553%	93.2352%
	Lineal	L7_L9= -0.263 + (0.151*Le)	L7_L9 = -0.109 + (0.129*Le)	L7_L9= -0.102 + (0.126*Le)	L7_L9 = -0.136 + (0.131*Le)
	Alternativo	-	L7_L9 = 0.090*Le ^{1.109}	-	-
	Ext. Lineal	1	-	1	2
	Ext. Alt.	-	2	-	-
L7_L10	C. Correlación	0.952585	0.980831	0.980481	0.985881
	R ² ajustada	90.4332%	96.1665%	96.0888%	97.1836%
	Lineal	L7_L10= -0.142+(0.234*Le)	L7_L10= 0.002 + (0.221*Le)	L7_L10= -0.170+(0.232*Le)	L7_L10 = -0.106 + (0.228*Le)
	Alternativo	-	-	L7_L10 = 0.162*Le ^{1.117}	-
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L8_L9	C. Correlación	0.951935	0.988195	0.992339	0.992424
	R ² ajustada	90.2944%	97.6295%	98.4553%	98.4835%
	Lineal	L8_L9= -0.254 + (0.288*Le)	L8_L9 = 0.013 + (0.245*Le)	L8_L9= -0.065 + (0.253*Le)	L8_L9 = -0.041 + (0.250*Le)
	Alternativo	-	L8_L9 = 0.257*Le ^{0.980}	L8_L9 = 0.224*Le ^{1.041}	-
	Ext. Lineal	-	-	1	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L8_L10	C. Correlación	0.874562	0.95481	0.958862	0.967717
	R ² ajustada	75.7021%	91.0812%	91.8469%	93.6192%
	Lineal	L8_L10= -0.200+(0.269*Le)	L8_L10= 0.265 + (0.213*Le)	L8_L10= -0.029+(0.233*Le)	L8_L10= 0.049 + (0.228*Le)
	Alternativo	-	-	L8_L10 = 0.199*Le ^{1.060}	L8_L10 = 0.221*Le ^{1.021}
	Ext. Lineal	-	-	-	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L9_L10	C. Correlación	0.922766	0.967711	0.981365	0.980265
	R ² ajustada	84.6547%	93.5853%	96.2637%	96.0744%
	Lineal	L9_L10= 0.027 + (0.129*Le)	L9_L10 = 0.038 + (0.127*Le)	L9_L10= -0.061+(0.136*Le)	L9_L10 = 0.008 + (0.129*Le)
	Alternativo	-	L9_L10 = 0.135*Le ^{0.984}	L9_L10 = 0.111*Le ^{1.063}	L9_L10 = 0.132*Le ^{0.993}
	Ext. Lineal	-	-	2	-
	Ext. Alt.	-	-	-	1

Cuadrante 5 (Zona del pedúnculo caudal)

Los resultados del cuadrante 5 para la población de Villa Victoria se pueden observar en el Cuadro 12. No existe evidencia de cambio en la forma del pedúnculo caudal para la población de Villa Victoria, al obtenerse para todas las variables tendencia lineal en organismos indeterminados, hembras y machos.

Cuadro 12. **Resultados del cuadrante 5 para la población Villa Victoria.** En general para toda la población se obtuvieron las 5 variables que componen el cuadrante 5 (L10_L11, L10_L12, L11_L12, L9_L11 y L9_L12) con tendencia lineal.

	Indeterminados	Hembras	Machos	VV	
L9_L11	C. Correlación	0.952791	0.939676	0.930087	0.95595
	R ² ajustada	90.397%	87.991%	86.0845%	91.2961%
	Lineal	$L9_L11 = 0.237 + (0.216 * Le)$	$L9_L11 = 0.496 + (0.187 * Le)$	$L9_L11 = 0.347 + (0.202 * Le)$	$L9_L11 = 0.300 + (0.210 * Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L9_L12	C. Correlación	0.952416	0.95476	0.958592	0.968471
	R ² ajustada	90.3057%	90.9239%	91.6283%	93.729%
	Lineal	$L9_L12 = 0.262 + (0.228 * Le)$	$L9_L12 = 0.477 + (0.206 * Le)$	$L9_L12 = 0.366 + (0.217 * Le)$	$L9_L12 = 0.306 + (0.227 * Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L10_L11	C. Correlación	0.838003	0.916584	0.906639	0.910932
	R ² ajustada	69.1222%	83.5918%	81.66%	82.8128%
	Lineal	$L10_L11 = 0.314 + (0.173 * Le)$	$L10_L11 = 0.214 + (0.177 * Le)$	$L10_L11 = 0.080 + (0.203 * Le)$	$L10_L11 = 0.293 + (0.170 * Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L10_L12	C. Correlación	0.754189	0.884465	0.85726	0.869227
	R ² ajustada	55.283%	77.655%	72.6862%	75.3159%
	Lineal	$L10_L12 = 0.410 + (0.139 * Le)$	$L10_L12 = 0.254 + (0.153 * Le)$	$L10_L12 = 0.196 + (0.168 * Le)$	$L10_L12 = 0.363 + (0.142 * Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L11_L12	C. Correlación	0.908859	0.954113	0.931775	0.955161
	R ² ajustada	81.9581%	90.7971%	86.421%	91.1472%
	Lineal	$L11_L12 = -0.030 + (0.079 * Le)$	$L11_L12 = -0.135 + (0.099 * Le)$	$L11_L12 = -0.115 + (0.100 * Le)$	$L11_L12 = -0.113 + (0.097 * Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	1	-	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-

En organismos indeterminados de la población de Tepuxtepec la altura del pedúnculo al inicio de la aleta caudal mantiene la misma proporción (tendencia lineal), en hembras disminuye y en machos aumenta (Cuadro 13).

Cuadro 13. **Resultados del cuadrante 5 para la población Tepuxtepec.** En general para toda la población se tienen 4 variables (L9_L11, L10_L11, L9_L12, L10_L12) que presentaron tendencia lineal y una (L11_L12) con tendencia potencial.

	Indeterminados	Hembras	Machos	Tpx	
L9_L11	C. Correlación	0.899462	0.976833	0.984505	0.983992
	R ² ajustada	80.2667%	95.3762%	96.8888%	96.8098%
	Lineal	$L9_L11 = 0.320 + (0.216*Le)$	$L9_L11 = 0.189 + (0.227*Le)$	$L9_L11 = 0.249 + (0.227*Le)$	$L9_L11 = 0.267 + (0.222*Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	2	1	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L9_L12	C. Correlación	0.921078	0.983102	0.99067	0.988888
	R ² ajustada	84.3331%	96.6167%	98.1209%	97.78%
	Lineal	$L9_L12 = 0.255 + (0.247*Le)$	$L9_L12 = 0.151 + (0.254*Le)$	$L9_L12 = 0.174 + (0.257*Le)$	$L9_L12 = 0.213 + (0.251*Le)$
	Alternativo	-	$L9_L12 = 0.305 * Le^{0.945}$	$L9_L12 = 0.328 * Le^{0.924}$	-
	Ext. Lineal	-	2	1	4
	Ext. Alt.	-	2	1	-
L10_L11	C. Correlación	0.873938	0.967346	0.963865	0.968992
	R ² ajustada	75.5893%	93.514%	92.8201%	93.8672%
	Lineal	$L10_L11 = 0.130 + (0.217*Le)$	$L10_L11 = -0.086 + (0.224*Le)$	$L10_L11 = 0.228 + (0.208*Le)$	$L10_L11 = 0.144 + (0.210*Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L10_L12	C. Correlación	0.808552	0.949501	0.945299	0.952575
	R ² ajustada	64.2215%	90.0605%	89.2338%	90.6983%
	Lineal	$L10_L12 = 0.175 + (0.189*Le)$	$L10_L12 = 0.029 + (0.187*Le)$	$L10_L12 = 0.331 + (0.173*Le)$	$L10_L12 = 0.239 + (0.175*Le)$
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	-	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L11_L12	C. Correlación	0.958632	0.984144	0.987381	0.988923
	R ² ajustada	91.6275%	96.8238%	97.4626%	97.787%
	Lineal	$L11_L12 = -0.135 + (0.106*Le)$	$L11_L12 = -0.226 + (0.116*Le)$	$L11_L12 = -0.235 + (0.118*Le)$	$L11_L12 = -0.202 + (0.115*Le)$
	Alternativo	-	$L11_L12 = 0.054 * Le^{1.228}$	$L11_L12 = 0.046 * Le^{1.301}$	$L11_L12 = 0.051 * Le^{1.252}$
	Ext. Lineal	-	-	1	2
	Ext. Alt.	-	-	-	-

Cuadrante 6 (Aleta caudal)

Los resultados obtenidos para hembras y machos de Villa Victoria (Cuadro 14) en las variables L12_L13 y L13_L14 indican que la bifurcación superior tiende a aumentar en proporción. No existen evidencias de variabilidad morfométrica en organismos indeterminados para este cuadrante (relaciones lineales en las 5 variables).

Cuadro 14. **Resultados del cuadrante 6 para la población Villa Victoria.** En general para toda la población se obtuvieron 4 variables (L11_L13, L11_L14, L12_L13, L12_L14) que presentan una tendencia lineal y solo una variables con tendencia potencial (L13_L14).

	Indeterminados	Hembras	Machos	VV	
L11_L13	C. Correlación	0.790433	0.948678	0.938688	0.940232
	R ² ajustada	61.0888%	89.7358%	87.7534%	88.29%
	Lineal	L11_L13= 0.107+(0.135*Le)	L11_L13= -0.208 + (0.198*Le)	L11_L13=-0.156+(0.202*Le)	L11_L13= -0.165 + (0.195*Le)
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	1	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L11_L14	C. Correlación	0.828118	0.955867	0.947234	0.949552
	R ² ajustada	67.4141%	91.141%	89.414%	90.0684%
	Lineal	L11_L14= 0.072+(0.159*Le)	L11_L14= -0.255 + (0.228*Le)	L11_L14=-0.234+(0.237*Le)	L11_L14= -0.235 + (0.228*Le)
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L12_L13	C. Correlación	0.855431	0.950249	0.95856	0.952622
	R ² ajustada	72.1827%	90.042%	91.6378%	90.6581%
	Lineal	L12_L13=-0.012+(0.176*Le)	L12_L13= -0.334 + (0.237*Le)	L12_L13=-0.385+(0.256*Le)	L12_L13= -0.286+(0.234*Le)
	Alternativo	-	L12_L13 = 0.109 * Le ^{1.278}	L12_L13 = 0.108 * Le ^{1.316}	-
	Ext. Lineal	-	1	1	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L12_L14	C. Correlación	0.784265	0.964769	0.966948	0.951395
	R ² ajustada	60.0816%	92.8957%	93.3019%	90.4222%
	Lineal	L12_L14= 0.036+(0.151*Le)	L12_L14= -0.211 + (0.198*Le)	L12_L14=-0.238+(0.214*Le)	L12_L14= -0.181 + (0.198*Le)
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L13_L14	C. Correlación	0.73596	0.783503	0.814404	0.842872
	R ² ajustada	52.466%	60.3716%	65.305%	70.7594%
	Lineal	L13_L14=-0.146+(0.104*Le)	L13_L14= -0.361 + (0.150*Le)	L13_L14=-0.489+(0.171*Le)	L13_L14= -0.379 + (0.152*Le)
	Alternativo	-	L13_L14 = 0.038 * Le ^{1.460}	L13_L14 = 0.017 * Le ^{1.872}	L13_L14 = 0.026 * Le ^{1.648}
	Ext. Lineal	-	1	-	3
	Ext. Alt.	-	1	-	1

En el Cuadro 15 se observa que en la población de Tepuxtepec la bifurcación superior tiende a aumentar en organismos indeterminados, hembras y machos. La bifurcación inferior tiende a disminuir en hembras mientras que en indeterminados y machos aumenta.

Cuadro 15. **Resultados del cuadrante 6 para la población Tepuxtepec.** En general para toda la población se tienen 4 variables (L11_L13, L12_L13, L12_L14, L13_L14) con tendencia potencial y una con tendencia lineal (L11_L14).

	Indeterminados	Hembras	Machos	Tpx	
L11_L13	C. Correlación	0.876004	0.971736	0.978368	0.979806
	R ² ajustada	75.963%	94.373%	95.67%	95.9839%
	Lineal	L11_L13= 0.038+(0.165*Le)	L11_L13 = 0.167 + (0.156*Le)	L11_L13=-0.010+(0.177*Le)	L11_L13 = 0.065 + (0.166*Le)
	Alternativo	-	-	-	-
	Ext. Lineal	-	-	-	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L11_L14	C. Correlación	0.923365	0.986091	0.987468	0.988832
	R ² ajustada	84.7691%	97.2104%	97.4792%	97.7688%
	Lineal	L11_L14=-0.173+(0.220*Le)	L11_L14= -0.101 + (0.216*Le)	L11_L14=-0.275+(0.238*Le)	L11_L14= -0.176 + (0.225*Le)
	Alternativo	-	L11_L14 = 0.173 * Le ^{1.0734}	-	-
	Ext. Lineal	-	1	-	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L12_L13	C. Correlación	0.940718	0.979311	0.984314	0.985441
	R ² ajustada	88.0983%	95.8657%	96.8508%	97.0963%
	Lineal	L12_L13=-0.193+(0.229*Le)	L12_L13= -0.142 + (0.220*Le)	L12_L13=-0.286+(0.240*Le)	L12_L13= -0.179 + (0.226*Le)
	Alternativo	L12_L13 = 0.136 * Le ^{1.203}	L12_L13 = 0.172 * Le ^{1.074}	L12_L13 = 0.144 * Le ^{1.162}	L12_L13 = 0.158 * Le ^{1.113}
	Ext. Lineal	-	-	-	-
	Ext. Alt.	-	-	-	-
L12_L14	C. Correlación	0.922636	0.97391	0.970643	0.97905
	R ² ajustada	84.6127%	94.7996%	94.1468%	95.835%
	Lineal	L12_L14=-0.137+(0.198*Le)	L12_L14 = 0.077 + (0.165*Le)	L12_L14=-0.050+(0.181*Le)	L12_L14 = 0.012 + (0.172*Le)
	Alternativo	L12_L14 = 0.130 * Le ^{1.165}	L12_L14 = 0.184 * Le ^{0.973}	L12_L14 = 0.155 * Le ^{1.053}	L12_L14 = 0.166 * Le ^{1.018}
	Ext. Lineal	-	1	-	2
	Ext. Alt.	-	1	-	1
L13_L14	C. Correlación	0.853154	0.891085	0.92761	0.928902
	R ² ajustada	71.8801%	79.2052%	85.8819%	86.2244%
	Lineal	L13_L14=-0.500+(0.176*Le)	L13_L14= -0.599 + (0.193*Le)	L13_L14=-0.781+(0.218*Le)	L13_L14= -0.633 + (0.199*Le)
	Alternativo	-	L13_L14 = 0.037 * Le ^{1.524}	L13_L14 = 0.026 * Le ^{1.686}	L13_L14 = 0.025 * Le ^{1.690}
	Ext. Lineal	-	1	1	1
	Ext. Alt.	-	-	-	-

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con el Cuadro 1, en Villa Victoria fue difícil encontrar organismos de clases de talla mayores a 8cm, mientras que para la población de Tepuxtepec se consideraron organismos de hasta 18cm. Los parámetros obtenidos para la ecuación de von Bertalanffi en estas dos poblaciones sugieren valores de $L_{\infty} < 18\text{cm}$ para Villa Victoria y $L_{\infty} > 21\text{cm}$ para Tepuxtepec (Gutiérrez Oliva *et al.*, 2006). En un estudio previo, Villagómez González e Islas Solís (1999), mencionan que la talla de la Población de Villa Victoria es menor a la reportada para otras poblaciones. Esto explica el que no se obtuvieran organismos de tallas mayores a 9 cm en la población de Villa Victoria. En un estudio realizado para monitorear el crecimiento y sobrevivencia de larvas de *C. estor estor*, Martínez Palacios *et al.* (2002) concluye que la temperatura del medio es un factor determinante en el crecimiento de larvas, obteniendo la temperatura óptima para esta especie de 25°C y enfatizando que a temperaturas altas el procesamiento del alimento es mayor. En este trabajo de tesis no se puede confirmar que lo encontrado por Martínez Palacios ocurra en juveniles y adultos de la especie *C. humboldtianum*, ya que no se cuenta con datos de temperatura.}

De acuerdo al teorema del límite central, a mayor número de organismos mayor es la tendencia de un parámetro a alcanzar su valor verdadero y mayor la tendencia de la varianza a estabilizarse. Por lo anterior, ya que el número de organismos puede ser un factor importante para la estimación de R^2 , es muy factible que la falta de redundancia en algunas variables se deba al bajo número de organismos y no a diferencias morfométricas. Independientemente de lo anterior, el número de organismos por clase de talla no afecta la metodología para el análisis morfométrico, ya que todas las clases de talla están igualmente representadas. A pesar de que en ambas poblaciones hay un número considerable de variables potencialmente redundantes (50.5% para Villa Victoria y 73.6% para Tepuxtepec), de acuerdo al criterio de la $R^2 \geq 97.5\%$, algunas variables no se distribuyeron de acuerdo al modelo lineal, por lo cual un valor alto de R^2 no asegura una relación lineal. Sin embargo, se fue estricto en el criterio $R^2 \geq 97.5\%$, asegurando así, que las variables redundantes además de presentar tendencia lineal presentaron variabilidad baja aún con un tamaño de muestra menor.

Forma básica de *Chirostoma humboldtianum*

La diferencia en el número de variables redundantes entre ambas poblaciones sugiere que, en la población de Villa Victoria al obtenerse un menor número de estas, se presenta mayor variabilidad que en la población de Tepuxtepec. Es factible que el método para la obtención de variables redundantes aquí presentado sobre estime algunas variables como redundantes en la población de Tepuxtepec (variables entre pares de landmarks vecinos con valores de $R^2 \geq 97.5\%$ y $p > 0.05$). De acuerdo con Strauss y Bookstein (1982) la variabilidad es más notoria si las dimensiones analizadas son pequeñas (pares de landmark cercanos), contradiciendo así los resultados obtenidos para la población de Tepuxtepec. Para la obtención de variabilidad morfométrica se empleo el análisis residual, pero no para la obtención de variables redundantes. Se sugiere para la obtención de variables redundantes que además del criterio de R^2 empleado y la comparación de pendientes, se realice un análisis

residual para las variables que resulten redundantes bajo el supuesto de que: se presenten casos de baja variabilidad pero la presencia de patrones de crecimiento diferentes al lineal. En lo referente a la forma básica de Tepuxtepec y los resultados obtenidos en el análisis residual para demostrar indicios de cambio en la forma, no se puede concluir que las variables redundantes entre pares de landmarks vecinos mantengan una tendencia lineal a pesar de los valores altos de R^2 y $p > 0.05$ en la comparación de pendientes. En general, la identificación de variables redundantes exclusivas de cada población son las obtenidas entre pares de landmarks alejados (landmarks de la zona cefálica con un landmark de la zona pectoral, algunos landmarks de la zona abdominal y landmarks de las zonas del pedúnculo y aleta caudal).

En este trabajo no se consideró el grado de desarrollo gonádico como variable categórica, pero fue posible identificar un mayor número de variables redundantes en la población de Tepuxtepec que se relacionan con los landmarks 6 y 8 (inicio de la aleta ventral e inicio de la aleta anal respectivamente). Estos resultados sugieren que el desarrollo gonádico influye en mayor medida a la morfometría de la población de Villa Victoria que a la población de Tepuxtepec.

Los resultados para organismos indeterminados indican a 2 variables morfométricas redundantes diferentes a las obtenidas para hembras y solo una que diferencia a indeterminados de machos. Las diferencias entre organismos indeterminados y hembras están compuestas por las variables L1_L11 y L1_L12 indicando que en hembras el inicio de la aleta caudal presenta variabilidad. La diferencia con machos (L1_L13) indica que la bifurcación superior de la aleta caudal en machos presenta variabilidad. La dificultad para ubicar objetivamente el landmark 11 y 12 en las imágenes con que se trabajo podría ser la causante de esta variabilidad, pero se puede descartar esta posibilidad ya que en organismos indeterminados que son de menor talla o en machos con tallas comparables no ocurrió esto. Algo similar ocurre con el landmark 13 que dio indicios de variabilidad en machos, debido a la naturaleza estructural de la aleta caudal (aleta homocerca) se podría incurrir en errores de medición, pero también se descarta esta posibilidad ya que en organismos indeterminados y en hembras esto no ocurrió.

Las variables que diferencian a los machos de las hembras son las distancias entre el inicio del hocico y los dos landmarks que indican el inicio de la aleta caudal como variables redundantes únicamente en machos. Las variables características de hembras indican que en machos existe mayor variabilidad en los landmarks 13 (bifurcación superior de la aleta caudal) y 8 (inicio base de la aleta anal) ya que en hembras si se obtuvieron variables redundantes con estos landmarks.

Para la forma básica de la especie *Chirostoma humboldtianum* Barbour (1973b) y Barriga Sosa (2001), reportan la distancia inicio del hocico a aletas pélvicas, longitud post orbital, longitud del hocico y longitud base de la aleta anal como caracteres descriptores de esta especie adicionalmente Barbour considera a la longitud cefálica y la longitud del ojo. En este trabajo únicamente se consideraron 3 variables que coinciden con las de los autores antes mencionados debido a que el criterio para la elección de landmarks fue distinto (Método de Truss). La distancia hocico a aletas pélvicas (L1_L6) resultó discriminante entre ambas poblaciones al obtenerse en la comparación de pendientes (indeterminados, hembras y

machos) valores de p mayores de 0.05, pero en la comparación de pendientes entre poblaciones se encontraron diferencias significativas (valores de $p < 0.05$), por lo que esta variable no puede ser utilizada como carácter discriminante de la especie, pero sí es un carácter discriminante de cada población. Las variables longitud del hocico (L1_L3) y base de la aleta anal (L8_L10) tampoco pueden ser consideradas como características de la forma básica de la especie ya que en el análisis residual estas variables presentaron tendencia diferente a la lineal en por lo menos un subgrupo de las dos poblaciones aquí estudiadas.

La forma básica de *Chiostoma humboldtianum* en por lo menos estas dos poblaciones es la integrada por las 12 variables redundantes que presentaron pendientes similares dentro de la misma población y entre organismos del mismo sexo de ambas poblaciones.

La obtención de caracteres morfométricos homólogos a partir del método de Truss dio resultados favorables no solo para la obtención de variables redundantes de la especie *Chiostoma humboldtianum*, sino también de por lo menos dos de sus poblaciones e inclusive caracteres que permiten identificar diferencias morfométricas debidas al sexo de los organismos. Los caracteres morfométricos empleados tradicionalmente para la identificación de las especies del género *Chiostoma* han resultado ambiguos, lo cual ha repercutido negativamente en el manejo de los recursos ícticos. En función de los resultados obtenidos se puede concluir que, la búsqueda de nuevos caracteres discriminantes para esta especie es sin duda una herramienta útil que debe aplicarse a otras poblaciones y especies del género *Chiostoma*.

Variabilidad en la forma

El número de datos extraordinarios, en ocasiones nos ayudo a decidir qué modelo se ajustaba al mayor número de datos. En algunos casos no se observó ningún dato extraordinario para el modelo lineal, sin embargo, los residuos mostraban heterocedasticidad o no linealidad. En el caso contrario, había linealidad y homocedasticidad en los residuos pero mayor número de datos extraordinarios. Por esta razón es posible observar que hay mayor número de datos extraordinarios en algunas variables para el modelo alternativo (modelo potencial) que en el modelo lineal. Si bien, un número reducido de datos extraordinarios nos ayuda en ocasiones para la elección del modelo que mejor se ajusta no siempre ocurre así.

Para las variables que presentaron tendencia potencial se obtuvieron valores del exponente cercanos a 1. El valor de los exponentes cercanos a 1 para el modelo potencial, puede asemejar una relación lineal (Gelman y Hill, 2007). A partir del análisis residual fue posible observar tendencias al modelo potencial, dando indicios de cambio en proporción de algunas variables, aún cuando el valor de sus exponentes es cercano (en su mayoría) a 1. Las variables con tendencia lineal aun cuando se obtuvieron índices de correlación y R^2 bajos, indican variabilidad ajena a la forma causada por: la dificultad para ubicar objetivamente a los landmarks en las fotografías o estructuras corporales que por su naturaleza presentan variabilidad aleatoria.

En un intento por facilitar la discusión y comprensión de los resultados referentes a variabilidad morfométrica, en la Figura 12 se muestran los resultados indicativos de

variabilidad en la forma para la población de Villa Victoria. La variabilidad observada en la población de Villa Victoria indica que el tamaño del abdomen en organismos indeterminados tiende a disminuir, al momento de la diferenciación sexual este presenta una tendencia potencial positiva, lo que indica que hembras y machos poseen abdómenes más prominentes. El tamaño del maxilar inferior presentó tendencia potencial en los tres subgrupos de la población de Villa Victoria, indicando que en organismos indeterminados y hembras al presentar exponentes mayores a 1 esta variable tiende a ser mayor en proporción que en machos. Debido a que la distancia entre el margen superior del opérculo y el hocico tiende a aumentar en organismos diferenciados sexualmente es factible que en hembras y machos se observen hocicos más pronunciados que los observados en organismos indeterminados. En hembras y machos la distancia entre el margen inferior del opérculo y el inicio del hocico, así como la distancia entre el inicio del maxilar y el margen inferior del opérculo presentaron tendencia potencial negativa, sugiriendo que la zona cefálica tiende a deformarse en la región inferior del opérculo. Estos resultados también sugieren que la ubicación del inicio del hocico presenta variabilidad. Se tienen evidencias de que en organismos determinados sexualmente existe un aumento en proporción de la bifurcación caudal superior. La base de la aleta anal presento tendencia potencial positiva únicamente en machos, indicando que en machos la aleta anal es mayor que la de hembras e indeterminados.

En la Figura 13 se observan los resultados de manera gráfica para las variables que presentaron indicios de variabilidad morfométrica en la población de Tepuxtepec. De acuerdo con el número de variables indicativas de cambio morfométrico, se puede asumir que los organismos indeterminados presentaron menor variabilidad que la observada en hembras y machos. Las variables indicativas de la altura para cada zona corporal indican la existencia de formas corporales más elongadas en organismos indeterminados. En la zona cefálica se puede observar que la longitud del maxilar inferior tiende a aumentar en proporción en los tres subgrupos de la población de Tepuxtepec. La distancia entre el margen superior del opérculo y el inicio del hocico presenta una tendencia potencial negativa en organismos indeterminados y machos, mientras que en hembras esta presentó tendencia potencial positiva, por lo que se sugiere que las hembras presentan hocicos más prominentes que los del resto de la población. Las distancias de los márgenes superior e inferior del opérculo con respecto al fin del maxilar inferior e inicio del hocico indican variabilidad en la posición del opérculo con respecto el hocico de los organismos. La base de la segunda aleta dorsal indica un aumento proporcional en hembras, mientras que en organismos indeterminados y machos, esta variable no dio indicios de cambio en la forma ya que presento tendencia lineal. La base de la aleta anal en machos presentó una tendencia potencial positiva, lo cual indica que únicamente en machos la aleta anal tiende a aumentar en proporción.

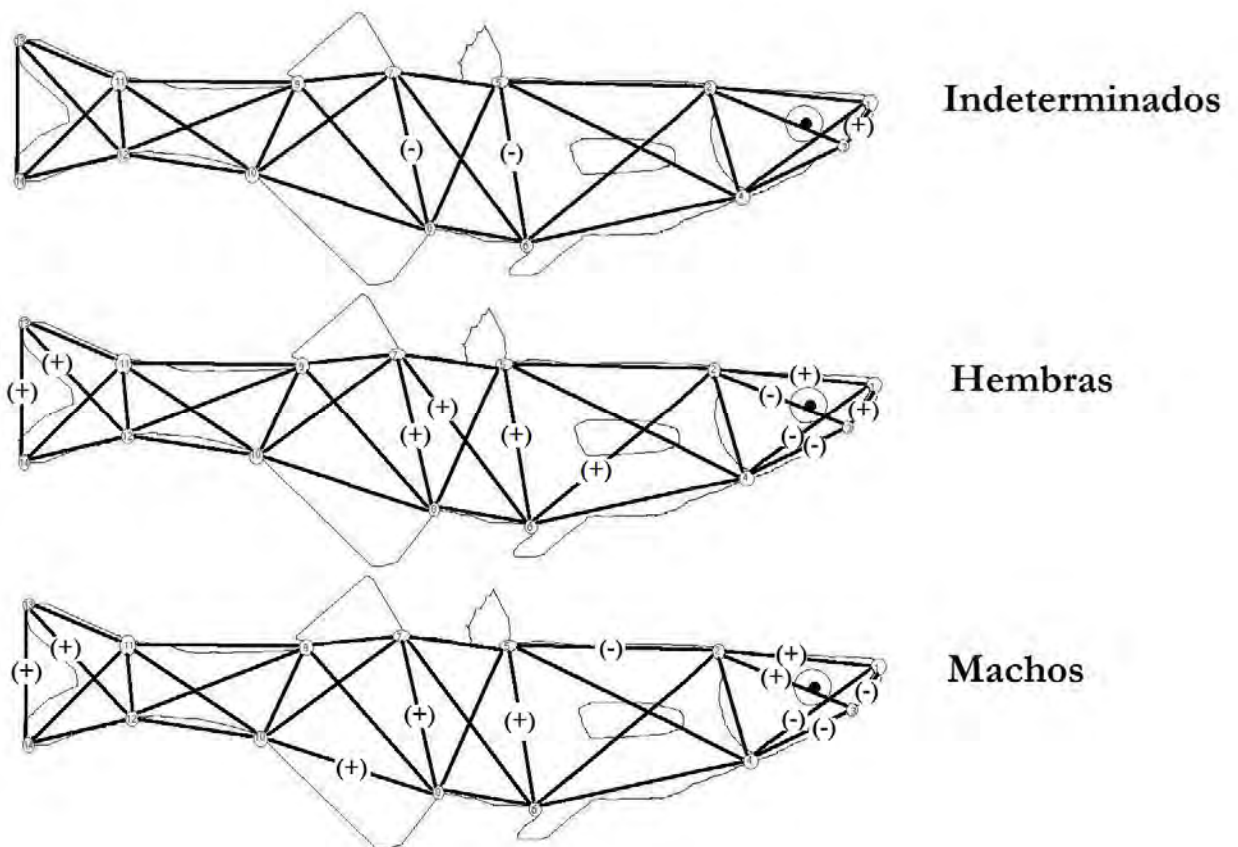


Figura 12.- **Variabilidad en la población de Villa Victoria.** Representación gráfica de los resultados obtenidos en Cuadro 4, Cuadro 6, Cuadro 8, Cuadro 10, Cuadro 12 y Cuadro 14, para organismos indeterminados, hembras y machos de la población de Villa Victoria. Las variables con exponente para el modelo potencial > 1 se representan con el símbolo (+), lo que significa que tienden a aumentar en proporción. Las variables con exponente < 1 se representan con un símbolo (-), lo cual indica que tienden a disminuir en proporción. Las variables que no tienen ningún símbolo, son variables que presentaron una tendencia lineal.

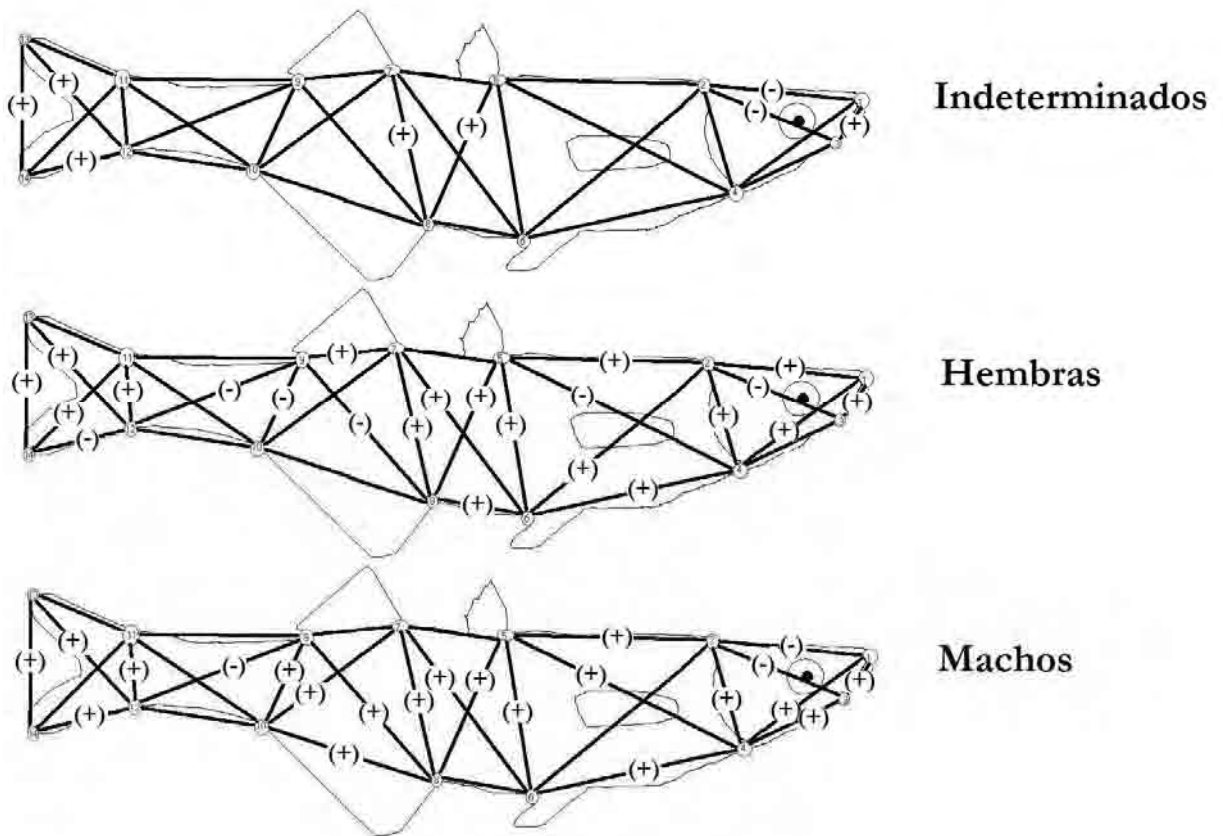


Figura 13.- **Variabilidad en la población de Tepuxtepec.** Representación gráfica de los resultados obtenidos en Cuadro 5, Cuadro 7, Cuadro 9, Cuadro 11, Cuadro 13 y Cuadro 15, para organismos indeterminados, hembras y de la población de Tepuxtepec. Las variables con exponente para el modelo potencial > 1 se representan con el símbolo (+), lo que significa que tienden a aumentar en proporción. Las variables con exponente < 1 se representan con un símbolo (-), lo cual indica que tienden a disminuir en proporción. Las variables que no tienen ningún símbolo, son variables que presentaron una tendencia lineal.

CONCLUSIONES

El criterio de la R^2 podría estar influenciado por el tamaño de muestra, para la obtención de redundancias además de R^2 y la comparación de pendientes se debe considerar un análisis residual para las variables que resulten redundantes.

La forma básica de cada población está integrada por la combinación de landmarks que componen la zona cefálica y los landmarks del pedúnculo y aleta caudal.

La distancia inicio del hocico a aletas ventrales es indicativa de la forma básica de cada una de las poblaciones, pero no de la especie *Chirostoma humboldtianum* como reportan otros autores.

La forma básica en organismos indeterminados muestra a las variables inicio del hocico a inicio del margen superior e inferior de la aleta caudal como indicativas de diferencias en la forma básica de hembras. Las diferencias entre la forma básica de indeterminados y machos sugiere que en machos la bifurcación superior presenta variabilidad.

Las diferencias entre machos y hembras son las distancias entre el inicio del hocico y los dos landmarks que indican el inicio de la aleta caudal como características de machos. Las variables características de hembras indican que en machos existe mayor variabilidad en los landmarks 13 (bifurcación superior de la aleta caudal) y 8 (inicio base de la aleta anal) ya que en hembras si se obtuvieron variables redundantes con estos landmarks.

Hay 12 variables morfométricas redundantes para la especie *Chirostoma humboldtianum* a partir de la combinación de los landmarks que componen la zona cefálica con los landmarks de las zonas del pedúnculo y aleta caudal.

Los caracteres propuestos en este trabajo para estas dos poblaciones, permiten la obtención de la forma básica de la especie *Chirostoma humboldtianum*, la forma básica de por lo menos estas dos poblaciones y la forma básica de cada sexo.

Es recomendable la exploración de nuevos caracteres morfométricos basados en el método de Truss, tanto para otras poblaciones de *Chirostoma humboldtianum*, como para otras especies de peces mexicanos alternativamente a los caracteres tradicionales, permitiendo la obtención de formas características más objetivas para los atherinópsidos y peces mexicanos.

Hay 5 zonas indicativas de variabilidad morfométrica en las dos poblaciones: zona cefálica, zona pectoral, zona abdominal, aleta anal y zona de la aleta caudal.

Las diferencias morfométricas entre subgrupos de cada población evidencian mayor variabilidad morfométrica en la población de Tepuxtepec.

MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA

INTRODUCCIÓN

La morfometría no solo se limita al estudio de la forma, sino a su asociación con otras variables que indiquen las causas y efectos de dicha forma (Bookstein, 1991). Tradicionalmente los estudios de morfometría se han enfocado a la obtención de variables cuantitativas y su análisis a partir de métodos de estadística univariada y multivariada. Las variables cuantificadas son en su mayoría estimaciones de distancias lineales y con menor frecuencia ángulos y proporciones (Adams *et al.*, 2004). La medición de distancias lineales está correlacionada con la talla de los organismos (Bookstein *et al.*, 1985), por lo cual es muy común la obtención de resultados que no necesariamente se deben a variabilidad en la forma.

En la década de los ochenta surgieron una variedad de técnicas, basadas en el análisis geométrico de las estructuras corporales. Esta perspectiva de estudio se conoce como “Morfometría Geométrica” y es apropiada para el análisis estadístico de la variación y covariación de la forma (Bookstein *et al.*, 1985; Bookstein, 1991). El desarrollo de técnicas diseñadas para el análisis de la forma representa una ventaja con respecto a la aproximación tradicional ya que la morfometría geométrica contempla el análisis de coordenadas bi o tridimensionales de puntos homólogos (landmarks), con esto es posible la visualización de resultados de manera gráfica (Strauss y Bookstein, 1982; Bookstein, 1991; Rohlf, 2002; Richtsmeier *et al.*, 2002; Adams *et al.*, 2004; Zelditch *et al.*, 2004). Los métodos para la obtención de datos se han diversificado de acuerdo a las necesidades de datos en forma de coordenadas ya que las distancias lineales no aportan información suficiente para la aplicación de métodos basados en la morfometría geométrica (Rohlf y Bookstein, 1990). Actualmente se tiene mayor disponibilidad de herramientas de cómputo que permiten la diversificación de métodos para la obtención y el procesamiento de los datos. En la actualidad, el estudio de la forma a partir de esta perspectiva resulta prometedor, ya que la morfometría geométrica tiene un grado de avance y aceptación grande (Adams *et al.*, 2004).

Resulta práctico y común el análisis de la forma desde una perspectiva geométrica, pero hasta ahora no fue posible encontrar trabajos realizados para peces mexicanos y en particular para especies del género *Chirostoma*. En este capítulo se pretende mostrar una alternativa a los métodos tradicionales basada en métodos de morfometría geométrica que permitan la visualización de diferencias intraespecíficas de la especie *Chirostoma humboldtianum*, tomando como referencia las poblaciones de Villa Victoria y Tepuxtepec, con la finalidad de evidenciar posibles tendencias evolutivas.

Obtención de datos

En ictiología Hubbs y Lagler (1941), propusieron algunos caracteres morfométricos basados en la medición de distancias lineales. Estos caracteres han servido como guía para trabajos taxonómicos e ictiológicos en especies mexicanas, dando como resultado la elaboración de claves de identificación taxonómica (Álvarez del Villar, 1950; Álvarez del Villar, 1970; Barbour, 1973b; Miller, 2005). La medición de distancias lineales se puede concebir como la medición de distancias entre pares de landmarks (Rohlf, 1990a), por tal motivo el archivar la configuración de los landmarks puede servir, si se desea, para la obtención de distancias lineales pero muy difícilmente lo contrario (Fink, 1990).

La morfometría geométrica es un método matemático que permite darle un tratamiento estadístico a los caracteres geométricos de las formas biológicas (Bookstein *et al.*, 1985; Bookstein, 1991), y puede definirse como: el estudio de la covarianza en las formas biológicas (Bookstein, 1991). Para ello, se hace necesario que los datos se den en forma de coordenadas geométricas para su posterior análisis por métodos de estadística multivariada. La obtención de coordenadas a partir de landmarks es más objetiva y práctica que la obtención de coordenadas a partir de distancias lineales (Fink, 1990; Rohlf, 1990a).

Fink (1990) y Rohlf (1990a), enumeran algunos métodos y aparatos empleados en la obtención y registro de coordenadas a partir de la ubicación de landmarks (tabletas digitalizadoras, escáners, cámaras fotográficas y de video). El empleo de tabletas digitalizadoras podría resultar costoso y poco práctico, sin embargo, en los trabajos de Winans (1984) y Turan (1999), enfocados a mostrar diferencias morfométricas en peces se puede observar la factibilidad de su empleo. La obtención de coordenadas a partir de imágenes digitales resulta de bajo costo, ya que se puede emplear software convencional para procesamiento de imágenes (Paint, Photoshop, Photostyler). La ubicación de los landmarks sobre cada imagen permite el registro de coordenadas de forma manual, sin embargo, existe software diseñado específicamente para el registro de coordenadas en cualquier equipo de computo a partir de imágenes digitalizadas, p. e. tpsDig (Rohlf, 2004). Un ejemplo del uso de escáners lo podemos encontrar en el trabajo de Bermúdez Tobón (2005), para la caracterización morfológica de dos especies de crustáceos. La adquisición de coordenadas a partir del fotografiado o toma de video, al igual que en el caso del escaneo de organismos, permite el almacenamiento de imágenes. Esto representa una ventaja para los estudios de morfometría geométrica, ya que no siempre se conoce con certeza que landmarks son lo suficientemente indicativos para los estudios morfométricos (Fink, 1990), por lo que es posible rectificar la elección de landmarks y la obtención de sus coordenadas a partir de las imágenes, sin necesidad de recurrir físicamente a los organismos. El surgimiento de los formatos de imágenes digitales ha propiciado una mayor incidencia en el uso de estas tecnologías dentro del campo de la biología (Macleod, 1990). El empleo de video y fotografía digital resulta relativamente práctico, ya que se obtienen imágenes digitalizadas que se pueden ingresar directamente a los equipos de cómputo por medio de las interfaces que proveen los fabricantes de las cámaras. Macleod (1990), lista algunas consideraciones a tomar en cuenta al trabajar con imágenes digitales, principalmente la corrección matemática de posibles aberraciones en las imágenes que podrían ser motivo de resultados sesgados. Considerando que los videos son una secuencia de imágenes, la extracción de imágenes individuales es necesaria para la obtención de coordenadas (p. e. Stevens, 1997; Martínez Palacios *et al.*, 2002; Merz y Merz, 2004). La obtención de coordenadas se puede realizar empleando software convencional para el procesamiento de imágenes como ya se explicó anteriormente (p. e. Harvati, 2002; Klingenberg *et al.*, 2003; Frieb, 2003; Cadrin y Vaughn, 2005; Pardo *et al.*, 2005; Bronte y Moore, 2007).

Métodos de Superimposición

Los estudios de la forma a partir de métodos geométricos se fundamentan en el análisis multivariado de las coordenadas de cada landmark (Bookstein *et al.*, 1985; Bookstein, 1989b; Rohlf, 1990a; Rohlf y Bookstein, 1990; Bookstein, 1991; Dryden y Mardia, 1998; Adams *et al.*, 2004; Zelditch *et al.*, 2004). Se puede definir como forma a “todas las propiedades de una configuración de puntos (landmarks) que no cambian por efectos de la escala, posición y orientación” (Bookstein, 1989b). En la digitalización de los landmarks no se asegura que todos los organismos sean posicionados en el mismo punto y con la misma orientación,

además de que normalmente se emplean organismos de diferentes tallas. El análisis directo de las coordenadas podría ser inapropiado, ya que los efectos de la escala, posición y orientación de los organismos siguen presentes (Adams *et al.*, 2004).

Los métodos de superimposición tienen la finalidad de remover los factores ajenos a la forma a partir de la corrección matemática de coordenadas (Figura 1). Existen varios métodos propuestos para ello, y sus diferencias radican en los criterios para la optimización de las coordenadas.

La obtención de Coordenadas de Bookstein (BC, por sus siglas en inglés) se basa en la rotación, traslación y remoción del tamaño a partir de la elección de dos landmarks (Bookstein, 1991; Zelditch *et al.*, 2004). Es un método relativamente sencillo y consiste en la elección de dos landmarks alejados (talla de los organismos) que fungen como una línea base, a los cuales se les asignan coordenadas de manera arbitraria landmark A (0, 0) y landmark B (1, 0). Las coordenadas (X y Y) del resto de los landmarks se calculan a partir de triangulaciones y son conocidas como coordenadas relativas de A_B. Las ecuaciones para la obtención de las coordenadas relativas se pueden consultar en Bookstein (1991). Para este trabajo y con el fin de simplificar lo anterior, en la Figura 2 se muestra de manera gráfica un ejemplo.

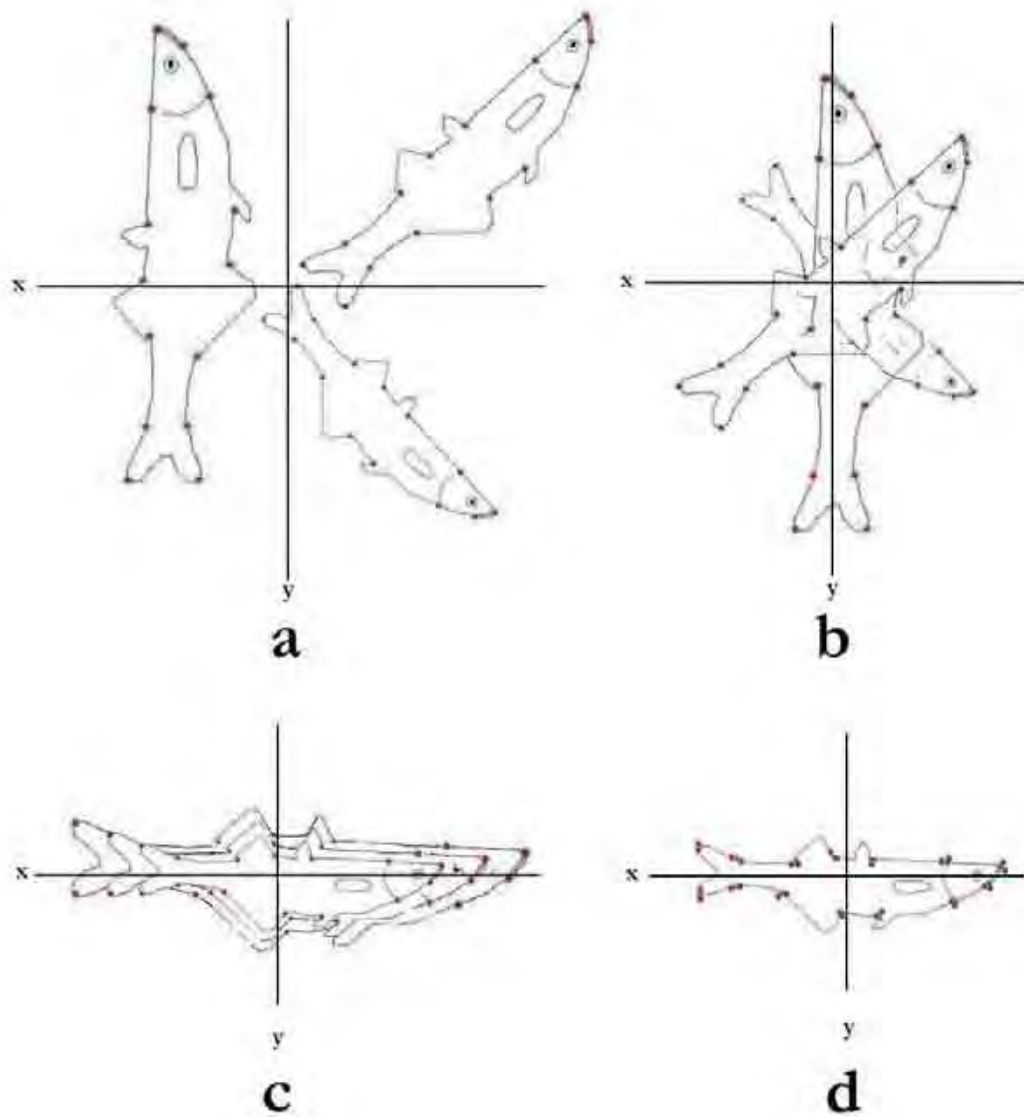


Figura 1.- **Corrección matemática de coordenadas bidimensionales.** Ejemplo gráfico que muestra la corrección matemática de coordenadas bidimensionales. Los puntos simbolizan a cada landmark y su ubicación en un sistema de coordenadas bidimensionales (planos X, Y). (a) Ubicación de landmarks tal como se obtienen al momento de capturar sus coordenadas; (b) resultado de la traslación de coordenada; (c) traslación y rotación de coordenadas y (d) traslación, rotación y corrección de la escala.

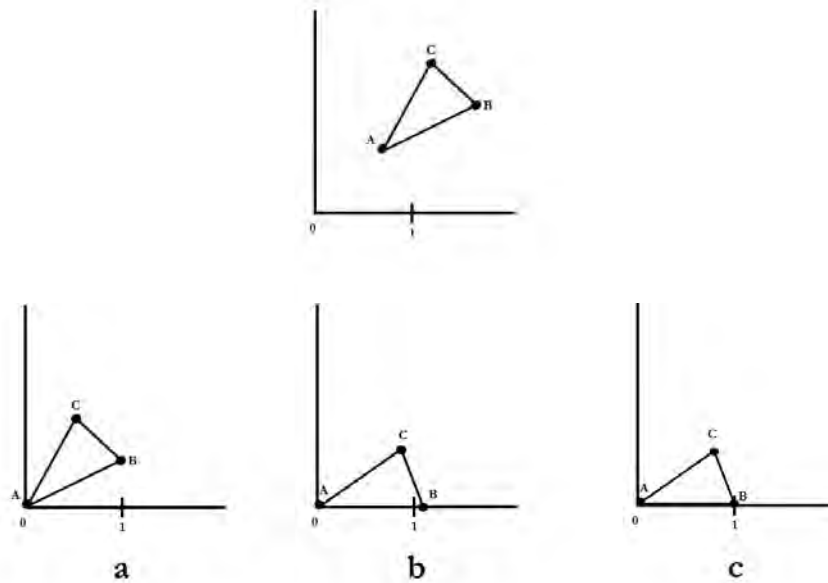


Figura 2.- **Coordenadas de Bookstein.** Obtención de coordenadas a partir de dos landmarks, tomado de Zelditch *et al.* (2004). En la figura (a) se traslada el landmark “A” como punto de origen (0, 0), en la figura (b) se rota el triangulo alineando la coordenada Y=0 del landmark B, y en la figura (c) se corrige la escala alineando el landmark B con coordenadas (1, 0). Se calculan las coordenadas del landmark C a partir de la ubicación de las coordenadas de los landmarks A y B.

El Método de Análisis General de Procrustes también conocido como Método de Mínimos Cuadrados Generalizado (GLS, por sus siglas en inglés) se utiliza para eliminar los factores ajenos a la forma. El procedimiento para la transformación de coordenadas es descrito en tres pasos por Rohlf (1990b). Apoyándonos en la explicación de los términos “centroide” y “tamaño del centroide” revisados en Bookstein (1991), Dryden y Mardia (1998) y Zelditch *et al.* (2004), se puede resumir lo siguiente: (1) la posición del centroide en el plano X y Y se calcula a partir del promedio de las coordenadas X y Y respectivamente de todos los landmarks, se obtiene el centroide de cada organismos y se traslada al punto de origen en el plano cartesiano (0, 0); (2) la configuración de landmarks es escalada a una unidad de tamaño común (tamaño del centroide), el tamaño del centroide se calcula a partir de la raíz cuadrada de la suma de las distancias cuadradas de cada landmark a partir del centroide; (3) la rotación de coordenadas se realiza minimizando las diferencias cuadradas de cada landmark homólogo.

Para simplificar las 3 operaciones antes mencionadas, en este trabajo únicamente se muestra de manera gráfica el procedimiento seguido en la corrección de coordenadas por el método GLS (Figura 3). El abordaje de la terminología empleada en el método GLS implica una serie de pasos con un grado de complejidad mayor, por lo tanto, no se considera pertinente ahondar más en el tema, ya que el hacerlo no repercute en la comprensión de los resultados de este trabajo. Para un análisis a profundidad del método GLS se pueden consultar los trabajos realizados por Rohlf (1990b), Bookstein (1991), Dryden y Mardia (1998) y Zelditch *et al.* (2004).

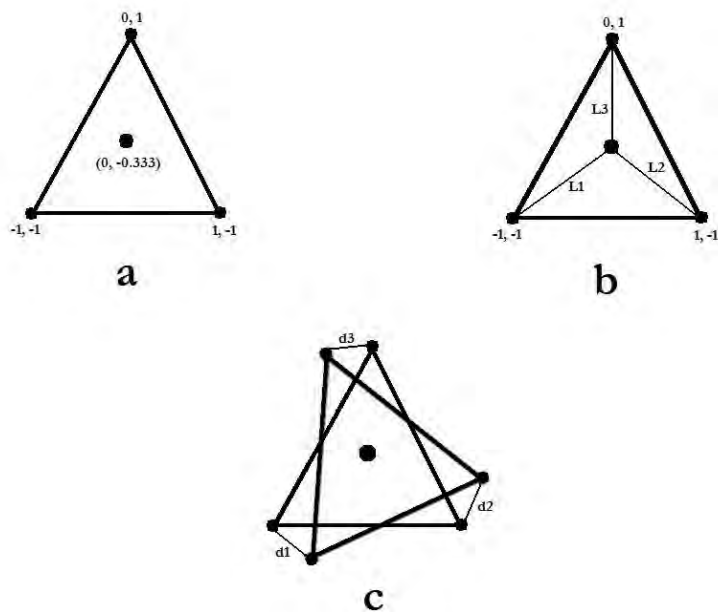


Figura 3.- **Transformación de coordenadas por el método de GLS.** Ejemplo tomado de Zelditch *et al.* (2004), para explicar el procedimiento empleado en el método GLS. (a) se muestra la ubicación del centroide, calculado a partir del promedio de las coordenadas X y Y; (b) el cálculo del tamaño del centroide es la raíz cuadrada de la suma de cuadrados de las distancias a cada landmark con respecto al centroide; (c) finalmente la rotación de coordenadas se realiza con la configuración de landmarks trasladada y escalada en un espacio de Kendall (Kendall, 1977), minimizando las diferencias cuadradas de cada landmark homólogo (Distancia de Procrustes) proyectada en un plano tangencial.

Análisis de la forma

Tradicionalmente el análisis de los datos se ha realizado aplicando técnicas multivariadas (Análisis de Componentes Principales, Análisis Factorial, Análisis Discriminante, Análisis de Varianza Canónica, Análisis de coordenadas principales y Análisis de Varianza para Múltiples Variables) a la estimación de distancias lineales que no siempre toman en cuenta la geometría de la forma (Marcus, 1990). La morfometría basada en la configuración de landmarks se fundamenta en la forma de Kendall y la proyección de las distancias de Procrustes en un espacio tangencial (Adams *et al.*, 2004). Esto hace factible el empleo de métodos de análisis multivariado convencional con la ventaja de la visualización de resultados gráficos (Rohlf, 1990b).

La técnica de Thin-Plate Spline permite observar de manera gráfica la variabilidad en la forma, además de permitir el análisis estadístico a partir del cálculo de unas variables morfométricas conocidas como Partian Warps (Zelditch *et al.*, 2004). Para el análisis de la forma Bookstein (1989a) propuso el uso de deformaciones principales (PW), mostrando que las configuraciones de landmarks pueden expresarse como deformaciones en una configuración de referencia. Los PW son funciones geométricas no lineales independientes aplicadas a la configuración de landmarks de referencia (Rohlf, 1990a) y son considerados como los eigenvectores de la matriz de energía de deformación (Bookstein, 1989a). Los

vectores de los PW permiten describir las maneras en que es posible deformar la configuración de referencia. Las deformaciones parciales o “Partial Warps” se obtienen a partir del eigenanálisis de la matriz de deformación y el argumento matemático para la obtención de estas variables es igual al empleado para la obtención de los eigenvectores en el Análisis de Componentes Principales (Zelditch *et al.*, 2004). A los resultados de las deformaciones parciales (Partial Warps Scores) se les puede aplicar cualquier análisis estadístico convencional. Una técnica empleada frecuentemente es el Análisis de Componentes Principales a los resultados de las deformaciones parciales, obteniéndose las deformaciones relativas o Relative Warps.

OBJETIVOS

Analizar la morfometría de la especie *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes, 1835) a partir de la ubicación de los landmarks propuestos, tomando como modelos biológicos a las poblaciones de las presas Villa Victoria, Edo. de México y Tepuxtepec, Michoacán.

Elegir los landmarks que describen la forma geométrica básica de la especie

Obtener los landmarks que presentan mayor variabilidad como indicadores de posibles cambios morfométricos en la especie considerando las variables categóricas localidad y sexo.

MATERIAL Y MÉTODO

En este capítulo se trabajó con las mismas coordenadas cartesianas obtenidas en el capítulo “ANÁLISIS MORFOMÉTRICO A PARTIR DE DISTANCIAS LINEALES”. Por tal motivo se puede obviar la obtención de datos, partiendo para este capítulo desde la superposición de landmarks (traslación, rotación y remoción de la escala en coordenadas cartesianas de cada landmark).

Para la superposición de landmarks se empleó el método de Mínimos Cuadrados Generalizado (GLS), por ser el único método de superposición que no altera el concepto de silueta de Kendall (Zelditch *et al.*, 2004). Para la manipulación de coordenadas cartesianas (rotación, traslación y remoción de escala) y el análisis morfométrico, se utilizó el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001), por poseer atributos necesarios para la transformación de coordenadas y el análisis morfométrico a partir de métodos de morfometría geométrica.

Debido a que al corregir las coordenadas por el método de GLS, las imágenes resultantes de los peces se invierten, para entender mejor los resultados a continuación se muestra una imagen (Figura 4) con la ubicación y el número de landmarks analizados.

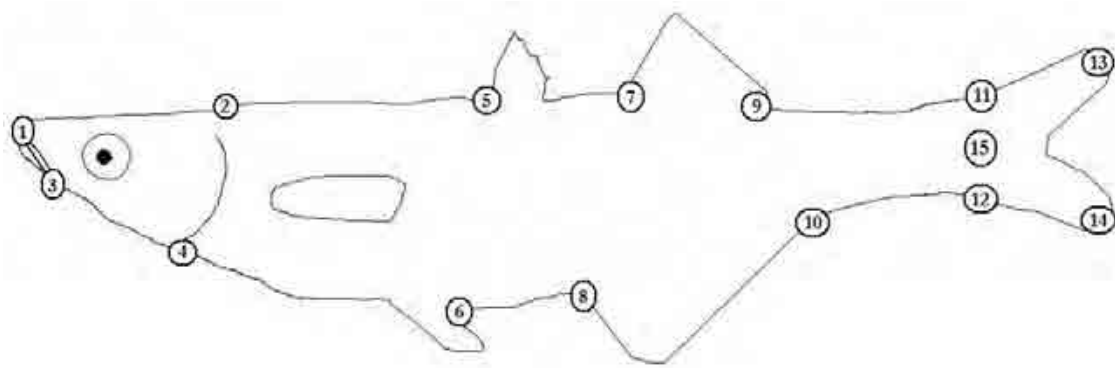


Figura 4.- **Ubicación de landmarks para el análisis de la forma a partir de morfometría geométrica.** Se analizaron los mismos landmarks que en el capítulo ANÁLISIS MORFOMÉTRICO A PARTIR DE DISTANCIAS LINEALES, por lo que esta es una imagen especular de la Figura 5 del capítulo anterior, reproducida únicamente para facilitar la visualización de los resultados.

Forma geométrica básica de *C. humboldtianum*

Una vez removidos los factores ajenos a la forma por el método GLS se graficaron las coordenadas X y Y. El análisis de la forma geométrica básica se limitó a la observación en la dispersión, forma y traslape de las nubes de puntos de cada landmark. Obteniéndose los landmarks que no dieron indicio de cambio en la forma como característicos de la forma geométrica básica. Para la obtención de la forma geométrica básica de cada población se compararon las formas de organismos indeterminados, hembras y machos de cada población. Para la obtención de la forma geométrica básica de organismos indeterminados, hembras y

machos, se obtuvieron las nubes de landmarks para cada subgrupo dentro de cada población y se compararon entre ambas poblaciones. La forma geométrica básica de la especie fue la integrada por landmarks que presentaron nubes con poca dispersión, sin indicios de deformación y que se traslaparon entre todos los subgrupos.

Variabilidad en la forma

A partir de la corrección de coordenadas por el método de GLS se obtuvo la ubicación promedio de los landmarks, para organismos indeterminados, hembras y machos de cada población (forma promedio), empleando el programa PAST para la obtención de las formas promedio de manera gráfica. Se traslaparon las imágenes con las formas promedio de organismos indeterminados, hembras y machos de una misma población. Con esto fue posible visualizar los landmarks que presentaron indicios de diferencias dentro cada población. Para la obtención de landmarks con indicios de cambio en la forma entre poblaciones, se tomaron las imágenes correspondientes al mismo sexo y se compararon al traslaparlas entre ambas poblaciones.

Se empleó el programa PAST para obtener la matriz de energía de deformación y su visualización en la configuración de landmarks a partir de la técnica Thin-Plate Spline. Se obtuvieron los Partial Warps Scores y para estos resultados se obtuvieron los dos primeros Relative Warps (RW) para la identificación de grupos.

Para la obtención de diferencias estadísticamente significativas entre subgrupos de cada población y entre poblaciones para cada subgrupo, se aplicó el análisis de varianza a los resultados obtenidos en los RW1 y RW2 por ser los componentes que describen el mayor porcentaje de deformación en las configuraciones de landmarks. Adicionalmente se aplicó la prueba de mínima diferencia significativa de Fisher (LSD) para la identificación de diferencias entre subgrupos.

RESULTADOS

Forma geométrica básica de *Chirostoma humboldtianum*

Los resultados de la comparación de nubes de puntos para cada landmark se muestran por separados para la población de Villa Victoria y Tepuxtepec con la finalidad de observar detalladamente las nubes de puntos de cada landmark. También se muestran los resultados para organismos indeterminados, hembras y machos al traslapar las imágenes de cada población.

Villa Victoria

Los resultados de la población de Villa Victoria individualmente para la variable sexo se muestran en la Figura 5. Para organismos indeterminados (Figura 5a) observamos que los landmarks que describen el margen superior del opérculo, la parte basal del maxilar inferior y el inicio de la segunda aleta dorsal muestran dispersión en las nubes de puntos pero no presentan tendencia alguna a diferencia de los landmarks 11, 12 y 15 (inicio de la aleta caudal) que presentaron nubes un poco alargadas dando indicios de variabilidad morfométrica (círculos rojos). En hembras se muestra en la Figura 5b que los landmarks margen superior del opérculo, la parte basal del maxilar inferior, inicio de la aleta ventral y los tres landmarks que indican el inicio de la aleta caudal (11, 12 y 15) no presentan tendencias que indiquen cambio de forma. Para los machos los landmarks que no presentaron indicios de variabilidad morfométrica fueron el margen superior del opérculo, la parte basal del maxilar inferior, margen inferior del opérculo, inicio de la primera y segunda aleta dorsal, inicio de la aleta ventral, inicio de la aleta anal y los landmarks que describen el inicio de la aleta caudal (Figura 5c).

Al traslapar las nubes de puntos obtenidas para cada subgrupo de la población de Villa Victoria se obtuvo que las nubes de puntos del margen superior del opérculo y la parte basal del maxilar inferior componen la forma geométrica básica de la población de Villa Victoria (Figura 5d).

Tepuxtepec

La forma geométrica básica de la población de Tepuxtepec para cada subgrupo se muestra en la Figura 6. Para organismos indeterminados se obtuvieron nubes de puntos con poca dispersión homogénea en la parte basal del maxilar inferior, inicio de la aleta ventral, inicio de la aleta caudal y el margen inferior del inicio de la aleta caudal (Figura 6a). En hembras, los landmarks del margen superior del opérculo, la parte basal del maxilar inferior, inicio de la segunda aleta dorsal y los landmarks del inicio de la aleta caudal presentaron poca dispersión homogénea (Figura 6b). En la Figura 6c se observa que los landmarks del margen superior del opérculo, la parte basal del maxilar inferior, inicio de la primera y segunda aleta dorsal, margen inferior de la aleta caudal y fin de la línea lateral caracterizan a la forma geométrica básica de machos en la población de Tepuxtepec.

El traslape de las nubes de puntos para los 3 subgrupos de la población de Tepuxtepec indica que los landmarks la parte basal del maxilar inferior y el inicio de la segunda aleta dorsal componen la forma geométrica básica de dicha población (Figura 6d).

Indeterminados

La comparación de nubes de puntos para organismos indeterminados entre ambas poblaciones se muestra en la Figura 7a. El landmark que describe a la parte basal del maxilar inferior presentó menor dispersión, homogeneidad y traslape entre ambas poblaciones, por lo que es el único landmark que puede ser considerado como característico de la forma básica de organismos indeterminados.

Hembras

Los resultados del traslape en las nubes de puntos para hembras que mostraron menor dispersión homogénea y sobreposición entre ambas poblaciones indican que los landmarks margen superior del opérculo, base del maxilar inferior y los landmarks del inicio de la aleta caudal son indicativos de la forma geométrica básica de hembras (Figura 7b).

Machos

Para machos, se observó un menor número de landmarks con indicios de variabilidad morfométrica que los de los otros subgrupos. La sobreposición de las nubes de puntos en los landmarks margen superior del opérculo, base del maxilar inferior, inicio de la primera y la segunda aleta dorsal y los landmarks del inicio de la aleta caudal muestran que estos landmarks conforman la forma geométrica básica de machos (Figura 7c).

Forma geométrica básica de la especie

La forma geométrica básica de la especie *Chirostoma humboldtianum* está integrada por el landmark base del maxilar inferior (L3), al ser el único landmark que presentó poca dispersión homogénea y se traslapo entre todos los subgrupos (Figura 8).

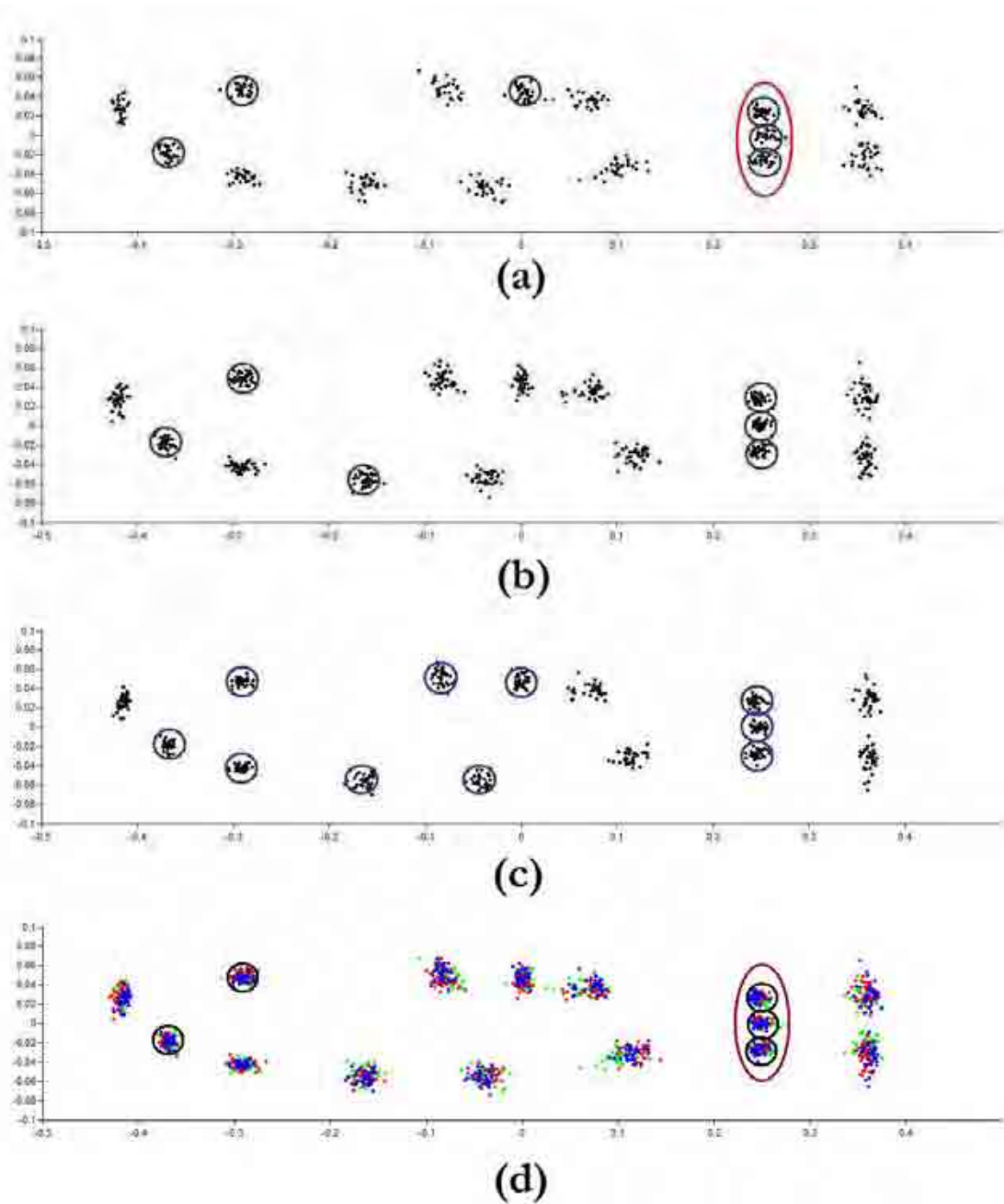


Figura 5. **Formas geométricas básicas para la población de Villa Victoria.** La forma geométrica básica de la población de Villa Victoria está constituida por los landmarks que presentaron poca dispersión, dispersión homogénea y traslape en la nube de puntos entre los subgrupos. Nubes de puntos para organismos indeterminados (a), hembras (b), machos (c) y traslape de nubes entre los tres subgrupos de la población de Villa Victoria (d). En el gráfico de traslape se puede observar en verde a las nubes de organismos indeterminados, en rojo a hembras y en azul a machos.

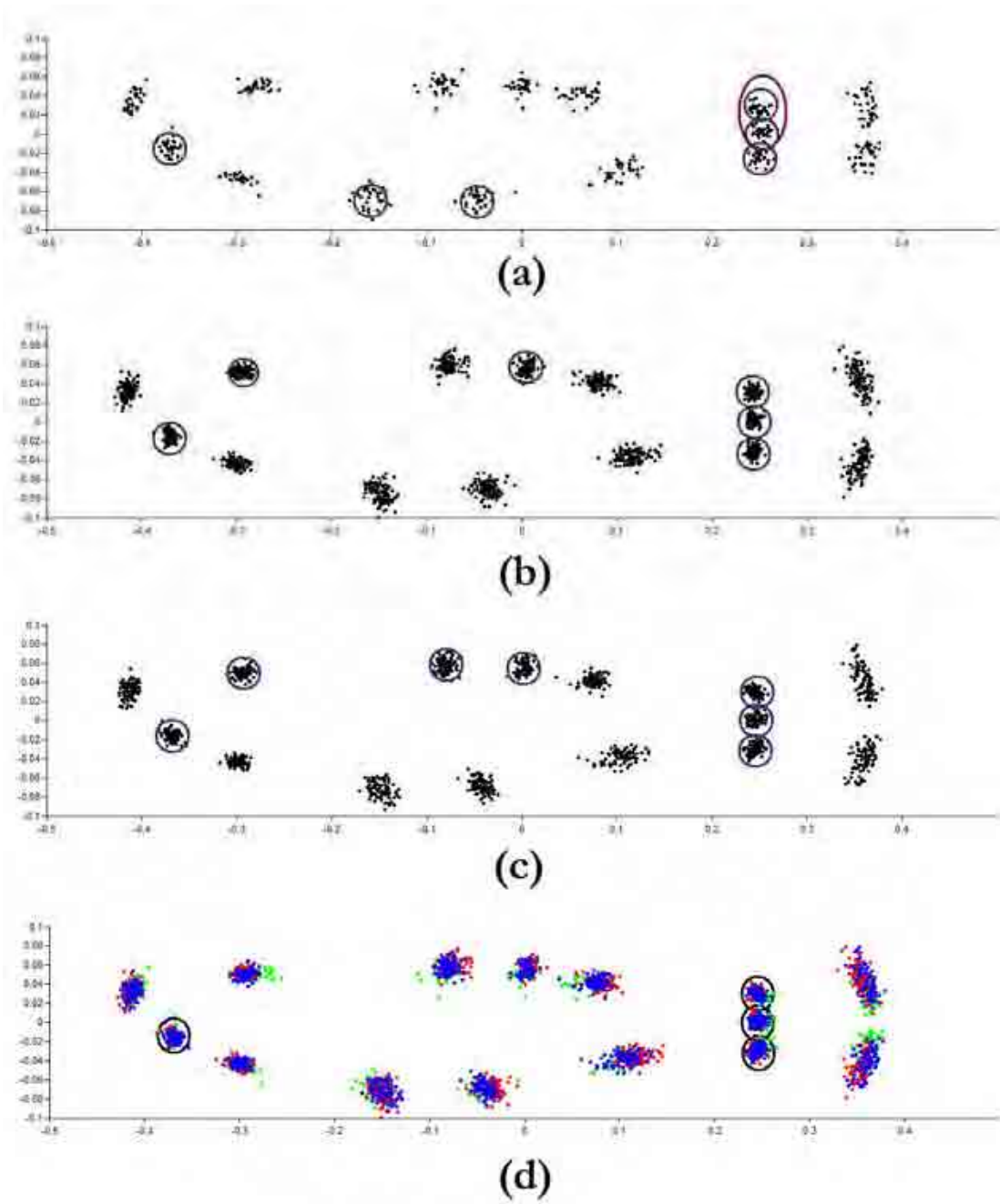


Figura 6. **Formas geométricas básicas para la población de Tepuxtepec.** La forma geométrica básica de la población de Tepuxtepec está constituida por los landmarks que presentaron poca dispersión, dispersión homogénea y traslape en la nube de puntos entre los subgrupos. Nubes de puntos para organismos indeterminados (a), hembras (b), machos (c) y traslape de nubes entre los tres subgrupos de la población de Tepuxtepec (d). En el gráfico de traslape se puede observar en verde a las nubes de organismos indeterminados, en rojo a hembras y en azul a machos.

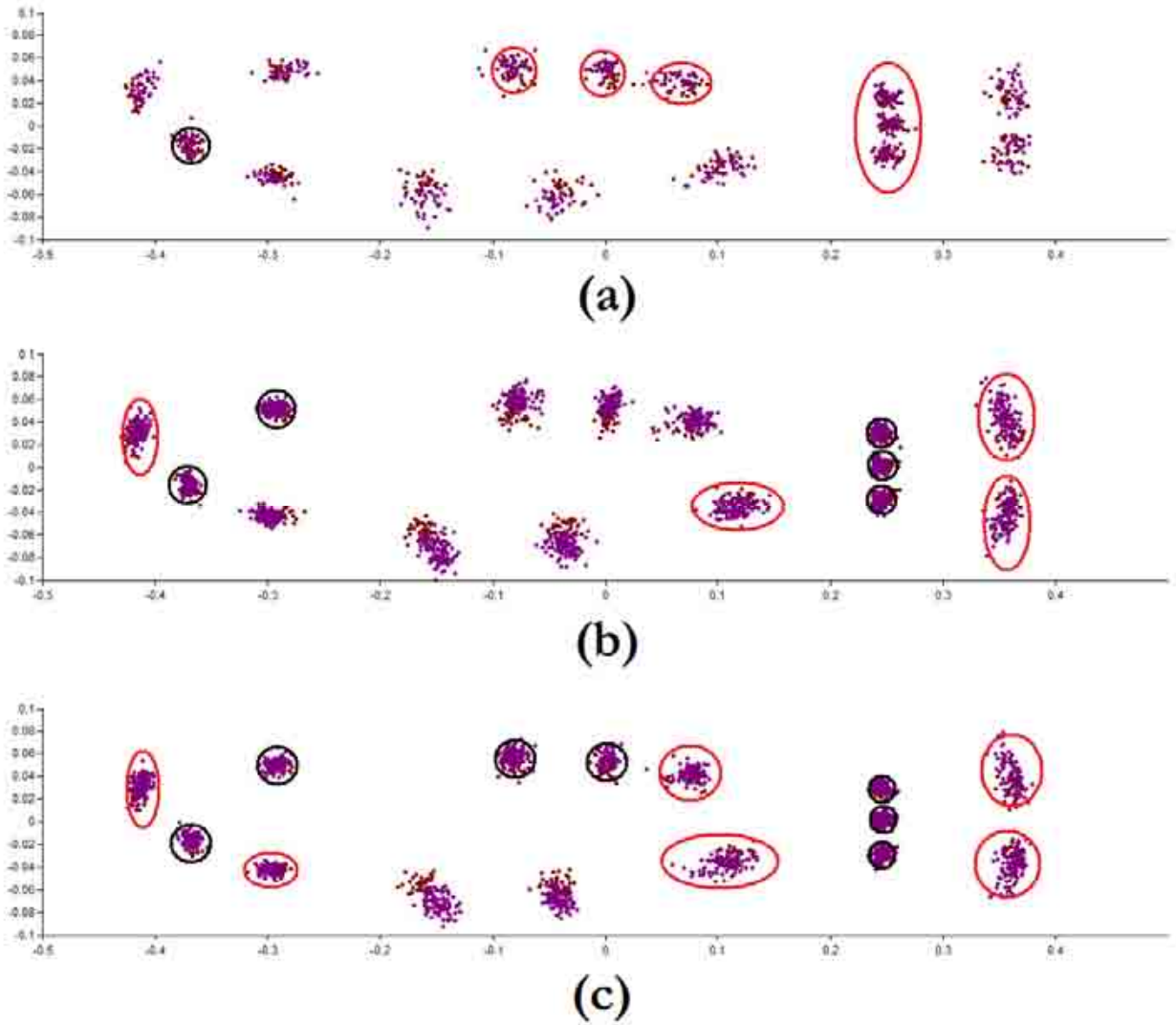


Figura 7. **Comparación de formas geométricas básicas de cada subgrupo entre las dos poblaciones.** Se muestran de color rojo oscuro las nubes de la población de Villa Victoria y en morado las de la población de Tepuxtepec. Traslape de las nubes de puntos para organismos indeterminados de ambas poblaciones (a), para hembras (b) y para machos (c).

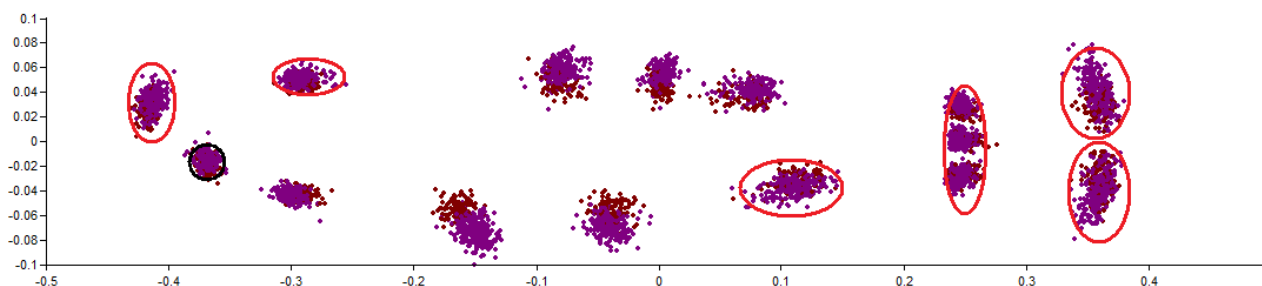


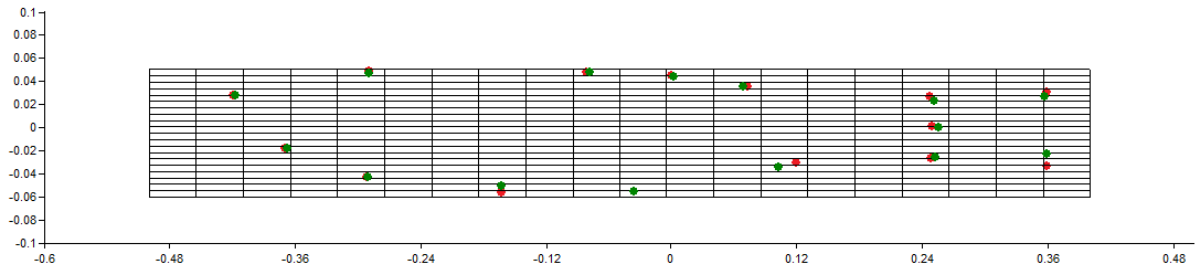
Figura 8. **Forma geométrica básica de la especie *Chirostoma humboldtianum*.** Traslape de nubes de puntos, tomando a todos los organismos de Villa Victoria y Tepuxtepec. Se muestran en color rojo oscuro las nubes de la población de Villa Victoria y en morado las de la población de Tepuxtepec.

Variabilidad en la forma

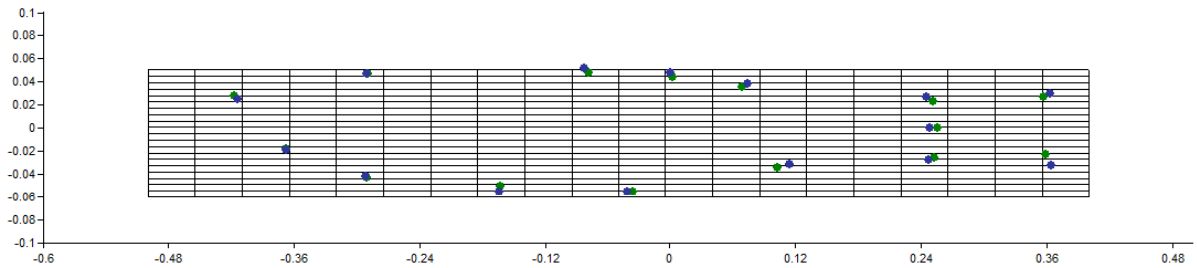
Al comparar la configuración promedio de landmarks entre organismos indeterminados, hembras y machos de cada población, se observan de manera cualitativa indicios de variabilidad morfométrica dentro de cada población. El traslape de las formas promedio obtenidas para cada población se muestran en la Figura 9 (Villa Victoria) y Figura 10 (Tepuxtepec).

Para la población de Villa Victoria se observa que, en organismos indeterminados la altura del abdomen, el tamaño de la aleta anal y el tamaño de la aleta caudal dan indicios de menor tamaño que en hembras y machos Figura 9a y Figura 9b. En la Figura 9b se observan diferencias entre organismos indeterminados y machos referentes al inicio del hocico y la ubicación de las aletas dorsales. En la Figura 9c se muestran las diferencias entre hembras y machos, indicando que el inicio del hocico, la aleta anal y las aletas dorsales difieren en la ubicación, mientras que el tamaño de las bifurcaciones caudales tiende a ser mayor en machos.

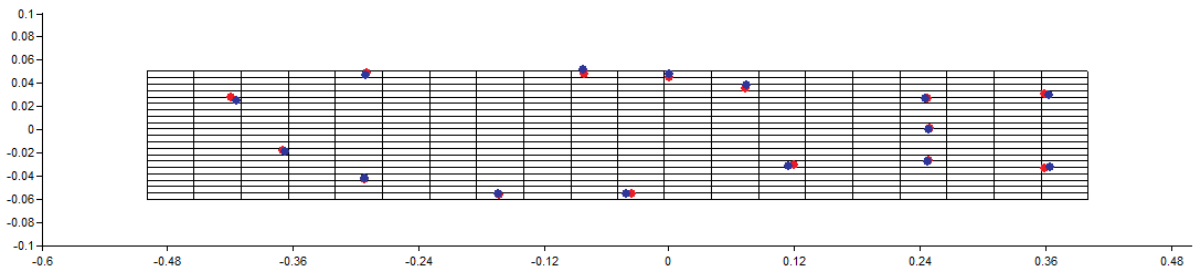
Para la población de Tepuxtepec se puede observar que en las zonas pectoral, abdominal, pedúnculo y aleta caudal, los organismos indeterminados presentan una forma corporal más elongada que la observada en hembras y machos (Figura 10a y Figura 10b), y únicamente se observan diferencias en el tamaño de la aleta anal entre organismos indeterminados al traslape con hembras (Figura 10a). Para la zona cefálica se observa que, en organismos indeterminados existen diferencias con hembras y machos en la ubicación de los márgenes del opérculo y el inicio del hocico. En la Figura 10c se observa que el tamaño de la aleta anal es mayor en hembras que en machos y diferencias en la apertura de las bifurcaciones caudales.



(a)



(b)



(c)

Figura 9. **Formas promedio para los subgrupos de la población de Villa Victoria.** En color verde se muestran los puntos que componen la forma promedio de organismos indeterminados, en rojo los de hembras y en azul los de machos. Traslape de formas promedio entre organismos indeterminados y hembras (a), formas promedio entre indeterminados y machos (b) y, formas promedio entre hembras y machos (c).

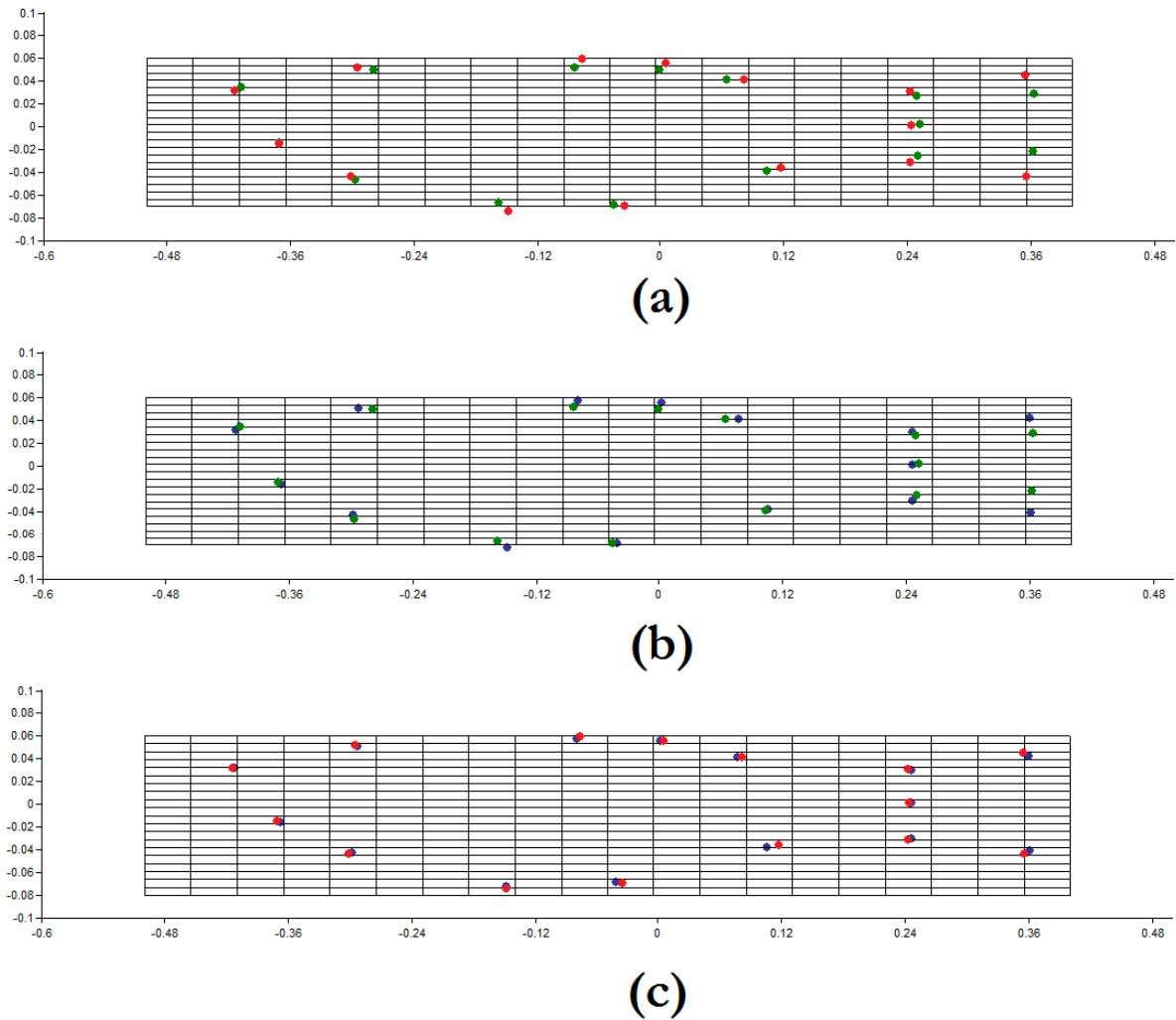


Figura 10. **Formas promedio para los subgrupos de la población de Tepuxtepec.** En color verde se muestran los puntos que componen la forma promedio de organismos indeterminados, en rojo los de hembras y en azul los de machos. Traslape de formas promedio entre organismos indeterminados y hembras (a), formas promedio entre indeterminados y machos (b) y, formas promedio entre hembras y machos (c).

Para la población de Villa Victoria se muestran en la Figura 11 los resultados de los 2 RW donde se presentó mayor energía de deformación. Se obtuvo que la deformación en la configuración de los landmarks se explica en un 27.3% por el RW1 y 18.64% por el RW2.

El análisis de varianza para los RWS en la población de Villa Victoria indicó que existen diferencias significativas entre los tres subgrupos para el RW1 ($p = 0.0019$) y RW2 ($p = 0.0000$) al obtenerse valores de $p < 0.05$. La prueba de mínima diferencia significativa de Fisher (LSD) indicó que para el RW1 los organismos indeterminados de la población de Villa Victoria presentaron diferencias con el resto de la población (Anexo 12), mientras que en el RW2 los tres grupos mostraron diferencias entre sí (Anexo 13).

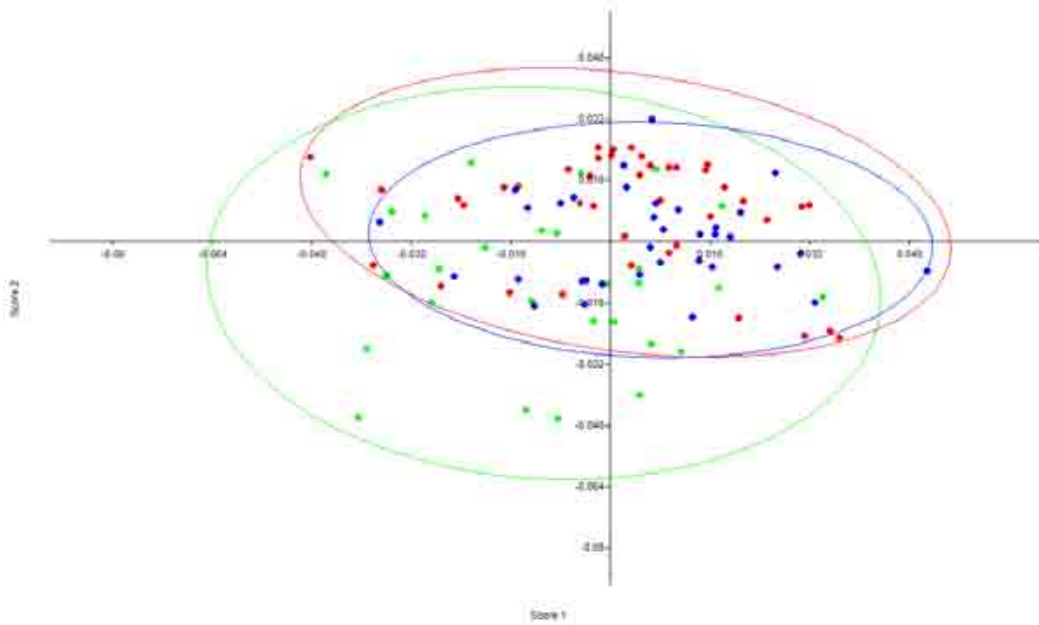


Figura 11. **Relative Warps Scores que indican mayor variabilidad dentro de la población de Villa Victoria.** En el plano horizontal se observa la variabilidad correspondiente al RW1 y en el plano vertical la variabilidad del RW2. En color verde se muestran los puntos correspondientes a organismos indeterminados, en rojo a las hembras y en azul a los machos.

En la Figura 12 se observa la deformación de cuadrículas para los RW1 y RW2 obtenidos para la población de Villa Victoria. Para el RW1 se observan diferencias en la ubicación del inicio de la segunda aleta dorsal, base de la aleta anal, inicio del hocico, bifurcaciones de la aleta caudal y la altura del abdomen. Las deformaciones para el RW2 indican diferencias en el inicio del hocico, aleta ventral, base de la aleta anal, bifurcación de la aleta caudal, e inicio de la aleta anal.

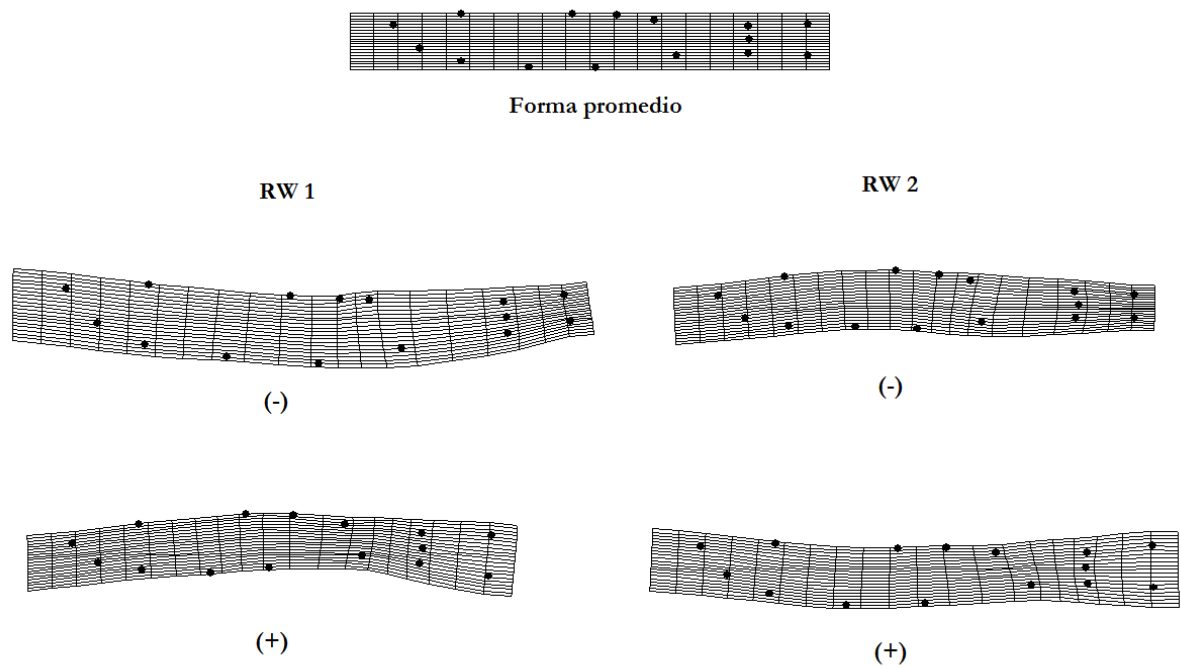


Figura 12. **Deformación de cuadrículas para los RW1 y RW2 dentro de la población de Villa Victoria.** Se tomó como referencia la forma promedio de toda la población y se muestra la deformación de cuadrículas para los RW1 y RW2 que presentaron mayor variabilidad. Con signos (-) las deformaciones negativas y con signos (+) las deformaciones positivas. Del lado izquierdo se muestran las deformaciones correspondientes al RW1, del lado derecho las deformaciones correspondientes al RW2.

En la Figura 13 se muestran los resultados para los 2 RW (mayor energía de deformación) obtenidos en la población de Tepuxtepec. El 31.31% de la deformación en la configuración de landmarks se explica por el RW1 y el RW2 explica el 16.97%.

El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas entre los tres subgrupos para el RW1 ($p = 0.0000$), mientras que para el RW2 se obtuvo un valor cercano a la zona de rechazo ($p = 0.0505 > 0.05$) por lo que a pesar de que no existen diferencias estadísticamente significativas se realizó la prueba LSD. La prueba LSD indicó que existen diferencias en los tres subgrupos para el RW1 al ser comparados entre sí (Anexo 14). En el caso del RW2 los organismos indeterminados son diferentes a hembras y machos (Anexo 15).

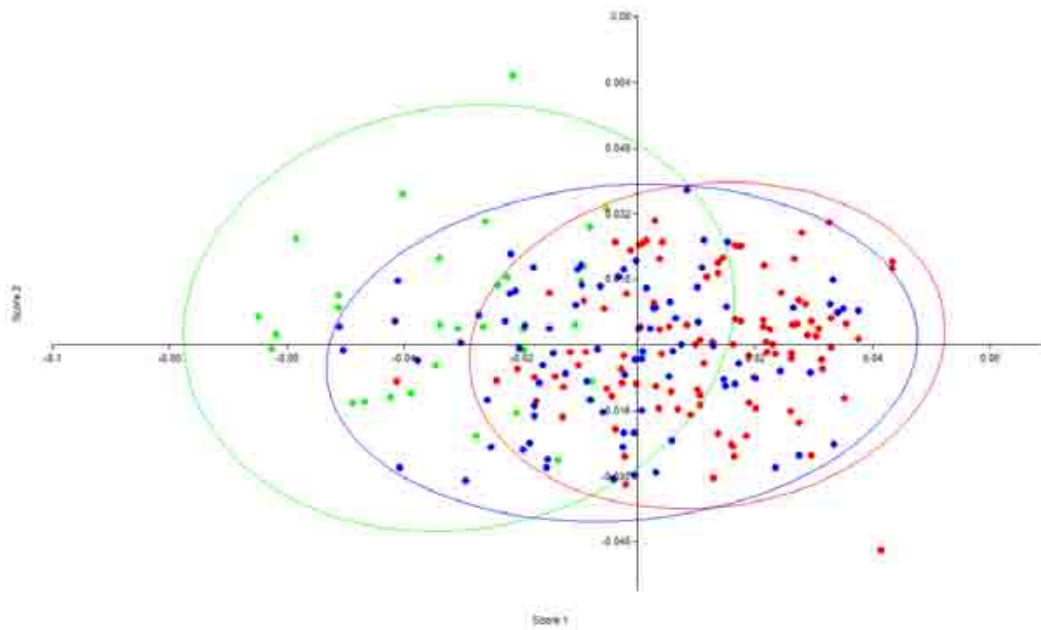


Figura 13. **Relative Warps Scores que indican mayor variabilidad dentro de la población de Tepuxtepec.** En el plano horizontal se observa la variabilidad correspondiente al RW1 y en el plano vertical la variabilidad del RW2. En color verde se muestran los puntos correspondientes a organismos indeterminados, en rojo a las hembras y en azul a los machos.

En la Figura 14 se muestran los resultados de la deformación de cuadrículas para los RW1 y RW2 obtenidos para la población de Tepuxtepec. En el RW1 se observan diferencias en los márgenes del opérculo, inicio del hocico, aleta ventral, fin de la aleta anal y bifurcaciones de la aleta caudal. Las deformaciones para el RW2 indican diferencias en la aleta ventral, inicio de la aleta anal y posición del margen superior del opérculo.

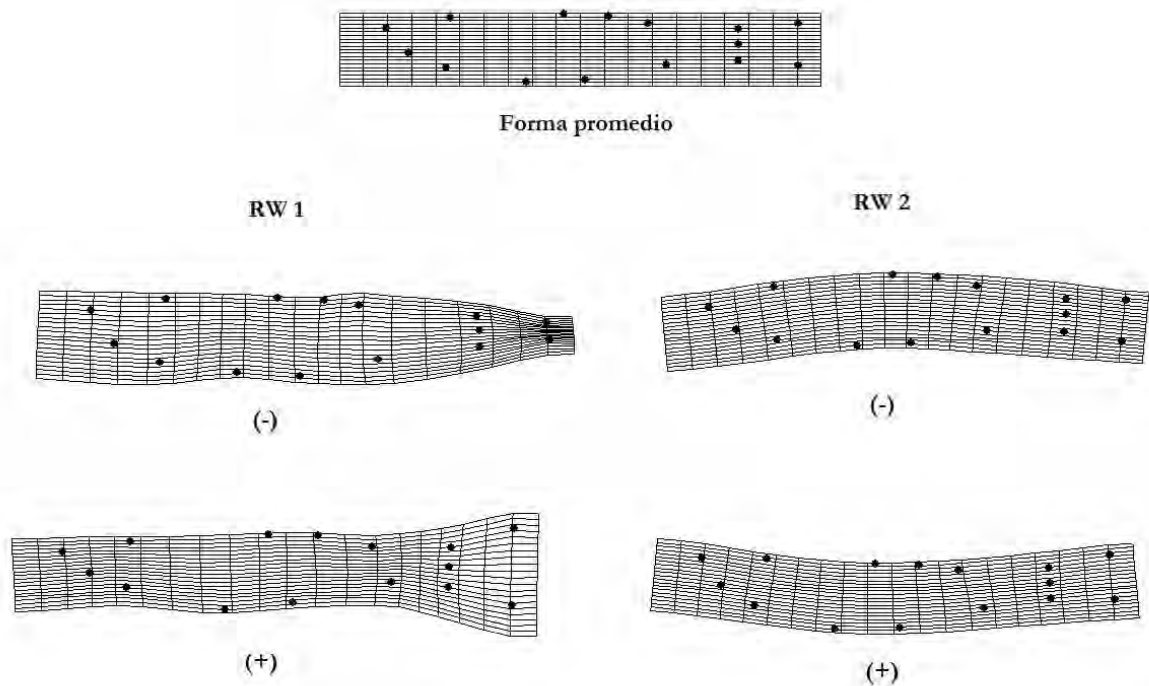
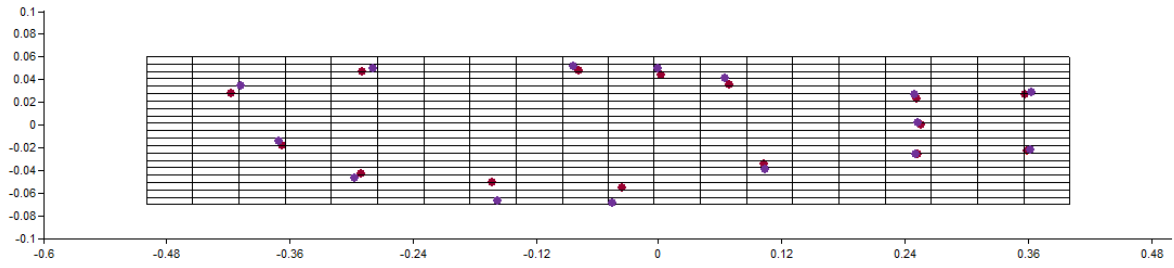


Figura 14. **Deformación de cuadrículas para los RW1 y RW2 dentro de la población de Tepuxtepec.** Se tomo como referencia la forma promedio de toda la población y se muestra la deformación de cuadrículas para los RW que presentaron mayor variabilidad. Con signos (-) las deformaciones negativas y con signos (+) las deformaciones positivas. Del lado izquierdo se muestran las deformaciones correspondientes al RW1, del lado derecho las deformaciones correspondientes al RW2.

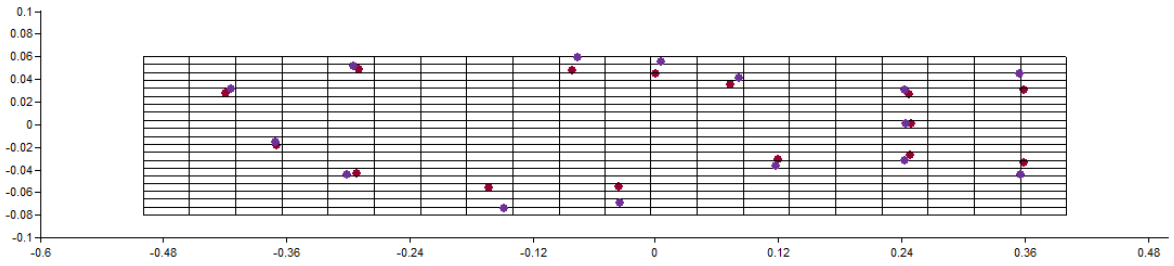
El traslape de formas promedio para organismos indeterminados entre ambas poblaciones indican que, las diferencias más evidentes se observan en las zonas cefálica, pectoral y abdominal (Figura 15a). Las diferencias observadas indican una tendencia de forma corporal más elongada en la población de Villa Victoria (zona pectoral y zona abdominal) y diferencias en el tamaño de la aleta anal. En la zona cefálica se observan diferencias en la ubicación del inicio del hocico y los márgenes del opérculo.

Las diferencias entre hembras de ambas poblaciones se observan en la Figura 15b. Se muestra que existe mayor discrepancia en las zonas pectoral, abdominal, pedúnculo y aleta caudal, de igual manera que para indeterminados se observa una forma corporal más elongada en la población de Villa Victoria.

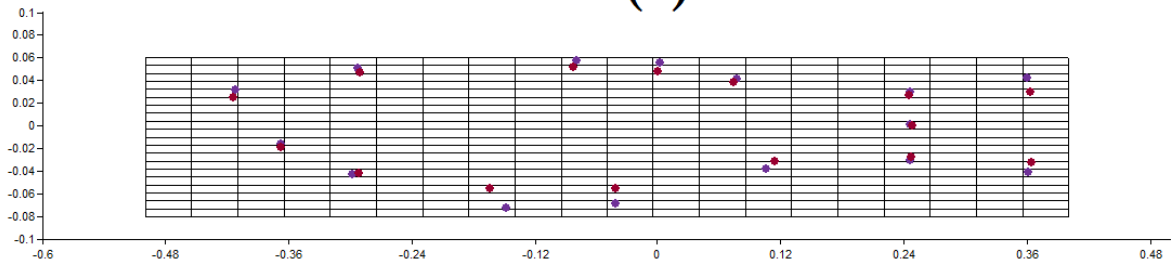
El traslape de formas promedio en machos da indicios de variabilidad en la zonas pectoral, abdominal y aleta caudal (organismos más elongados en la población de Villa Victoria). La base de la aleta anal da indicios de diferencias entre machos de ambas poblaciones, indicando aletas de mayor magnitud en machos de Villa Victoria (ver Figura 15c).



(a)



(b)



(c)

Figura 15. **Comparación de formas promedio de cada subgrupo entre ambas poblaciones.** En color rojo oscuro se muestran las formas promedio para organismos indeterminados, hembras y machos de la población de población de Villa Victoria y en morado las formas promedio de los subgrupos de la población de Tepuxtepec. En la figura (a) se muestran los traslapes entre las formas promedio de organismos indeterminados de ambas poblaciones, en la figura (b) el traslape entre hembras y en la figura (c) el traslape de machos.

En la Figura 16 se observan los resultados correspondientes a los RW1 y RW2 obtenidos entre ambas poblaciones. El RW1 representa el 27.06% de deformación en la configuración de landmarks y el RW2 representa el 17.55%.

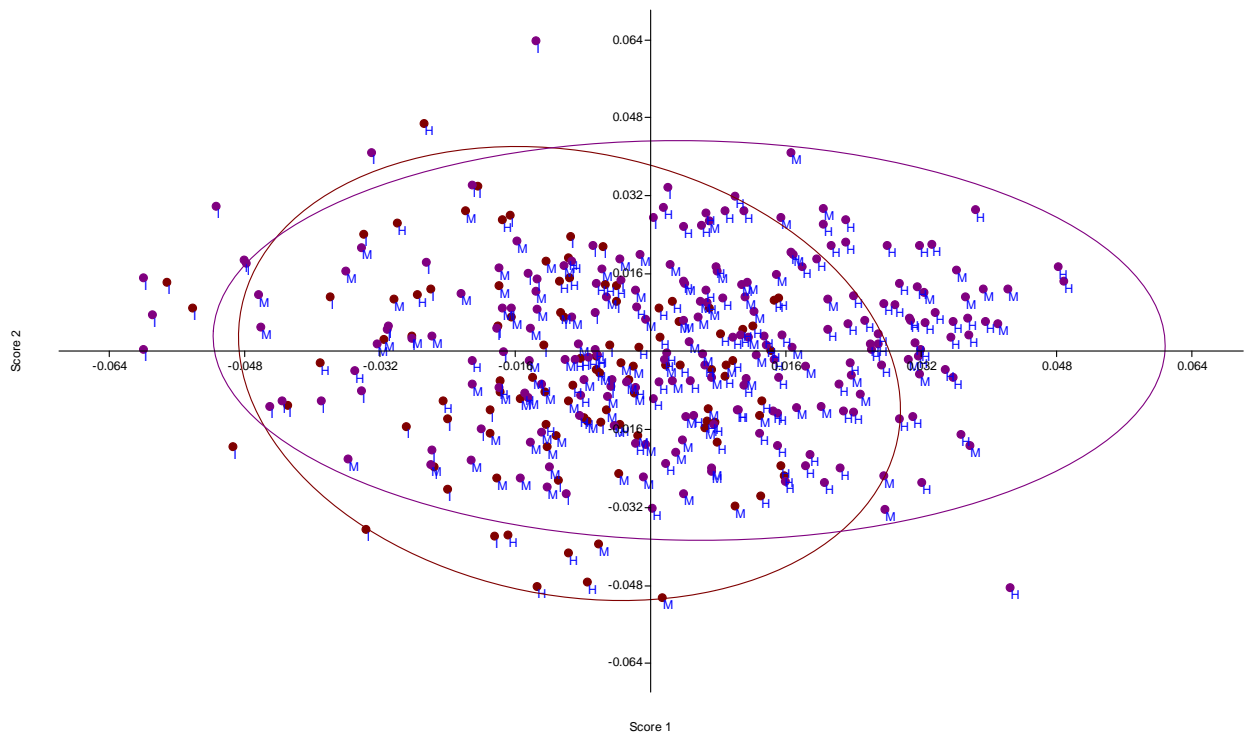


Figura 16. **Relative Warps Scores que indican mayor variabilidad dentro de las dos población.** En el plano horizontal observamos la variabilidad correspondiente al RW1 y en el plano vertical la variabilidad del RW2. Los puntos de color rojo oscuro indican los puntos correspondientes a la población de Villa Victoria y en morado los organismos de Tepuxtepec. Las letras pequeñas indican a cada subgrupo, (I) organismos indeterminados, (H) hembras y (M) machos.

En la Cuadro 1 se observan los valores de p obtenidos en el análisis de varianza, correspondientes a la comparación de organismos indeterminados, hembras y machos entre poblaciones. Existen diferencias significativas entre organismos indeterminados para el RW2, para hembras las diferencias significativas se obtuvieron en el RW1 y para machos existen diferencias significativas en el RW1 y RW2.

Los resultados de la prueba LSD para el RW1 se pueden consultar en el Anexo 16, donde se puede observar que organismos indeterminados de ambas poblaciones son diferentes a hembras y machos de ambas poblaciones. No existen diferencias estadísticamente significativas entre hembras y machos de Villa Victoria y hembras de Villa Victoria con machos de Tepuxtepec.

Para el RW2 se observan diferencias significativas entre organismos indeterminados de Villa Victoria con indeterminados de Tepuxtepec, pero no con hembras y machos de ambas poblaciones. Los organismos indeterminados de Tepuxtepec presentan diferencias con hembras y machos de ambas poblaciones. Los machos de Villa Victoria presentaron diferencia con hembras y machos de Tepuxtepec (Anexo 17).

Cuadro 1. **Resultados del ANOVA para el RW1 y RW2 entre subgrupos de ambas poblaciones.** En la columna “p” se muestran los valores obtenidos en el ANOVA al comparar las medias de los RW1 y RW2 de organismos indeterminados, hembras y machos entre ambas poblaciones. En la columna “Media” se observan las medias de los tres subgrupos para cada población (VV= Villa Victoria y Tpx= Tepuxtepec).

		p	Media
Indeterminados	RW1	0.2456	VV= -0.0206669 Tpx= -0.0259906
	RW2	0.0258	VV= -0.0024651 Tpx= 0.00892342
Hembras	RW1	0.0000	VV= -0.00326744 Tpx= 0.0158387
	RW2	0.1390	VV= -0.0033277 Tpx= 0.00133942
Machos	RW1	0.0073	VV= -0.00793867 Tpx= 0.00188446
	RW2	0.0093	VV= -0.0078761 Tpx= 0.000644577

En la Figura 17 se observan las deformaciones para los RW1 y RW2. En la deformación de cuadrículas para el RW 1 se indica que existen diferencias en la ubicación del margen inferior del opérculo, inicio de la aleta ventral, inicio de la aleta anal, primera y segunda aleta dorsal, término de la aleta anal y la bifurcación de la aleta caudal. En el RW2 se observó variabilidad morfométrica en el margen superior del opérculo y el inicio de la aleta ventral.

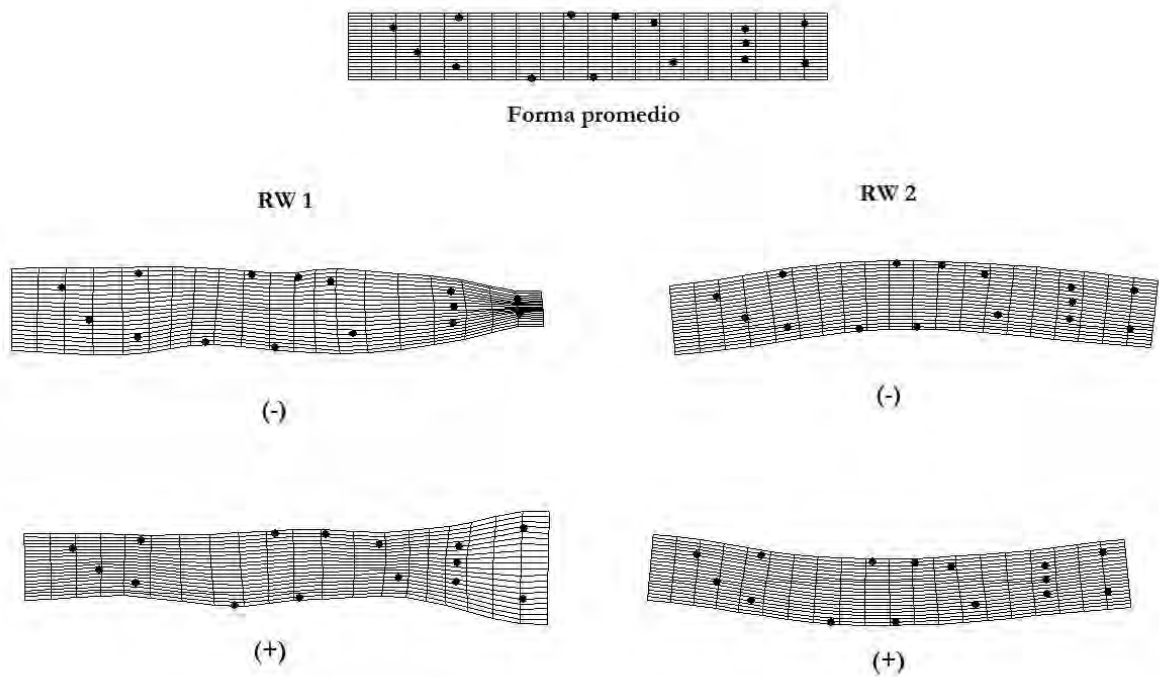


Figura 17. **Deformación de cuadrículas para los RW1 y RW2 que indican las diferencias entre ambas poblaciones.** Se tomó como referencia la forma promedio de ambas poblaciones y se muestra la deformación de cuadrículas para los RW que presentaron mayor variabilidad. Con signos (-) las deformaciones negativas y con signos (+) las deformaciones positivas de los RW 1 y RW 2. Del lado izquierdo se muestran las deformaciones correspondientes al RW 1, del lado derecho las deformaciones correspondientes al RW 2.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Forma geométrica básica de *Chirostoma humboldtianum*

En función de los resultados obtenidos en el capítulo anterior (ANÁLISIS MORFOMÉTRICO A PARTIR DE DISTANCIAS LINEALES), se esperaría que la forma geométrica básica de esta especie, así como de cada población y cada sexo esté constituida por los landmarks que componen la zona cefálica, zona del pedúnculo y aleta caudal. Los resultados aportados en el análisis de nubes de puntos sugieren que existe variabilidad morfométrica en dichas zonas. De acuerdo con Strauss y Bookstein (1982), la variabilidad tiende a atenuarse si medimos distancias lineales grandes (pares de landmarks alejados). Indicando que, las variables características de cada población, sexo y de la especie *C. humboldtianum* mostradas en el capítulo anterior, no necesariamente involucran zonas con nula variabilidad morfométrica.

Debido a la limitante de que el análisis de las nubes de puntos es cualitativo podría incurrirse en errores al momento de la elección de landmarks característicos de la forma geométrica básica. Por ejemplo, los landmarks que indican el inicio de la aleta caudal (11, 12 y 15) dieron indicios de variabilidad apenas perceptible por este método en organismos indeterminados de la población de Villa Victoria, pero no en Tepuxtepec. Sin embargo, a diferencia del landmark 1 (Figura 5, Figura 6, Figura 7 y Figura 8), en este sí es más evidente la existencia de variabilidad morfométrica.

Como variable descriptora del crecimiento en tamaño no solo de las especies del género *Chirostoma* si no, también de otras especies ícticas se toma como referencia a la longitud estándar o longitud total. Estas distancias lineales tienen como origen común el landmark 1 (inicio del hocico) y como ya se mencionó este landmark da indicios de variabilidad morfométrica para esta especie. En el capítulo anterior el análisis se basó en la proporción de cada variable con respecto a la longitud estándar, pero si el landmark 1 presenta variabilidad morfométrica es factible que existan discrepancias entre ambos métodos en lo referente a forma básica (p. e. la distancia entre el margen superior del opérculo y la parte basal del maxilar inferior no resultó redundante por el método de distancias lineales).

Los resultados obtenidos al traslapar las nubes de puntos que indican landmarks característicos de organismos indeterminados, hembras y machos de cada población, indican que para la población de Villa Victoria los landmarks 2 (margen superior del opérculo), 3 (parte basal del maxilar inferior), los landmarks que indican el inicio de la aleta caudal (L11 y L12) y fin de la línea plateada (L15) son característicos de la forma geométrica básica de esta población, a diferencia de la población de Tepuxtepec el landmark 2 dio indicios de variabilidad morfométrica en organismos indeterminados por lo que no puede ser considerado característico de la forma geométrica básica.

Al traslapar las nubes entre las dos poblaciones de organismos indeterminados se obtuvo el landmark 3, en hembras los landmarks 2, 3, 11, 12 y 15 y adicionalmente en machos los landmarks que indican el inicio de las aletas dorsales como característicos de la forma geométrica básica de cada sexo.

La forma geométrica básica de la especie *C. humboldtianum* está constituida por los landmarks 3, 11, 12 y 15. Partiendo de la premisa de que el landmark 1 presenta variabilidad morfométrica, se pueden considerar para un análisis de distancias lineales, la combinación de los landmarks aquí propuestos (forma geométrica básica de la especie) como mejores descriptores del crecimiento en talla de los peces.

Variabilidad en la forma

La comparación de las formas promedio entre subgrupos de cada población permitió observar que la población de Tepuxtepec dio indicios de mayor variabilidad morfométrica que la población de Villa Victoria. Se observó que en general los landmarks que componen la zona abdominal son indicativos de diferencias entre poblaciones.

Los resultados obtenidos para el RW1 en la población de Villa Victoria, indican variabilidad morfométrica de los landmarks referentes al inicio del hocico, segunda aleta dorsal, base de la aleta anal, inicio del hocico, bifurcaciones de la aleta caudal y la altura del abdomen (Figura 12). El análisis de varianza indicó diferencias significativas para los RWS1 y de acuerdo a la prueba LSD (Anexo 12) se tienen evidencias de que los organismos indeterminados presentan diferencias con el resto de la población (hembras y machos). En la Figura 11 se puede observar que los organismos indeterminados se ubican en la región negativa de los RWS1, mientras que en hembras y machos se observa una tendencia al centro del gráfico. Esto indica que los organismos indeterminados tienden a la forma corporal negativa del RW1 presentada en la Figura 12, mientras que al momento de diferenciarse sexualmente tienden a la forma promedio. Para el RW2 de la población se obtuvieron a el inicio del hocico, aleta ventral, base de la aleta anal, bifurcación de la aleta caudal e inicio de la aleta anal como indicativos de diferencias morfométricas. Las diferencias mostradas en los resultados de LSD (Anexo 13) indicaron diferencias morfométricas entre los tres subgrupos. En la Figura 12 se puede observar una separación de grupos, evidenciando al grupo de los organismos indeterminados hacia la región negativa, mientras que en hembras y machos no es muy evidente la separación. En organismos indeterminados se observa que la aleta ventral se desplaza en dirección a la primera aleta dorsal, haciendo evidente que presentan formas más elongadas. Los resultados para la aleta anal indican que en indeterminados esta aleta es de menor tamaño que la de hembras y machos.

Para la población de Tepuxtepec en la Figura 13 se observa la separación de 3 grupos en el plano del RWS1, el análisis de varianza y la prueba LSD indican diferencias significativas entre los tres subgrupos de esta población. Se descartó el RW2 como indicativo de variabilidad morfométrica, ya que no se observó una clara separación de grupos en la Figura 13, además de que se observan 2 datos extraordinarios que pudieron influir en que el valor de p fuera cercano a la zona de rechazo. Los resultados obtenidos para el RW1 en la población de Tepuxtepec, indican variabilidad morfométrica en los márgenes del opérculo, inicio del hocico, aleta ventral, fin de la aleta anal y bifurcaciones de la aleta caudal (Figura 14). En la Figura 13 para el RWS1 se observan a los organismos indeterminados ubicados en la región negativa, hembras en el centro del gráfico y machos en la región positiva, teniendo evidencias de que los organismos indeterminados presentan una tendencia a la forma corporal negativa, hembras a la forma promedio y machos a la forma positiva (véase Figura 14). Por tanto es de esperarse que de acuerdo con el desplazamiento del inicio del hocico, se presente en organismos indeterminados un tamaño del maxilar inferior mayor que el observado para hembras y aún mayor al de machos. La aleta ventral presenta variabilidad que puede repercutir en la altura de la zona pectoral-abdominal, mostrando a organismos

indeterminados con forma corporal más elongada que la de hembras y machos. El tamaño de la aleta anal muestra diferencias entre los tres subgrupos, indicando aletas anales más pequeñas en organismos indeterminados que en hembras y en hembras más pequeñas que en machos. La aleta caudal representa diferencias en el tamaño y la apertura de las bifurcaciones, teniendo a organismos indeterminados con aletas más cortas y estrechas, a hembras con aletas caudales más largas y abiertas que en indeterminados y para machos aletas más grandes y abiertas que indeterminados y hembras.

La comparación de formas promedio mostradas en la Figura 15 indica de manera cualitativa que existen diferencias entre organismos de Villa Victoria y Tepuxtepec. Las zonas que evidencian estas diferencias son la zona pectoral y abdominal ya que al traslapar las formas promedio obtenidas en organismos indeterminados, hembras y machos de ambas poblaciones se observó que la población de Villa Victoria en general presenta formas corporales más elongadas que la población de Tepuxtepec.

El RW1 indicó deformaciones parciales en el margen inferior del opérculo, inicio de la aleta ventral, inicio de la aleta anal, primera y segunda aleta dorsal, termino de la aleta anal y la bifurcación de la aleta caudal. Los resultados en el análisis de varianza demuestran que no existen diferencias entre las dos poblaciones de organismos indeterminados para el RW1 y en la Figura 16 se observa que los organismos indeterminados se ubican en la región negativa de RWS1, lo que indica que los organismos indeterminados tienden a la forma corporal negativa mostrada en la Figura 17. Se obtuvieron diferencias significativas entre hembras y machos de ambas poblaciones, en la Figura 16 se pudo observar que los organismos de Tepuxtepec se ubicaron en le región positiva del plano RWS1, mientras que las hembras y machos de Villa Victoria hacia el centro del mismo plano. Estos resultados indican que las hembras y machos de Tepuxtepec tienden a la forma positiva mostrada en la Figura 17, mientras que hembras y machos de Villa Victoria tienden a la forma promedio.

Para el RW2 el análisis de varianza arrojó que no existen diferencias significativas en hembras, pero si entre indeterminados y machos. El RW2 indica variabilidad morfométrica en el margen superior del opérculo y el inicio de la aleta ventral. En la Figura 16 observamos que la mayoría de los puntos tienden a agruparse en el centro del plano del RWS2. La separación de grupos no es clara, y no es posible asumir diferencias morfométricas entre poblaciones para la configuración de landmarks deformada en el RW2. Únicamente podemos concluir que las hembras de ambas poblaciones tienden a la deformación positiva (Figura 17), mostrando abdómenes más prominentes que machos e indeterminados, ya que estos se agruparon en mayor parte al centro del RW2 por lo cual tienden a la forma promedio.

Las zonas que presentaron mayor variabilidad morfométrica fueron la zona cefálica, zona pectoral, zona abdominal, zona de la aleta caudal y aleta anal. Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

La variabilidad en la zona cefálica obtenida a partir de distancias lineales indicó en su mayoría que existe una tendencia de aumento en la proporción del maxilar inferior (excepto en machos de Villa Victoria), en este capítulo se pudo demostrar que esa variabilidad es causada por la variabilidad en el inicio del hocico. En la zona pectoral y abdominal fue posible demostrar que la variabilidad es causada por los landmarks inicio de la aleta ventral e inicio de la aleta anal, visualizando que en organismos diferenciados sexualmente estos landmarks tienden a alejarse de la región dorsal. Para la aleta anal fue posible identificar al landmark 10 como indicativo de la variabilidad observada en el capítulo anterior. Para la variabilidad

observada en la aleta caudal se pudo corroborar que el tamaño de las bifurcaciones presentó variabilidad.

Los resultados obtenidos para la variabilidad morfométrica del capítulo anterior coinciden en su mayoría con los resultados expuestos en este capítulo. La visualización del resultado de manera gráfica permite identificar los landmarks que presentan variabilidad. Esto representa una ventaja, ya que al complementar ambos métodos se pueden explicar las tendencias potenciales obtenidas en el capítulo anterior a partir de diferencias en la ubicación de los landmarks.

Repercusiones del medio en la forma de *Chirostoma humboldtianum*

La plasticidad fenotípica es la capacidad de un organismo para modificar su morfología en respuesta a las condiciones ambientales, ha sido propuesta como una estrategia adaptativa en ambientes cambiantes (Schlichting y Pigliucci, 1998; Imre *et al.*, 2002). En ictiología se asume que las diferencias morfométricas son causadas por factores ambientales ya que no siempre se puede probar experimentalmente que estas diferencias se basen en divergencias genéticas (Barlow, 1961). Albertson *et al.* (2003) demuestra que la variabilidad morfométrica de la zona cefálica en cíclicos, es afectada por relativamente pocos genes y sus diversas manifestaciones en función del medio. Por lo que es de esperarse que en otros peces, la variabilidad morfométrica se deba a adaptaciones al medio y no a un cambio del genoma.

La zona cefálica de la especie *Chirostoma humboldtianum* experimenta variabilidad, se pudo evidenciar que existen diferencias entre organismos de la misma población. Klingenberg *et al.* (2003), menciona que la forma del cráneo es afectada por la forma del aparato bucal. Se ha demostrado que la morfología del aparato bucal en peces está relacionada con los hábitos alimenticios (Meyer, 1987; Albertson y Kocher, 2001). Para *C. humboldtianum* se encontró que el inicio del hocico presenta variabilidad, repercutiendo en el tamaño de la mandíbula inferior. En un trabajo realizado con larvas de *C. humboldtianum*, Figueroa-Lucero *et al.* (2004), sugiere que la succión es el principal mecanismo para la alimentación de esta especie en estado larvario y que por la naturaleza protráctil de la cavidad bucal, el tamaño de la boca y sus estructuras no dependen directamente del tamaño de la presa. Los resultados obtenidos en esta tesis para juveniles y adultos indican que, los organismos indeterminados presentan mandíbulas inferiores de mayor proporción que en hembras y aun mayor que las de machos. Si bien, los organismos poseen una cavidad bucal protráctil, es posible que el tamaño del maxilar inferior represente una mayor capacidad de expansión en organismos con maxilares mayores. Esto explicaría que en organismos indeterminados (tallas menores), la tendencia a desarrollar maxilares mayores se deba a adaptaciones en función del tamaño de presa. Para probar lo anterior es recomendable realizar un análisis de contenidos estomacales y su correlación con el tamaño del maxilar.

Las diferencias intra-poblacionales (indeterminados, hembras y machos) del tamaño de abdomen podrían explicarse por el volumen que ocupan las gónadas en la cavidad visceral. Explicando que los organismos indeterminados en ambas poblaciones tienden a ser más elongados que hembras y machos. Las diferencias morfométricas entre hembras y machos sugieren, que las gónadas de machos ocupan menor volumen que las de hembras.

Las diferencias inter-poblacionales para el tamaño del abdomen, sugieren formas más elongadas en la población de Villa Victoria. La temperatura es un factor determinante en la

elongación de algunos peces. Las formas corporales elongadas son un mecanismo de adaptación a condiciones de baja temperatura, ayudando a disminuir el metabolismo y debido a la viscosidad del medio permite un mejor desplazamiento (Fuiman y Batty, 2000). En larvas de róbalo la temperatura del agua influye en la forma corporal, teniendo a 15°C el crecimiento de larvas más elongadas que a 20°C. Otro factor determinante de variabilidad morfométrica es la condición corporal (Fitzgerald *et al.*, 2002). Desafortunadamente, para este trabajo no se cuenta con datos de temperatura, ni se conoce la condición corporal de los organismos. Para futuros trabajos se recomienda considerar dichos factores, como posibles causantes de diferencias entre poblaciones. Los cuerpos elongados permiten una respuesta rápida para el escape de depredadores, y es común en especies que requieren recorrer distancias largas (Webb, 1978). De acuerdo a los resultados obtenidos, potencialmente los organismos de Villa Victoria se encuentran mejor adaptados a un medio más frío y se desplazan con menos dificultad que los organismos de Tepuxtepec.

Los hábitos natatorios presentan una relación directa con la forma corporal en peces (Wardle *et al.*, 1995). Ya se ha mencionado que las formas corporales elongadas facilitan el desplazamiento en el medio acuático. La relación desplazamiento-forma ha sido estudiada en diferentes grupos (Barlow, 1961; Sfakiotakis *et al.*, 1999; Lauder, 2000; Blake, 2004), pero los resultados pueden ser contradictorios en otras especies, es difícil explicar la relación medio-forma, p. e. en estudios realizados en carpas se obtuvo que la profundidad del cuerpo aumenta por la presencia de un depredador, acondicionando a las carpas con mayor musculatura para poder escapar (Stabell y Lwin, 1997; Domenici *et al.*, 2008), sin embargo, los peces con dorsos más gruesos normalmente presentan formas poco elongadas. Con respecto a las aletas, algunos autores coinciden en que las aletas caudales presentan una relación directa con la aceleración de los peces (Lauder, 2000; Wardle *et al.*, 1995; Westneat, 1996; Westneat y Walker, 1997). Indicando que peces con aletas caudales grandes tiene mayor propulsión, útil para el nado en aguas con movimiento (Imre *et al.*, 2002). En las poblaciones estudiadas de *C. humboldtianum*, existen diferencias morfométricas inter-poblacionales en el tamaño de la aleta caudal y aleta anal. No se conoce con certeza la causa de estas diferencias entre subgrupos, pero se puede concluir que existen diferencias en los hábitos natatorios de juveniles y adultos, aún dentro de la misma población

CONCLUSIONES

Las variables características de cada población, sexo y de la especie *C. humboldtianum* mostradas en el capítulo anterior, no necesariamente involucran zonas con nula variabilidad morfométrica.

La forma geométrica básica para la población de Villa Victoria está constituida por los landmarks 2 (margen superior del opérculo), 3 (parte basal del maxilar inferior), los landmarks que indican el inicio de la aleta caudal (L11 y L12) y fin de la línea plateada (L15).

La forma geométrica básica para la población de Tepuxtepec está constituida por los landmarks, 3 (parte basal del maxilar inferior), los landmarks que indican el inicio de la aleta caudal (L11 y L12) y fin de la línea plateada (L15). El landmark 2 (margen superior del opérculo) no fue considerado ya que dio indicios de variabilidad en organismos indeterminados.

La forma geométrica básica de la especie *C. humboldtianum* está constituida por los landmarks 3 (parte basal del maxilar inferior), los landmarks que indican el inicio de la aleta caudal (L11 y L12) y fin de la línea plateada (L15).

Se pueden considerar para un análisis de distancias lineales, la combinación de los landmarks aquí propuestos (forma geométrica básica de la especie) como mejores descriptores del crecimiento en talla de los peces, alternativamente a la longitud estándar y longitud total.

Se identificaron 5 zonas corporales indicativas de variabilidad morfométrica: zona cefálica, zona pectoral, zona abdominal, aleta anal y zona de la aleta caudal.

Las diferencias entre poblaciones se dan únicamente en la comparación de organismos adultos, mostrando abdómenes más prominentes en la población de Tepuxtepec, cabezas más redondeadas y pedúnculos más gruesos.

La variabilidad morfométrica observada en la zona cefálica de ambas poblaciones se debe a variabilidad en el inicio del hocico. Esta variabilidad indica un mayor tamaño de los maxilares inferiores en juveniles que en hembras y machos.

No se puede probar que, la variabilidad mostrada en el maxilar inferior se de en función del tamaño de presa, por lo que es recomendable realizar estudios de apertura bucal, estrategias y mecánica de alimentación, y de contenido estomacal para afirmar o descartar tal supuesto.

El desarrollo gonádico influye en la forma corporal de *C. humboldtianum*. En el área de acuicultura, el conocimiento de la forma en función del estadio gonádico, sería de gran utilidad, por lo que es recomendable considerar el estadio gonádico para futuros trabajos morfométricos.

De acuerdo con la forma corporal, los organismos de Villa Victoria presentan menor resistencia para desplazarse en el medio y están mejor adaptados a un clima frío.

En función del tamaño de la aleta caudal, los organismos de Tepuxtepec son más veloces que los de Villa Victoria.

No se pudo explicar la variabilidad intra-poblacional del tamaño de la aleta anal.

REFERENCIAS

- Adams, D.C., Rohlf, F.J., Slice, D.E., 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the "revolution". Italian Journal of Zoology 71, 5-16.
- Alaye, R.N., 1993. El Pescado Blanco (género: *Chirostoma*) del Lago de Pátzcuaro, Michoacan, composición de especies. Ciencia Pesquera 9, 113-128.
- Albertson, R.C., Kocher, T.D., 2001. Assessing morphological differences in an adaptative trait: a landmark-based morphometric approach. Journal of Experimental Zoology 289, 385-403.
- Albertson, R.C., Streelman, J.T., Kocher, T.D., 2003. Genetic basis of adaptative shape differences in the cichlid head. Journal of Heredity 94, 291-301.
- Álvarez del Villar, J., 1950. Claves para la determinación de especies en los peces de las aguas continentales mexicanas. Secretaria de Marina, México, D. F., pp. 136.
- Álvarez del Villar, J., 1970. Peces mexicanos (claves). Dirección General de Pesca e Industrias Anexas, México, pp. 166.
- Álvarez del Villar, J., Navarro, L., 1957. Los peces del Valle de México. Dirección General de Pesca e Industrias Conexas, México, pp. 62.
- Arredondo Figueroa, J.L., 1976. Especies acuáticas de valor alimenticio introducidas en México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., pp. 40.
- Arredondo Figueroa, J.L., 1998. Sistemática molecular y poblacional de especies del género *Chirostoma* (Pisces: Atherinidae). CONABIO, pp. 32.
- Barbour, C.D., 1973a. The systematics and evolution of the genus *Chirostoma* Swaison (Pisces, Atherinidae). Tulane Studies of Zoology and Botany 18, 97-141.
- Barbour, C.D., 1973b. A biogeographical history of *Chirostoma* (Pisces:Atherinidae): A species flock from the Mexican Plateau. COPEIA 3, 533-556.
- Barbour, C.D., Chernoff, B., 1984. Comparative morphology and morphometrics of the pescados blancos (genus *Chirostoma*) from lake Chapala, México. In: Echelle, A.A.K. (Ed.), Evolution of Fish Species Flocks. University of Maine Press, Toronto, pp. 111-127.

- Barlow, G.W., 1961. Causes and significance of morphological variation in fishes. *Systematic Zoology* 10, 105-117.
- Barriga Sosa, I.A., 2001. Variabilidad morfométrica, merística y molecular de especies del género *Chirostoma* (Pices: Atherinopsidae), *Ciencias Biológicas de la Salud*. Universidad Autónoma Metropolitana, México, pp. 248.
- Barriga Sosa, I.A., Ibañes Aguirre, A.L., Arredondo Figueroa, J.L., 2002. Morphological and genetic variation in seven species of the endangered *Chirostoma "humboldtianum" species group* (Atheriniformes: Atherinopsidae). *Revista de Biología Tropical* 50, 199-216.
- Bermúdez Tobón, A., 2005. Caracterización morfológica de las poblaciones de *Agononida longipes* y *Munida flinti* (Crustacea: Decapoda: Galatheidae) en el Mar Caribe colombiano, Departamento de Biología. Universidad de Colombia, Bogotá, pp. 100.
- Blake, R.W., 2004. Review fish functional desing and swimming performance. *Journal of Fish Biology* 65, 1193-1222.
- Bookstein, F.L., 1989a. Principal Warps: Thin-Plate Splines and the descomposition of deformations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 2, 567-585.
- Bookstein, F.L., 1989b. "Size and shape": a comment on semantics. *Systematic Zoology* 38, 173-180.
- Bookstein, F.L., 1991. *Morphometric tools for landmark data*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bookstein, F.L., Chernoff, B., Elder, R.L., Humphries, J.M.J., Smith, G.R., Strauss, R.E., 1985. *Morphometrics in evolutionary biology*. Academy of Natural Sciences Press, Philadelphia.
- Bronte, C.R., Moore, S.A., 2007. Morphological variation of siscowet lake trout in Lake Superior. *American Fisheries Society* 136, 509-517.
- Cadrin, S., Vaughn, M.S., 2005. Morphometric variation of yellowtail flounder. *Journal of Marine Science* 62, 683-694.
- Cailliet, G.M., Love, M.S., Ebeling, A.W., 1986. *Fishes a field and laboratory manual on their structure, identification, and natural history*. Wadsworth Publishing company, Belmont, California.
- Chernoff, B., 1986. Systematics of american atherinid fishes of genus *Atherinella*. I. The sugenus *Atherinella*. *Proceeding of the academy of natural sciences of Philadelphia* 138, 86-188.

- De Buen, F., 1945. Investigaciones sobre ictiología mexicana. I. Atherinidae de aguas continentales de México. *Anales del Instituto de Biología* 16, 475-532.
- De la Cruz Agüero, G., Moncayo López, M.E., 1983. Análisis de la variabilidad en una población de *Chirostoma humboldtianum* (Pisces, Atherinidae). Congreso Nacional de Zoología, Escuela Normal Superior, Coahuila.
- Díaz Pardo, E., 1998. Estudio filogenético y taxonómico en especies endémicas del género Poblana De Buen (Pisces: Atherinidae). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Zoología, pp. 40.
- Domenici, P., Turesson, H., Brodersen, J., C., B., 2008. Predator-induced morphology enhances escape locomotion in Crucian Carp. *Proceedings Biological Sciences/ The Royal Society* 22, 195-201.
- Dryden, I.L., Mardia, K.V., 1998. *Statistical shape analysis*. Wiley & Sons, Chichester.
- Dyer, B.S., 2000. Revisión sistemática de los pejerreyes de Chile (Teleostei, Atheriniforme) systematic review of silverside fishes of Chile (Teleostei, Atheriniformes). *Estudios Oceanológicos* 19, 99 - 127.
- Dyer, B.S., Chernoff, B., 1996. Phylogenetic relationships among atheriniform fishes (Teleostei: Atherinomorpha). *Zoological Journal of the Linnean Society* 117, 1-69.
- Echelle, A.A., Echelle, A.F., 1984. Evolutionary genetics of a "Species Flock": atherinid fishes on the Mesa Central of México. In: Echelle, A.A.K. (Ed.), *Evolution of Fish Species Flocks*. Univ. Maine Press, Toronto, pp. 93-110.
- Figuerola-Lucero, G., Meza-González, O., Hernández-Rubio, M.C., Barriga-Sosa, I.D.L.A., Rodríguez-Canto, A., Arredondo-Figueroa, J.L., 2004. Growth, survival and mandible development in the larvae of the shortfin silverside *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes) (Atheriniformes: Atherinopsidae) under laboratory conditions. *Aquaculture* 242, 689-696.
- Fink, W.L., 1990. Data acquisition for morphometric analysis in systematic biology. In: Rohlf, F.J., Bookstein, F.L. (Eds.), *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*. The University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor, Michigan, pp. 9-19.
- Fitzgerald, D.G., Nanson, J.W., Todd, T.N., Davis, B.M., 2002. Application of truss analysis for the quantification of changes in fish condition. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery* 9, 115-125.
- Frieb, M., 2003. An application of the relative warps analysis to problems in human paleontology - whit notes on raw data quality. *Image Anal Stereol* 22, 63-72.

- Fuiman, L., Batty, R., 2000. What a drag it is getting cold: partitioning the physical and physiological effects of temperature on fish swimming. *Journal of Experimental Biology* 200, 1745-1755.
- Gelman, A., Hill, J., 2007. *Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gonzalez-Díaz, A.A., Díaz-Pardo, E., Soria-Barreto, M., Rodiles-Hernandez, R., 2005. Análisis morfométrico de los peces del grupo, género *Profundulus* (Cyprinodontiformes: *Profundulidae*), en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76, 55-61.
- Gutiérrez Oliva, H.I., 2007. Medición de parámetros morfométricos por medio de imágenes digitalizadas. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, México, pp. 40.
- Gutiérrez Oliva, H.I., Reyes Feliciano, R., Valencia Hernandez, A., Tapia, G., M., 2006. X Congreso Nacional de ictiología. In: Mexicana, S.I. (Ed.), *Crecimiento en tiempo de dos poblaciones de *Chirostoma humboldtianum* por el método de Corrimientos de Talla*. Sociedad Ictiológica Mexicana A. C, Universidad Autónoma de Querétaro.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Hammer & Harper.
- Hard, J.J., Winans, G.A., Richardson, J.C., 1999. Phenotypic and genetic architecture of juvenile morphometry in Chinook Salmon. *The journal of heredity* 90, 597-606.
- Harvati, K., 2002. Models of shape variation between and within species and the neanderthal taxonomic position: a 3D Geometric Morphometrics approach based on temporal bone morphology. In: Mafart, B., Delingette, H. (Eds.), *Three-Dimensional Imaging in Paleoanthropology and Prehistoric Archaeology*. University of Liège, University of Liège, Belgica, pp. 7.
- Hubbs, C.L., Lagler, K.F., 1941. *Guide to the Great Lakes and tributary waters*, Cranbrook Institute of Science Bulletin. Cranbrook Institute of Science, pp. 100.
- Humphries, J.M., Bookstein, F.L., Chernoff, B., Smith, G.R., Elder, R.L., Poss, S.G., 1981. Multivariate discrimination by shape in relation to size. *Systematic Zoology* 30, 291-308.
- Imre, I., Mc Laughlin, R.L., Noakes, D.L.G., 2002. Phenotypic Plasticity in brook charr: change in caudal fin induced by water flow. *Journal of Fish Biology* 61, 1171-1181.
- Jiménez, B.M.D.L., 1995. Evaluación de la pesquería multiespecífica de charales (*Chirostoma* spp., Pisces, Atherinidae) del Lago de Patzcuaro, Michoacán, México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México* 66, 205-231.

- Jordan, D.S., Hubbs, C.L., 1919. A monographic review of the family Atherinidae or Silversides. In: Ichthyology, S.i. (Ed.). Stanford University, pp. 87.
- Kendall, D.G., 1977. The diffusion of shape. *Advances in Applied Probability* 9, 428-430.
- Klingenberg, C.P., Barluenga, M., Meyer, A., 2003. Body shape variation in cichlid fishes of *Amphilophus citrinellus* species complex. *Biological Journal of The Linnean Society* 80, 397-408.
- Lauder, G.V., 2000. Function of the caudal fin during locomotion in fishes: kinematics, flow visualization, and evolutionary patterns. *American Journal* 40, 101-122.
- Macleod, N., 1990. Digital images and automated image analysis systems. In: Rohlf, F.J., Bookstein, F.L. (Eds.), *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*. The University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor, Michigan, pp. 21-35.
- Marcus, L.F., 1990. Traditional Morphometrics. In: Rohlf, F.J., Bookstein, F.L. (Eds.), *Proceedings of The Michigan Morphometrics Workshop*. The University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor, Michigan, pp. 77-122.
- Martínez Palacios, C.A., Barriga Tovar, E., Taylor, J.F., Ríos Durán, G., Ross, L.G., 2002. Effect of temperature on growth and survival of *Chirostoma estor estor*, Jordan 1879, monitored using a simple video technique for remote measurement of length and mass of larval and juvenile fishes. *Aquaculture* 209 369–377.
- Martínez Palacios, C.A., Morte, J.C., Tello Ballinas, J.A., Toledo Cuevas, M., Ross, L.G., 2004. The effects of saline environments on survival and growth of eggs and larvae of *Chirostoma estor estor* Jordan 1880 (Pisces: Atherinidae). *Aquaculture* 238, 509-522.
- Matthew, R.T., 2002. Morphological discrimination of *Noturus stigmosus* and *N. eleutherus* (Siluriformes: Ictaluridae) in the Ohio River Basin. *Southeastern Naturalist* 1, 325-338.
- Matthews, W.J., 1998. *Patterns in freshwater fish ecology*. Springer.
- Merz, J.E., Merz, W.R., 2004. Morphological features used to identify Chinook Salmon sex during fish passage. *The Southwest Naturalist* 49, 197-202.
- Meyer, A., 1987. Phenotypic Plasticity and Heterochrony in *Cichlasoma managuense* (Pisces, Cichlidae) and their implications for speciation in cichlid fishes. *First Publication in: Evolution* 41, 1357-1369.
- Miller, R.R., 2005. *Freshwater fishes of México*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Narváez B., J.C., Acero P., A., Blanco R., J., 2005. Variación morfométrica en poblaciones naturalizadas y domesticadas de la tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (Teleostei:

- Cichlidae) en el Norte de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 29, 383-394.
- Navarrete, N.A., Cházaro, O.S., 1992. Espectro trófico del charal *Chirostoma humboldtianum* del embalse San Felipe Tiacaque, Estado de México. *Revista de Zoología ENEP Iztacala UNAM* 3, 28-34.
- Negi, R.S., Nautiyal, P., 2002. Analysis of growth pattern and variation in some morphometric characters of sympatric Hill Stream teleosts *Barilius bendelisis* and *Barilius vagra*. *Asian Fisheries Society* 15, 335-346.
- Pardo, R., Scott, S., Vila, I., 2005. Analisis de formas en especies chilenas del genero *Trichomycterus* (Osteichthyes: Siluriformes) utilizando Morfometria Geométrica. *Gayana* 69, 180-183.
- Pineda Santis, H., Restrepo, L.F., Olivera Ángel, M., 2004. Comparación morfométrica entre machos y hembras de Cachama Negra (*Colossoma macropomum*, Cuvier 1818) mantenidos en estanques. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 17, 24-29.
- Richtsmeier, J.T., Deleon, B., Lele, S.R., 2002. The promise of Geometric Morphometrics. *Yearbook of Physical Anthropology* 45, 63-91.
- Rohlf, F.J., 1990a. Rotational fit (Procrustes) methods. In: Rohlf, F.J., Bookstein, F.L. (Eds.), *Proceedings of The Michigan Morphometrics Workshop*. The University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor, Michigan, pp. 227-237.
- Rohlf, F.J., 1990b. Morphometrics. *Annual Review of Ecology and Systematics* 21, 299-316.
- Rohlf, F.J., 2002. Geometric morphometrics and phylogeny. In: Forey, P., Macleod, N. (Eds.), *Morphology, shape and phylogenetics*. Francis & Taylor, London, pp. 175-193.
- Rohlf, F.J., 2004. TpsDig. Ecology & Evolution, SUNY at Stony Brook, State University of New York at Stony Brook.
- Rohlf, F.J., Bookstein, F.L., 1990. Data acquisition. In: Rohlf, F.J., Bookstein, F.L. (Eds.), *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*. The University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor, Michigan, pp. 379.
- Rojas Carrillo, P.M., 2003. Cultivo de pescado blanco del Lago de Pátzcuaro. Una revisión de las investigaciones del Instituto Nacional de la Pesca. In: Pesca, I.N.d.l. (Ed.), *Historia y Avances del Cultivo de Pescado Blanco*. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México, D. F., pp. 15-27.
- Rosas, M., 1970. Pescado blanco (*Chirostoma estor*), su fomento y cultivo en México. Instituto Nacional de Pesca, Pátzcuaro, Michoacan, pp. 98.

- Schlichting, C.D., Pigliucci, M., 1998. Phenotypic evolution: a reaction norm perspective. Sunderland.
- Sfakiotakis, M., Lane, D.M., Davies, B.C., 1999. Review of fish swimming modes for aquatic locomotion. *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 24, 237-252.
- Solórzano, P.A., 1961. Contribución al conocimiento de la biología del charal prieto del Lago de Pátzcuaro (*Chirostoma bartoni* Jordan y Everman, 1896). Secretaria de Industria y Comercio, México, pp. 70.
- Solórzano, P.A., 1963. Algunos aspectos biológicos del pescado blanco del Lago de Pátzcuaro (*Chirostoma estor* Jordan, 1879). Dirección general de Pesca e Industrias Conexas, pp. 15.
- Stabell, O.B., Lwin, M.S., 1997. Predator-induced phenotypic changes in Crucian Carp are caused by chemical signals from conspecifics. *Environmental Biology of Fishes* 49, 145-149.
- Stevens, W.P., 1997. Reconstruction of three-dimensional anatomical landmark coordinates using video-based stereophotogrammetry. *Journal Anatomy* 191, 277-284.
- Strauss, R.E., Bookstein, F.L., 1982. The Truss: body form reconstructions in morphometrics. *Systematic Zoology* 31, 113-135.
- Thompson, D.W., 1992. On growth and form: the complete revised edition. Dover Publications, New York.
- Turan, C., 1999. A note on the examination of morphometrics differentiation among fish populations: The Truss System. *Turkish Journal of Zoology* 23, 259-263.
- Turan, C., Ergüden, D., 2004. Genetic and morphologic structure of *Liza abu* (Heckel, 1843) populations from the Rivers Orontes, Euphrates and Tigris. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 28, 729-734.
- Valencia Hernandez, A., 2008. Coordinator. Proyecto PAPIIT IN223408, UNAM.
- Vega, M.E., Diaz, F., Espina, S., 2004. Balance energético de juveniles de *Chirostoma estor* (Jordan, 1879) (Pisces, Atherinopsidae) en relación con el tamaño corporal. *Hidrobiológica* 14, 113-120.
- Villagómez González, C.M., Islas Solís, H., 1999. Crecimiento corporal de *Chirostoma humboldtiaum* en la presa Villa Victoria, Edo. de México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., pp. 72.

- Wardle, C.S., Videler, J.J., Altringham, J.D., 1995. Review tuning in to fish swimming waves: body form, swimming mode and muscle function. *The Journal of Experimental Biology* 198, 1629-1636.
- Webb, P.W., 1978. Fast-start performance and body form in seven species of teleost fish. *Journal of Experimental Biology* 74, 211-226.
- Westneat, M.W., 1996. Functional morphology of aquatic flight in fishes: kinematics, electromyography, and mechanical modeling of labriform locomotion. *American Zoology* 36, 582-598.
- Westneat, M.W., Walker, J.A., 1997. Motor patterns of labriform locomotion: kinematic and electromyographic analysis of pectoral fin swimming in the labriform fish *Gomphosus Varius*. *The Journal of Experimental Biology* 200, 1881-1893.
- Wiens, J.J., 2001. Character analysis in morphological phylogenetics: problems and solutions. *Systematics Biology* 50, 689–699.
- Winans, G.A., 1984. Multivariate morphometric variability in pacific salmon: technical demonstration. *Canadian Journal of Fish Aquatic Science* 41, 1150-1159.
- Zelditch, M.L., Swiderski, D.L., Sheets, H.D., Fink, W.L., 2004. *Geometric Morphometrics for biologist: a primer*. Elsevier Academic Press, New York.
- Zhang, Z., 2002. A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 22 1334- 2000.

ANEXOS

Anexo 1. **Posibles Variables Redundantes para la población de Villa Victoria.** Variables morfológicas con valores de $R^2 > 97.5\%$ para todos los organismos de la población de Villa Victoria.

Variables	Ordenada	Pendiente	R^2	Variables	Ordenada	Pendiente	R^2
L1_L5	-0.0502336	0.511987	98.8021%	L3_L12	0.034256	0.918251	99.6528%
L1_L6	-0.157445	0.425151	98.5043%	L3_L13	-0.181678	1.1226	99.3917%
L1_L7	-0.107409	0.644771	99.5922%	L3_L14	-0.144695	1.1157	99.5006%
L1_L8	-0.110544	0.598166	98.6658%	L4_L7	-0.187724	0.488621	98.2015%
L1_L9	-0.354324	0.791996	99.2335%	L4_L9	-0.413281	0.625993	97.9295%
L1_L10	-0.329384	0.853688	99.0644%	L4_L10	-0.408949	0.6741	97.9919%
L1_L11	-0.0381754	1.00134	99.9046%	L4_L11	-0.110587	0.831588	99.3852%
L1_L12	0.00840598	0.998107	99.8977%	L4_L12	-0.0505266	0.816874	99.2863%
L1_L13	-0.193904	1.19479	99.6209%	L4_L13	-0.274548	1.0259	99.2395%
L1_L14	-0.17888	1.19679	99.7124%	L4_L14	-0.224596	1.01329	99.3807%
L2_L7	-0.0789143	0.449344	98.1701%	L5_L11	0.0158532	0.491731	98.4787%
L2_L9	-0.330045	0.598115	97.971%	L5_L12	0.0419416	0.500337	98.5263%
L2_L10	-0.299473	0.665573	98.4783%	L5_L13	-0.135489	0.683981	98.0829%
L2_L11	-0.011244	0.807633	99.5042%	L5_L14	-0.155847	0.69876	98.409%
L2_L12	0.0251527	0.809896	99.4898%	L6_L11	0.0753893	0.614493	98.8475%
L2_L13	-0.162835	1.00017	99.2259%	L6_L12	0.153247	0.592705	98.6507%
L2_L14	-0.168069	1.00904	99.3824%	L6_L13	-0.0877566	0.807646	98.6688%
L3_L5	-0.0357991	0.447496	98.2213%	L6_L14	-0.015149	0.787836	98.8062%
L3_L7	-0.0955238	0.57782	99.2112%	L7_L11	0.0667964	0.359359	98.2788%
L3_L8	-0.0936923	0.512922	98.1244%	L7_L12	0.0762095	0.373564	98.4971%
L3_L9	-0.331227	0.720519	98.722%	L7_L13	-0.0834189	0.551377	97.6916%
L3_L10	-0.316974	0.774633	98.5603%	L7_L14	-0.118491	0.57015	98.113%
L3_L11	-0.0207322	0.928301	99.693%	L8_L11	0.0740797	0.432963	97.6515%

Anexo 2. Posibles Variables Redundantes para la población de Tepuxtepec. Variables morfométricas con valores de $R^2 > 97.5\%$ para todos los organismos de la población de Tepuxtepec.

Variables	Ordenada	Pendiente	R^2	Variables	Ordenada	Pendiente	R^2
L1_L5	-0.124646	0.522474	99.4709%	L4_L9	-0.261353	0.617173	99.3868%
L1_L6	-0.360077	0.471586	99.3044%	L4_L10	-0.20599	0.647586	98.8093%
L1_L7	-0.173884	0.652685	99.8044%	L4_L11	-0.0117554	0.834504	99.7582%
L1_L8	-0.32386	0.62449	99.665%	L4_L12	0.0295906	0.82272	99.7567%
L1_L9	-0.293823	0.778588	99.7496%	L4_L13	0.0464216	1.00037	99.7077%
L1_L10	-0.242212	0.830377	99.5458%	L4_L14	0.0516859	0.991971	99.6624%
L1_L11	-0.0302447	1.00086	99.9761%	L5_L6	-0.176415	0.246335	98.0231%
L1_L12	-0.0203712	1.00445	99.9696%	L5_L8	-0.211563	0.226894	98.3644%
L1_L13	0.0558843	1.16261	99.894%	L5_L11	0.09045	0.482708	99.356%
L1_L14	-0.0159885	1.17663	99.8799%	L5_L12	0.0575297	0.502897	99.4681%
L2_L4	-0.0508263	0.150248	98.0211%	L5_L13	0.188607	0.641671	99.3065%
L2_L5	-0.154671	0.341792	98.2424%	L5_L14	0.0457901	0.675091	99.4697%
L2_L6	-0.411075	0.333944	98.7675%	L6_L7	-0.0932375	0.313725	98.8489%
L2_L7	-0.204375	0.472562	99.2321%	L6_L9	-0.0996941	0.397968	98.7166%
L2_L8	-0.359119	0.466294	99.2655%	L6_L10	0.028423	0.397048	96.7404%
L2_L9	-0.327472	0.599854	99.3223%	L6_L11	0.179852	0.59785	99.5326%
L2_L10	-0.276842	0.659174	99.0565%	L6_L12	0.27639	0.570301	99.4934%
L2_L11	-0.0620161	0.822514	99.7933%	L6_L13	0.225197	0.763992	99.5266%
L2_L12	-0.0634776	0.831542	99.7803%	L6_L14	0.314978	0.735905	99.3512%
L2_L13	0.0299472	0.983016	99.7%	L7_L8	-0.111044	0.212438	98.3951%
L2_L14	-0.0666899	1.00437	99.6938%	L7_L11	0.141102	0.351774	99.2772%
L3_L5	-0.0577804	0.460774	99.2136%	L7_L12	0.0897166	0.378299	99.5088%
L3_L6	-0.255925	0.374427	98.7099%	L7_L13	0.239188	0.510631	99.063%
L3_L7	-0.102122	0.587236	99.6772%	L7_L14	0.0777593	0.548881	99.3446%
L3_L8	-0.232014	0.534153	99.2788%	L8_L9	-0.0546267	0.251097	98.1796%
L3_L9	-0.211116	0.708208	99.6497%	L8_L11	0.202413	0.433426	99.4172%
L3_L10	-0.156136	0.748325	99.2852%	L8_L12	0.300581	0.400741	99.2185%
L3_L11	0.045838	0.92859	99.8946%	L8_L13	0.239365	0.598784	99.352%
L3_L12	0.0738129	0.923433	99.8954%	L8_L14	0.335089	0.566416	99.0266%
L3_L13	0.116111	1.093	99.8275%	L9_L12	0.213238	0.251189	97.78%
L3_L14	0.0883303	1.09416	99.81075%	L9_L13	0.351163	0.384658	98.0124%
L4_L5	-0.123358	0.38261	98.7482%	L9_L14	0.204497	0.419969	98.3352%
L4_L7	-0.162902	0.502292	99.3961%	L11_L12	-0.202372	0.115064	97.787%
L4_L8	-0.276345	0.428615	98.4727%				

Anexo 3. **Posibles Variables Redundantes para Organismos Indeterminados.** Variables morfológicas con valores de $R^2 > 97.5\%$ para organismos indeterminados de ambas poblaciones.

Variable	Ordenada	Pendiente	R^2	Variable	Ordenada	Pendiente	R^2
L1_L7	-0.125858	0.645537	98.8907%	L2_L14	-0.0635072	0.984879	98.2017%
L1_L9	-0.340958	0.787197	97.8083%	L3_L7	-0.143941	0.591898	98.4175%
L1_L10	-0.323001	0.844128	97.797%	L3_L11	-0.0871964	0.948337	99.2052%
L1_L11	-0.0597408	1.00554	99.7663%	L3_L12	-0.067862	0.943882	99.1285%
L1_L12	-0.0505053	1.00865	99.7261%	L3_L13	-0.0503301	1.10542	98.3022%
L1_L13	-0.0135633	1.16081	99.1109%	L3_L14	-0.0843477	1.11099	98.3975%
L1_L14	-0.0723168	1.17604	99.1259%	L4_L11	-0.161719	0.855157	98.6168%
L2_L11	-0.0485268	0.811631	98.5346%	L4_L12	-0.130404	0.843991	98.5123%
L2_L12	-0.034392	0.81696	98.6094%	L4_L13	-0.131323	1.01296	97.5151%
L2_L13	-0.0002563	0.966384	98.2228%	L4_L14	-0.142832	1.01041	97.7536%

Anexo 4. **Posibles Variables Redundantes para Hembras.** Variables morfométricas con valores de $R^2 > 97.5\%$ para hembras de ambas poblaciones.

Variable	Ordenada	Pendiente	R^2	Variable	Ordenada	Pendiente	R^2
L1_L5	-0.0693664	0.519264	99.4334	L4_L5	-0.236699	0.391737	98.2752
L1_L6	-0.463022	0.477272	99.2379	L4_L7	-0.295527	0.513008	99.2029
L1_L7	-0.147007	0.651903	99.8031	L4_L8	-0.323148	0.433926	98.1378
L1_L8	-0.2812	0.622986	99.5942	L4_L9	-0.377355	0.627092	99.217
L1_L9	-0.262883	0.777987	99.7129	L4_L10	-0.116855	0.643566	98.7339
L1_L10	-0.0431822	0.818233	99.5753	L4_L11	-0.146875	0.844198	99.6875
L1_L11	-0.0296292	1.00077	99.9753	L4_L12	-0.0914477	0.831181	99.6946
L1_L12	-0.0183501	1.00397	99.9728	L4_L13	-0.09033	1.00807	99.6171
L1_L13	0.0566493	1.16063	99.8792	L4_L14	-0.0760979	0.999001	99.6247
L1_L14	-0.0149682	1.17415	99.8854	L5_L11	0.0302589	0.486308	99.3642
L2_L4	-0.115656	0.155896	98.1359	L5_L12	-0.0142457	0.507157	99.4604
L2_L5	-0.126105	0.339624	97.9653	L5_L13	0.132217	0.643112	99.3361
L2_L6	-0.579615	0.34466	98.1982	L5_L14	-0.0176518	0.676521	99.5359
L2_L7	-0.203762	0.472821	99.1306	L6_L7	-0.193922	0.323058	98.6231
L2_L8	-0.367953	0.467886	99.0156	L6_L9	-0.134893	0.403243	98.5872
L2_L9	-0.323208	0.600388	99.1922	L6_L11	0.164	0.600547	99.5655
L2_L10	-0.113974	0.648941	99.0535	L6_L12	0.299573	0.570078	99.5573
L2_L11	-0.0884634	0.823563	99.7745	L6_L13	0.212169	0.764251	99.5334
L2_L12	-0.0886213	0.832341	99.7639	L6_L14	0.334615	0.734123	99.438
L2_L13	0.00434084	0.982113	99.6529	L7_L11	0.109018	0.352874	99.3269
L2_L14	-0.0899747	1.0029	99.678	L7_L12	0.0386199	0.380528	99.516
L3_L5	-0.0770188	0.463063	99.1028	L7_L13	0.212028	0.509499	99.0831
L3_L6	-0.386637	0.382378	98.6376	L7_L14	0.0406867	0.547832	99.4363
L3_L7	-0.147372	0.591728	99.6507	L8_L11	0.0696495	0.440548	99.289
L3_L8	-0.225655	0.535678	99.267	L8_L12	0.207454	0.404995	99.1661
L3_L9	-0.246861	0.712471	99.6049	L8_L13	0.1111	0.603277	99.2585
L3_L10	-0.0052107	0.739925	99.3181	L8_L14	0.237242	0.569268	99.0278
L3_L11	-0.0159788	0.933101	99.8848	L9_L13	0.322817	0.38304	97.9682
L3_L12	0.0192812	0.92721	99.8884	L9_L14	0.171648	0.417975	98.4269
L3_L13	0.0534124	1.09555	99.8017	L10_L13	-0.0601335	0.384839	97.6397
L3_L14	0.0289166	1.09632	99.8086				

Anexo 5. **Posibles Variables Redundantes para Machos.** Variables morfométricas con valores de $R^2 > 97.5\%$ para machos de ambas poblaciones.

Variable	Ordenada	Pendiente	R^2	Variable	Ordenada	Pendiente	R^2
L1_L5	-0.107124	0.518289	99.4389%	L4_L8	-0.314833	0.427564	98.6076%
L1_L6	-0.510411	0.485761	99.1241%	L4_L9	-0.308641	0.617861	99.3237%
L1_L7	-0.142706	0.647405	99.7755%	L4_L10	-0.254112	0.645903	98.8118%
L1_L8	-0.312556	0.62005	99.6539%	L4_L11	-0.112189	0.842261	99.719%
L1_L9	-0.234135	0.770781	99.7435%	L4_L12	-0.0659399	0.830102	99.6817%
L1_L10	-0.213789	0.823036	99.4553%	L4_L13	-0.112069	1.01771	99.7155%
L1_L11	-0.0320764	1.00096	99.9677%	L4_L14	-0.0840626	1.00739	99.6296%
L1_L12	-0.0281435	1.00513	99.9536%	L5_L6	-0.202717	0.243574	97.7664%
L1_L13	0.00536983	1.17112	99.8817%	L5_L8	-0.326875	0.23459	97.542%
L1_L14	-0.0668709	1.18579	99.8639%	L5_L11	0.076435	0.486251	99.2628%
L2_L4	-0.0946455	0.151975	98.0103%	L5_L12	0.0413587	0.506351	99.4243%
L2_L5	-0.139047	0.338356	98.2188%	L5_L13	0.125917	0.653703	99.1488%
L2_L6	-0.544986	0.34509	98.1544%	L5_L14	-0.0159509	0.68752	99.3821%
L2_L7	-0.173049	0.467776	99.1835%	L6_L7	-0.0609833	0.306157	98.7428%
L2_L8	-0.352644	0.462132	99.3606%	L6_L9	-0.008025	0.385383	98.4197%
L2_L9	-0.26507	0.592211	99.3753%	L6_L11	0.251192	0.589233	99.3695%
L2_L10	-0.242258	0.651508	99.0306%	L6_L12	0.367071	0.560207	99.2381%
L2_L11	-0.0613346	0.822812	99.7693%	L6_L13	0.236278	0.765392	99.3836%
L2_L12	-0.0627682	0.831719	99.7356%	L6_L14	0.371115	0.733278	99.0702%
L2_L13	-0.0181265	0.991774	99.7138%	L7_L11	0.108337	0.357083	99.0598%
L2_L14	-0.110645	1.01328	99.7016%	L7_L12	0.0499647	0.384112	99.3927%
L3_L5	-0.0937581	0.460237	99.1219%	L7_L13	0.15777	0.524398	98.8958%
L3_L6	-0.43442	0.390142	98.1562%	L7_L14	-0.0074974	0.563688	99.2483%
L3_L7	-0.128423	0.586069	99.5988%	L8_L9	-0.167855	0.261789	97.9511%
L3_L8	-0.249073	0.530994	99.1673%	L8_L11	0.0954245	0.446011	99.3185%
L3_L9	-0.20887	0.704531	99.5667%	L8_L12	0.220674	0.411166	99.0827%
L3_L10	-0.17166	0.743678	99.1951%	L8_L13	0.0713372	0.621627	99.36%
L3_L11	-0.011345	0.932547	99.856%	L8_L14	0.223878	0.583956	98.9942%
L3_L12	0.0155239	0.927443	99.8436%	L9_L12	0.141267	0.26018	97.912%
L3_L13	0.00390314	1.10614	99.7847%	L9_L13	0.236105	0.401587	98.0413%
L3_L14	-0.0115699	1.1064	99.7637%	L9_L14	0.0862521	0.438019	98.3439%
L4_L5	-0.21012	0.386148	98.7221%	L11_L12	-0.227613	0.1177	97.4949%
L4_L7	-0.240942	0.505552	99.2748%				

Anexo 6. **Comparación de pendientes para las variables con $R^2 > 97.5\%$ de la población de Villa Victoria.** Se observa el valor de las pendientes para los tres subgrupos de la población de Villa Victoria y el valor de “p” para la comparación de pendientes. Las variables con asterisco resultaron redundantes para esta población al obtenerse valores de $p > 0.05$ en la comparación de pendientes de los tres subgrupos.

Variable	Indeterminados	Hembras	Machos	p
* L1_L5	0.523881	0.521545	0.495555	0.1876
* L1_L6	0.424835	0.426514	0.426409	0.9954
L1_L7	0.668716	0.648576	0.63112	0.0414
L1_L8	0.633672	0.607023	0.571168	0.0255
* L1_L9	0.800382	0.801651	0.792756	0.8928
* L1_L10	0.864707	0.829802	0.828874	0.4012
L1_L11	1.01616	0.989222	1.00818	0.0103
* L1_L12	1.00477	0.987076	0.998341	0.1805
* L1_L13	1.15112	1.18398	1.20975	0.0691
L1_L14	1.15506	1.18526	1.21374	0.0221
* L2_L7	0.48013	0.452883	0.443107	0.2609
* L2_L9	0.611224	0.607852	0.606626	0.9893
* L2_L10	0.673292	0.643077	0.648663	0.5515
* L2_L11	0.826338	0.795659	0.822405	0.1192
* L2_L12	0.815252	0.800011	0.817672	0.4744
* L2_L13	0.961156	0.989321	1.02237	0.1021
L2_L14	0.966268	0.998128	1.03315	0.0292
* L3_L5	0.468141	0.449194	0.438008	0.411
* L3_L7	0.613546	0.574313	0.570045	0.0529
L3_L8	0.560425	0.515832	0.489231	0.0218
* L3_L9	0.743067	0.722266	0.725863	0.7604
* L3_L10	0.799884	0.743383	0.753182	0.1905
L3_L11	0.958053	0.908147	0.939448	0.0056
* L3_L12	0.940389	0.899253	0.922409	0.0504
* L3_L13	1.0936	1.10397	1.14279	0.1435
* L3_L14	1.09054	1.09665	1.13665	0.0843
* L4_L7	0.516965	0.504734	0.479856	0.2193
* L4_L9	0.641675	0.647297	0.628912	0.7446
* L4_L10	0.68885	0.663871	0.6495	0.5463
* L4_L11	0.853193	0.831552	0.839976	0.617
* L4_L12	0.829374	0.818349	0.818132	0.8889
* L4_L13	0.988462	1.02761	1.04393	0.2013
* L4_L14	0.97913	1.01502	1.03133	0.152

L5_L11	0.488863	0.469844	0.517328	0.0144
L5_L12	0.481002	0.480567	0.521295	0.0285
L5_L13	0.623865	0.663513	0.715768	0.0109
L5_L14	0.631798	0.677433	0.734856	0.0008
* L6_L11	0.635353	0.594535	0.62189	0.1145
* L6_L12	0.607152	0.574726	0.592645	0.329
* L6_L13	0.769725	0.78975	0.825285	0.1633
* L6_L14	0.756392	0.770454	0.804278	0.1719
L7_L11	0.347194	0.34346	0.381792	0.0086
L7_L12	0.344852	0.36095	0.391793	0.0059
L7_L13	0.481685	0.536789	0.579854	0.0025
L7_L14	0.493368	0.555517	0.602913	0.0001
L8_L11	0.419907	0.406441	0.467291	0.0056

Anexo 7. **Comparación de pendientes para las variables redundantes de la población de Tepuxtepec.** Se observa el valor de las pendientes para los tres subgrupos de la población de Tepuxtepec y el valor de “p” para la comparación de pendientes. Las variables con asterisco resultaron redundantes para esta población al obtenerse valores de $p > 0.05$ en la comparación de pendientes de los tres subgrupos.

Variable	Indeterminados	Hembras	Machos	P
* L1_L5	0.528756	0.515808	0.519001	0.7825
* L1_L6	0.459765	0.473266	0.480957	0.3978
* L1_L7	0.631582	0.651192	0.649212	0.5525
* L1_L8	0.587484	0.626962	0.624915	0.2355
* L1_L9	0.781563	0.775141	0.772606	0.8839
* L1_L10	0.827851	0.817742	0.832627	0.2384
* L1_L11	0.996935	1.00194	0.999382	0.567
* L1_L12	1.01053	1.0041	1.00448	0.8565
* L1_L13	1.16041	1.155	1.16963	0.0596
* L1_L14	1.1858	1.16998	1.18547	0.0622
* L2_L4	0.150606	0.155012	0.150343	0.3794
* L2_L5	0.332597	0.329855	0.336711	0.6408
* L2_L6	0.301452	0.334054	0.3365	0.3631
* L2_L7	0.436291	0.465786	0.467249	0.5172
* L2_L8	0.41558	0.464271	0.463312	0.1771
* L2_L9	0.587191	0.591167	0.591606	0.9899
* L2_L10	0.640116	0.641926	0.658214	0.271
* L2_L11	0.802945	0.818241	0.818828	0.8108
* L2_L12	0.82025	0.826062	0.828756	0.8809
* L2_L13	0.965526	0.970067	0.987956	0.112
* L2_L14	0.995927	0.992369	1.01071	0.124
* L3_L5	0.470755	0.45362	0.458186	0.6676
* L3_L6	0.369626	0.373562	0.384328	0.2984
* L3_L7	0.571592	0.585058	0.585163	0.8213
* L3_L8	0.502188	0.53495	0.534637	0.5338
* L3_L9	0.718101	0.703879	0.703976	0.8718
* L3_L10	0.753153	0.734047	0.751582	0.2016
* L3_L11	0.933238	0.928767	0.92874	0.975
* L3_L12	0.938663	0.921797	0.924582	0.6214
* L3_L13	1.09953	1.0844	1.10244	0.053
* L3_L14	1.11341	1.08661	1.10382	0.0745
* L4_L5	0.392918	0.376175	0.380742	0.7019
* L4_L7	0.490662	0.50016	0.501267	0.913

* L4_L8	0.400771	0.428567	0.428727	0.7246
* L4_L9	0.632272	0.612689	0.614226	0.8201
* L4_L10	0.658685	0.632484	0.651118	0.2366
* L4_L11	0.84672	0.834324	0.835518	0.8949
* L4_L12	0.845582	0.820432	0.824301	0.578
* L4_L13	1.01461	0.991414	1.01109	0.0805
* L4_L14	1.01937	0.983984	1.00185	0.1315
* L5_L6	0.22844	0.248237	0.237785	0.1459
* L5_L8	0.206943	0.229427	0.229427	0.499
* L5_L11	0.472875	0.490279	0.483662	0.4875
* L5_L12	0.496926	0.509025	0.504547	0.6903
* L5_L13	0.634867	0.640615	0.651357	0.4477
* L5_L14	0.671267	0.674584	0.686325	0.3216
L6_L7	0.287565	0.317189	0.304063	0.0299
* L6_L9	0.404329	0.398081	0.386035	0.2414
* L6_L10	0.403962	0.385472	0.389866	0.8693
* L6_L11	0.605785	0.601852	0.588501	0.134
* L6_L12	0.591791	0.571431	0.561156	0.2014
* L6_L13	0.773211	0.759149	0.765168	0.746
* L6_L14	0.763722	0.731507	0.734631	0.6968
* L7_L8	0.213929	0.212014	0.215649	0.721
* L7_L11	0.368366	0.354163	0.353311	0.7438
* L7_L12	0.395172	0.379549	0.381015	0.6431
* L7_L13	0.53029	0.504323	0.520958	0.0972
L7_L14	0.568414	0.543178	0.561322	0.0304
* L8_L9	0.289003	0.247091	0.253579	0.1119
* L8_L11	0.479077	0.433187	0.436397	0.0888
L8_L12	0.45735	0.398151	0.40308	0.0282
L8_L13	0.644868	0.58972	0.612482	0.0033
L8_L14	0.627126	0.558692	0.576394	0.0322
* L9_L12	0.247783	0.254142	0.257991	0.7792
* L9_L13	0.379912	0.380255	0.398553	0.1149
* L9_L14	0.418031	0.415909	0.436393	0.0631
*L11_L12	0.106486	0.116581	0.11854	0.4913

Anexo 8. **Comparación de pendientes para las variables morfométricas redundantes de organismos indeterminados.** Valor de las pendientes en organismos indeterminados de Villa Victoria y Tepuxtepec. Las variables con asterisco resultaron redundantes al obtenerse pendientes similares ($p > 0.05$).

Variable	Villa Victoria	Tepuxtepec	p
L1_L7	0.668716	0.631582	0.0281
* L1_L9	0.800382	0.781563	0.5394
* L1_L10	0.864707	0.827851	0.2739
* L1_L11	1.01616	0.996935	0.1351
* L1_L12	1.00477	1.01053	0.6812
* L1_L13	1.15112	1.16041	0.7279
* L1_L14	1.15506	1.1858	0.2663
* L2_L11	0.826338	0.802945	0.3693
* L2_L12	0.815252	0.82025	0.8461
* L2_L13	0.961156	0.965526	0.8975
* L2_L14	0.966268	0.995927	0.399
L3_L7	0.613546	0.571592	0.0257
* L3_L11	0.958053	0.933238	0.195
* L3_L12	0.940389	0.938663	0.9319
* L3_L13	1.0936	1.09953	0.848
* L3_L14	1.09054	1.11341	0.4697
* L4_L11	0.853193	0.84672	0.7702
* L4_L12	0.829374	0.845582	0.4854
* L4_L13	0.988462	1.01461	0.4393
* L4_L14	0.97913	1.01937	0.4393

Anexo 9. **Comparación de pendientes para las variables morfométricas redundantes en hembras.** Valor de las pendientes de hembras en Villa Victoria y Tepuxtepec. Las variables con asterisco resultaron redundantes al obtenerse pendientes similares ($p > 0.05$).

Variable	Villa Victoria	Tepuxtepec	p
* L1_L5	0.521545	0.515808	0.7183
L1_L6	0.426514	0.473266	0.0041
* L1_L7	0.648576	0.651192	0.8249
* L1_L8	0.607023	0.626962	0.2162
* L1_L9	0.801651	0.775141	0.1184
*L1_L10	0.829802	0.817742	0.5807
L1_L11	0.989222	1.00194	0.0464
L1_L12	0.987076	1.0041	0.0106
*L1_L13	1.18398	1.155	0.0743
*L1_L14	1.18526	1.16998	0.3427
* L2_L7	0.452883	0.465786	0.4582
* L2_L9	0.607852	0.591167	0.4382
*L2_L10	0.643077	0.641926	0.9641
*L2_L11	0.795659	0.818241	0.1418
*L2_L12	0.800011	0.826062	0.0971
*L2_L13	0.989321	0.970067	0.3955
*L2_L14	0.998128	0.992369	0.7971
* L3_L5	0.449194	0.45362	0.7938
* L3_L7	0.574313	0.585058	0.4273
* L3_L8	0.515832	0.53495	0.3078
* L3_L9	0.722266	0.703879	0.299
*L3_L10	0.743383	0.734047	0.707
*L3_L11	0.908147	0.928767	0.0962
*L3_L12	0.899253	0.921797	0.0568
*L3_L13	1.10397	1.0844	0.3012
*L3_L14	1.09665	1.08661	0.5926
* L4_L7	0.504734	0.50016	0.7884
* L4_L9	0.647297	0.612689	0.1048
*L4_L10	0.663871	0.632484	0.2821
*L4_L11	0.831552	0.834324	0.8792
*L4_L12	0.818349	0.820432	0.9053
*L4_L13	1.02761	0.991414	0.1282
*L4_L14	1.01502	0.983984	0.1886
*L5_L11	0.469844	0.490279	0.195
*L5_L12	0.480567	0.509025	0.0608

*L5_L13	0.663513	0.640615	0.2856
*L5_L14	0.677433	0.674584	0.8799
*L6_L11	0.594535	0.601852	0.6516
*L6_L12	0.574726	0.571431	0.8318
*L6_L13	0.78975	0.759149	0.1494
*L6_L14	0.770454	0.731507	0.0827
*L7_L11	0.34346	0.354163	0.3666
*L7_L12	0.36095	0.379549	0.0824
*L7_L13	0.536789	0.504323	0.1019
*L7_L14	0.555517	0.543178	0.4592
L8_L11	0.406441	0.433187	0.0567

Anexo 10. **Comparación de pendientes para las variables morfométricas redundantes en machos.** Valor de las pendientes de machos en Villa Victoria y Tepuxtepec. Las variables con asterisco resultaron redundantes al obtenerse pendientes similares ($p > 0.05$).

Variable	Villa Victoria	Tepuxtepec	p
* L1_L5	0.495555	0.519001	0.1842
L1_L6	0.426409	0.480957	0.0045
* L1_L7	0.63112	0.649212	0.1935
L1_L8	0.571168	0.624915	0.0009
* L1_L9	0.792756	0.772606	0.2509
* L1_L10	0.828874	0.832627	0.8868
* L1_L11	1.00818	0.999382	0.2784
* L1_L12	0.998341	1.00448	0.5314
L1_L13	1.20975	1.16963	0.0271
* L1_L14	1.21374	1.18547	0.1537
* L2_L7	0.443107	0.467249	0.2084
* L2_L9	0.606626	0.591606	0.4819
* L2_L10	0.648663	0.658214	0.7401
* L2_L11	0.822405	0.818828	0.8397
* L2_L12	0.817672	0.828756	0.564
* L2_L13	1.02237	0.987956	0.1521
* L2_L14	1.03315	1.01071	0.3725
* L3_L5	0.438008	0.458186	0.3001
* L3_L7	0.613546	0.585163	0.3692
L3_L8	0.489231	0.534637	0.0384
* L3_L9	0.725863	0.703976	0.2998
* L3_L10	0.753182	0.751582	0.9569
* L3_L11	0.939448	0.92874	0.4989
* L3_L12	0.922409	0.924582	0.8952
* L3_L13	1.14279	1.10244	0.0821
* L3_L14	1.13665	1.10382	0.1787
* L4_L7	0.479856	0.501267	0.2594
* L4_L9	0.628912	0.614226	0.5241
* L4_L10	0.6495	0.651118	0.9596
* L4_L11	0.839976	0.835518	0.8189
* L4_L12	0.818132	0.824301	0.7647
* L4_L13	1.04393	1.01109	0.1758
* L4_L14	1.03133	1.00185	0.2865
* L5_L11	0.517328	0.483662	0.0755
* L5_L12	0.521295	0.504547	0.3383

L5_L13	0.715768	0.651357	0.018
L5_L14	0.734856	0.686325	0.0471
* L6_L11	0.62189	0.588501	0.1159
* L6_L12	0.592645	0.561156	0.1547
L6_L13	0.825285	0.765168	0.0261
L6_L14	0.804278	0.734631	0.0279
L7_L11	0.381792	0.353311	0.0679
* L7_L12	0.391793	0.381015	0.4233
L7_L13	0.579854	0.520958	0.0182
L7_L14	0.602913	0.561322	0.0607
L8_L11	0.467291	0.436397	0.0399

Anexo 11. **Variables morfométricas que describen la forma básica de *Chiostoma humboldtianum*.** Parámetros calculados para las pendientes de variables morfométricas que no cambian en proporción independientemente de la población, el tamaño y el sexo de los peces.

Variable	Ordenada	Pendiente	R²
L1_L9	-0.279746	0.777845	99.768%
L1_L10	-0.202468	0.827976	99.5956%
L2_L11	-0.090668	0.824276	99.8163%
L2_L12	-0.09387	0.833299	99.803%
L2_L13	-0.049782	0.98916	99.7271%
L3_L12	0.015046	0.927591	99.8957%
L3_L13	0.008102	1.10145	99.8235%
L3_L14	-0.004124	1.10132	99.8222%
L4_L11	-0.1097	0.841554	99.7635%
L4_L12	-0.066775	0.829594	99.7561%
L4_L13	-0.101083	1.01161	99.71%
L4_L14	-0.078476	1.00186	99.6925%

Anexo 12. **Prueba LSD para el RW1 entre subgrupos de la población de Villa Victoria.** Se muestra la comparación de medias entre pares de subgrupos de la población de Villa Victoria. Con letra "I" organismos indeterminados, "H" hembras y "M" machos.

Multiple Range Tests for Col_2 by Col_1

Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
I	29	-0.0108883	X
H	41	0.00231885	X
H	35	0.0063053	X

Contrast	Difference	+/- Limits
H - I	*0.0132071	0.00936408
H - M	-0.00398644	0.00888153
I - M	*-0.0171936	0.0096909

* denotes a statistically significant difference.

Anexo 13. **Prueba LSD para el RW2 entre subgrupos de la población de Villa Victoria.** Se muestra la comparación de medias entre pares de subgrupos de la población de Villa Victoria. Con letra "I" organismos indeterminados, "H" hembras y "M" machos.

Multiple Range Tests for Col_3 by Col_1

Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
I	29	-0.0109389	X
H	35	0.000302909	X
H	41	0.00747873	X

Contrast	Difference	+/- Limits
H - I	*0.0184176	0.00739014
H - M	*0.00717583	0.00700931
I - M	*-0.0112418	0.00764807

* denotes a statistically significant difference.

Anexo 14. **Prueba LSD para el RW1 entre subgrupos de la población de Tepuxtepec.** Se muestra la comparación de medias entre pares de subgrupos de la población de Villa Victoria. Con letra "I" organismos indeterminados, "H" hembras y "M" machos.

Multiple Range Tests for Col_2 by Col_1

Method: 95.0 percent LSD			
Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
I	32	-0.0306719	X
M	87	-0.0028923	X
H	106	0.0116333	X

Contrast	Difference	+/- Limits
H - I	*0.0423052	0.00719321
H - M	*0.0145256	0.00515914
I - M	*-0.0277796	0.0073731

* denotes a statistically significant difference.

Anexo 15. **Prueba LSD para el RW2 entre subgrupos de la población de Tepuxtepec.** Se muestra la comparación de medias entre pares de subgrupos de la población de Villa Victoria. Con letra "I" organismos indeterminados, "H" hembras y "M" machos.

Multiple Range Tests for Col_3 by Col_1

Method: 95.0 percent LSD			
Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
M	87	-0.00205684	X
H	106	-0.00025096	X
I	32	0.00642326	X

Contrast	Difference	+/- Limits
H - I	*-0.00667422	0.00665268
H - M	0.00180588	0.00477146
I - M	*0.00848011	0.00681905

* denotes a statistically significant difference.

Anexo 16. **Prueba LSD para el RW1 entre poblaciones.** Se muestra la comparación de medias entre pares de subgrupos de ambas poblaciones. Representados con números del 1 al 6 los subgrupos de cada población; 1, 3 y 5 organismos indeterminados, hembras y machos de Villa Victoria, respectivamente; 2, 4 y 6 indeterminados, hembras y machos de Tepuxtepec, respectivamente.

Multiple Range Tests for Col_4 by Col_1

Method: 95.0 percent LSD			
Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
2	32	-0.0259906	X
1	29	-0.0206669	X
5	35	-0.00793867	X
3	41	-0.00326744	XX
6	87	0.00188446	X
4	106	0.0158387	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	0.00532378	0.00851581
1 - 3	*-0.0173994	0.00805923
1 - 4	*-0.0365056	0.00696066
1 - 5	*-0.0127282	0.0083405
1 - 6	*-0.0225513	0.00712206
2 - 3	*-0.0227232	0.00783483
2 - 4	*-0.0418294	0.00669957
2 - 5	*-0.018052	0.00812388
2 - 6	*-0.0278751	0.00686711
3 - 4	*-0.0191062	0.0061087
3 - 5	0.00467122	0.00764392
3 - 6	-0.0051519	0.006292
4 - 5	*0.0237774	0.00647527
4 - 6	*0.0139543	0.00480509
5 - 6	*-0.00982312	0.00664847

* denotes a statistically significant difference.

Anexo 17. **Prueba LSD para el RW2 entre poblaciones.** Se muestra la comparación de medias entre pares de subgrupos de ambas poblaciones. Representados con números del 1 al 6 los subgrupos de cada población; 1, 3 y 5 organismos indeterminados, hembras y machos de Villa Victoria, respectivamente; 2, 4 y 6 indeterminados, hembras y machos de Tepuxtepec, respectivamente.

Multiple Range Tests for Col_5 by Col_1

Method: 95.0 percent LSD			
Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
5	35	-0.00787661	X
3	41	-0.0033277	XX
1	29	-0.0024651	XX
6	87	0.000644577	X
4	106	0.00133942	X
2	32	0.00892342	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*-0.0113885	0.00866124
1 - 3	0.000862604	0.00819685
1 - 4	-0.00380452	0.00707952
1 - 5	0.00541151	0.00848293
1 - 6	-0.00310968	0.00724368
2 - 3	*0.0122511	0.00796863
2 - 4	*0.007584	0.00681397
2 - 5	*0.0168	0.00826261
2 - 6	*0.00827884	0.00698438
3 - 4	-0.00466712	0.00621302
3 - 5	0.00454891	0.00777445
3 - 6	-0.00397228	0.00639945
4 - 5	*0.00921603	0.00658585
4 - 6	0.00069484	0.00488714
5 - 6	*-0.00852119	0.006762

* denotes a statistically significant difference.