

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y  
Recursos Naturales



**“CRECIMIENTO ALOMÉTRICO DEL CANGREJO ROJO  
(*Ucides occidentalis*) EN EL GOLFO DE GUAYAQUIL, BASADO  
EN LA TEORÍA DE INFORMACIÓN”**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**BIÓLOGO**

Presentado por:

Carlos Rodolfo Alemán Dyer

Guayaquil – Ecuador

2015

## **AGRADECIMIENTO**

He conocido y encontrado personas grandiosas, que se han vuelto valiosas para mí. Agradezco a todos ellos por ser parte del cumplimiento de esta meta, y por darme la oportunidad de aprender de ellos. Blgo. René Zambrano, Alba Calles, Ph.D., M.Sc.

Mireya Pozo. Instituto Nacional de Pesca y compañeros de trabajo.

Agradezco también a quienes me acompañan siempre, a mis padres, a mi familia, a mis maestros, a mis compañeros y a mis amigos.

A Margarita.

# **TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**

---

Ph.D, Washington Cardenas  
Medranda  
**Presidente del Tribunal**

---

Ph.D. Alba Calles Procel  
**Director de Tesis**

---

M.Sc. Mireya Pozo Cajas  
**Vocal Principal**

# **DECLARACIÓN EXPRESA**

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral"

---

Carlos Rodolfo Alemán Dyer

## RESUMEN

El crecimiento alométrico del cangrejo rojo, *Ucides occidentalis*, fue evaluado mediante el enfoque de la teoría de la información, para efectos de lo cual se utilizaron cuatro modelos comunes para este tipo de estudios (i.e. Lineal, Cuadrático, Cúbico y Punto de inflexión). A fin de obtener una relación morfométrica apropiada para la estimación de la madurez sexual, así como el modelo idóneo para esta relación, se relacionó el ancho del cefalotórax con la longitud del cefalotórax, ancho del quinto somito, longitud y alto de las quelas mayores; los análisis se hicieron discriminando a los individuos por sexo y morfotipo. Mediante el criterio de información de Akaike con el ajuste a la desviación de pequeñas muestras (AICc) se encontró que los modelos no lineales mostraron mejor ajuste a los datos, por lo que es preferible el uso de este tipo de análisis sobre el clásico modelo lineal. Se determinó que en ambos morfotipos las variables morfométricas no son útiles para estimar madurez en ningún sexo por lo que se hace necesario recurrir a otros métodos (e. g. madurez fisiológica).

**Palabras claves:** Alometría, *Ucides*, manglar, crecimiento relativo, madurez morfométrica, AICc.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ABREVIATURAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	4
1. Generalidades.....	4
1.1. Ecosistema de manglar.....	4
1.2. El Cangrejo Rojo ( <i>Ucides occidentalis</i> ).....	5
1.2.1. Clasificación Taxonomía.....	7
1.2.2. Distribución geográfica.....	7
1.2.3. Captura de <i>Ucides occidentalis</i> .....	8
1.3. Estudios de crecimiento alométrico en <i>Ucides occidentalis</i> .....	9
1.4. Selección de modelos de regresión.....	11
CAPITULO II.....	13
2. Materiales y Métodos.....	13

2.1. Área de estudio .....	13
2.2. Datos de medidas morfométricas .....	14
2.3. Análisis de datos e inferencia de múltiples modelos.....	15
CAPITULO III. ....	19
3. Resultados.....	19
3.1. Inferencia de modelos múltiples en machos de <i>U. occidentalis</i> .....	19
3.2. Inferencia de modelos múltiples en hembras de <i>U. occidentalis</i> .....	24
CAPITULO IV. ....	29
4. Discusión .....	29
CONCLUSIONES .....	32
RECOMENDACIONES .....	34
ANEXOS.....	35
BIBLIOGRAFÍA .....	51

## ABREVIATURAS

AC = Ancho de cefalotórax.

AIC = Criterio de información de Akaike.

AICc = AIC de segundo orden, ajustada a la desviación de muestras pequeñas.

AICcmin = Modelo con menor valor de AICc.

AQ = Alto del propodio quelar.

AQM = Alto de la quela mayor.

AS = Ancho del quinto somito abdominal.

$b$  = Pendiente.

C = Modelo de regresión Cúbico.

CPUE = Captura por unidad de esfuerzo.

FENACOPEC = Federación Nacional de Cooperativas Pesqueras del Ecuador.

ha = Hectáreas.

$\Delta_i$  = Diferencias de AICc en relación con el menor valor en el grupo de modelos.

$i$  = Modelo seleccionado como el mejor.

IMM = Inferencia de múltiples modelos.

INP = Instituto Nacional de Pesca.

K-L = Kullback-Leiber.

L = Modelo de regresión Lineal.

LC = Longitud de cefalotórax.

$\ln$  = Logaritmo natural.

LQ = Longitud de propodio quelar.



LQM = Longitud de la quela mayor.

mm = Milímetros.

NC = Nombre Científico

NV = Nombre Vulgar.

Pi = Modelo de regresión Punto de Inflexión.

Q = Modelo de regresión Cuadrático.

$R^2$  = Coeficiente de determinación.

RSS = Suma de residuos al cuadrado (Siglas en ingles).

Wi = Peso de Akaike.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Golfo de Guayaquil y zonas de colecta de <i>U. occidentalis</i> para estudios biológicos y poblacionales desarrollados por el INP. Mapa base obtenido del Sistema Nacional de Información.....	14
<b>Figura 2.</b> Medidas morfométricas tomadas por el INP. Longitud del cefalotórax (LC), ancho del cefalotórax (AC), ancho del abdomen al nivel del quinto somito (AS), longitud y alto de los propodios quelares (LQ y AQ). .....	15
<b>Figura 3.</b> El exponente $b$ generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnLC. Utilizando el modelo cuadrático en machos de <i>U. occidentalis</i> . Línea punteada indica isometría.....	21
<b>Figura 4.</b> El exponente $b$ generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnAS. Utilizando el modelo punto de inflexión, en machos de <i>U. occidentalis</i> . .....	21
<b>Figura 5.</b> El exponente $b$ generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnLQM en machos heteroquelos de <i>U. occidentalis</i> , utilizando los modelos. A) Cuadrático; B) Punto de inflexión. ....	22
<b>Figura 6.</b> El exponente $b$ generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnAQM. Utilizando el modelo cuadrático, en machos heteroquelos de <i>U. occidentalis</i> . Línea punteada indica isometría.....	22
<b>Figura 7.</b> El exponente $b$ generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnLQM en machos homoquelos de <i>U. occidentalis</i> , empleando los modelos. A) Cúbico; B) Punto de inflexión. ....	23

<b>Figura 8.</b>	El exponente $b$ generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnAQM en machos homoquelos de <i>U. occidentalis</i> , empleando los modelos. A) Cuadrático; B) Cúbico; C) Punto de inflexión. Línea punteada indica isometría. ....	23
<b>Figura 9.</b>	El exponente $b$ generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnLC. Utilizando el modelo cúbico en hembras de <i>U. occidentalis</i> . Línea punteada indica isometría.....	26
<b>Figura 10.</b>	El exponente $b$ generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnAS. Utilizando el modelo cuadrático en hembras de <i>U. occidentalis</i> . Línea punteada indica isometría.....	26
<b>Figura 11.</b>	El exponente $b$ generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnLQM en el modelo punto de inflexión de hembras heteroquelas de <i>U. occidentalis</i> . Línea punteada indica isometría.....	27
<b>Figura 12.</b>	El exponente $b$ generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnAQM en el modelo punto de inflexión de hembras heteroquelas de <i>U. occidentalis</i> . Línea punteada indica isometría.....	27
<b>Figura 13.</b>	El exponente $b$ generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnLQM en hembras homoquelos de <i>U. occidentalis</i> , empleando los modelos. A) Lineal; B) Cuadrático.....	28
<b>Figura 14.</b>	El exponente $b$ generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnAQM en hembras homoquelos de <i>U. occidentalis</i> , empleando los modelos. A) Lineal; B) Cuadrático.....	28

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla I.</b> Modelos, número de parámetros y ecuaciones empleadas para estimar la alometría de <i>U. occidentalis</i> .....	16
<b>Tabla II.</b> Tipo de soporte del modelo.....	17
<b>Tabla III.</b> Valores de Akaike (AICc), diferencias de Akaike ( $\Delta_i$ ) y el peso de Akaike ( $W_i$ ) obtenido para los modelos lineal (L), cuadrático (Q), cúbico (C) y punto de inflexión (PI) en machos de <i>U. occidentalis</i> . * Modelo de mejor ajuste. ....	20
<b>Tabla IV.</b> Valores de Akaike (AICc), diferencias de Akaike ( $\Delta_i$ ) y el peso de Akaike ( $W_i$ ) obtenido para los modelos lineal (L), cuadrático (Q), cúbico (C) y punto de inflexión (PI) en hembras de <i>U. occidentalis</i> . * Modelo de mejor ajuste. ....	25

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A – Tabla de relación de evidencia entre modelos de regresión de <i>Ucides occidentalis</i> .....	36
Anexo B – Tabla de parámetros de regresión calculados para machos de <i>Ucides occidentalis</i> .....	37
Anexo C – Tabla de parámetros de regresión calculados para hembras de <i>Ucides occidentalis</i> .....	38
Anexo D – Relaciones morfométricas para machos de <i>Ucides occidentalis</i> .....	39
Anexo E – Relaciones morfométricas para hembras de <i>Ucides occidentalis</i> .....	45

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la franja costera de distintos países, la presencia de asentamientos humanos, dedicados principalmente a la extracción de diversas especies para fines comerciales o para consumo interno, son causa primordial de la explotación incontrolada de ejemplares de peces, crustáceos y equinodermos. Un ejemplo claro de dicho comportamiento es evidenciado en el Golfo de Guayaquil, en donde las diversas comunidades se dedican a la extracción de especies como el cangrejo rojo *Ucides occidentalis* (Ortmann, 1897). Dicha especie considerada como uno de los recursos más significativos de los manglares del Ecuador, por su importancia ecosistémica, social y económica; toma vital importancia en su análisis poblacional con miras a su preservación y uso (1-4).

La extracción de este recurso se considera fuente de trabajo para 2.215 cangrejeros y es la base del desarrollo social y económico de 2.167 familias, en 22 comunidades del Golfo de Guayaquil. En el 2009, se estimó que la comercialización de este cangrejo

aportó con una producción equivalente a \$16'266.990 en el primer eslabón de la cadena productiva (2, 5).

El cangrejo rojo contribuye en el ecosistema formando parte de los procesos físicos que se desarrollan en el sedimento del manglar. Es capaz de remover cantidades importantes de hojarasca, que al metabolizarla genera materia orgánica aprovechable para otros organismos. Contribuye a la oxigenación de los suelos durante la construcción de sus madrigueras, dicha actividad potencia la descomposición de materia orgánica por bacterias aerobias equilibrando así la dinámica ecológica del ecosistema (3).

Al ser *U. occidentalis* un recurso comercial y ecológico muy importante, se han generado medidas de manejo que apuntan a la sostenibilidad del recurso. Para este caso se puede mencionar las vedas (de reproducción y de ecdisis), la talla mínima de captura (tamaño en el cual el individuo se ha reproducido al menos una vez en su vida) y la prohibición en la captura de las hembras (4–6).

En base a las medidas mencionadas se recalca que para establecer una talla mínima de captura, una herramienta muy importante es la estimación del tamaño de madurez sexual morfométrica, analizado mediante la alometría de crecimiento (7–10). Se conocen tres tipos de madurez: fisiológica (gónadas maduras), funcional (habilidad para copular) y morfométrica (características morfométricas diferentes entre juveniles y adultos) (9).

La relación de una variable corporal con un carácter secundario y la diferencia en sus tasas de desarrollo, nos indicarán el tipo de crecimiento que posee un organismo (10,

11), esto es alometría. Durante la ontogenia, frecuentemente se utiliza la ecuación de Huxley (1932) ( $Y = a X^b$ ) para medir la alometría (12, 13). Las variables  $X$  y  $Y$  representan alguna medida morfométrica,  $a$  es el intercepto de la curva de regresión y  $b$  representa la pendiente; cabe mencionar que esta ecuación generalmente es linealizada mediante logaritmos ( $\log Y = \log a + b \log X$ ) (12, 14).

Utilizar esta fórmula para medir la alometría de una especie, sin antes analizar su ajuste a los datos puede dar lugar a problemas de interpretación de datos, y a la pérdida de valiosa información biológica (13, 15).

La teoría de la información es un concepto relativamente nuevo en las ciencias biológicas y es una forma más precisa y robusta de seleccionar modelos de regresión (13, 15, 16). Esta metodología se basa en la teoría de la información de Kullback-Leiber y de la inferencia de múltiples modelos, clasificando cuantitativamente modelos y variables por su valor relativo e importancia (16).

Debido a que el crecimiento alométrico de *U. occidentalis* en el Golfo de Guayaquil ha sido analizado únicamente mediante el modelo lineal se usará la teoría de la información para determinar el modelo idóneo para relacionar las variables morfológicas seleccionadas, diferenciando por sexo y morfotipo. Posteriormente se identifican las relaciones morfométricas y el modelo idóneo para estimar la talla de madurez sexual.



## **CAPITULO I.**

### **1. Generalidades**

#### **1.1.Ecosistema de manglar**

El manglar es uno de los ecosistemas costeros más productivos del planeta (17). Estos sistemas ecológicos se conforman principalmente por mangles de distintos géneros (e. g. *Rhizophora*, *Avicennia*, *Laguncularia*, *Conocarpus*), además se pueden encontrar microorganismos, hongos, otras especies florísticas (e. g. bromelias, helechos, orquídeas) y fauna como aves, reptiles, crustáceos y peces (17). Este ecosistema tiene una importancia social, económica y ecológica directa e indirecta para el hombre. Provee de refugio para los organismos que habitan en él, muchos de ellos de importancia comercial, producen hojarasca y detrito que son fuente de alimento para los animales que habitan los estuarios, y el entramado de sus raíces protege las zonas costeras de erosiones, tormentas y huracanes, además, atrapan el sedimento limpiando el agua donde se desarrollan los corales (18).

Pese a lo mencionado, entre 1984 y 2006 en Ecuador continental se han perdido 33.927 ha de cobertura de manglar, a consecuencia de actividades antropogénicas como la construcción y establecimiento de camaroneras. Estas acciones contribuyen a la alteración de la estructura y función del ecosistema de manglar (19).

### **1.2.El Cangrejo Rojo (*Ucides occidentalis*)**

*Ucides occidentalis* es un crustáceo decápodo perteneciente a la familia Ucididae. Posee un exoesqueleto segmentado, compuesto por quitina impregnada de carbonato cálcico; además, tiene dos cámaras branquiales bien delimitadas que poseen cinco branquias. Esto es consecuencia de su vida semiacuática, debido a que el aire posee una mayor cantidad de oxígeno que el agua y de esta forma se disminuye la pérdida de líquido por evaporación (1, 2).

Morfológicamente posee un caparazón ovalado, con las regiones branquiales hinchadas y proyectadas hacia los lados; el caparazón es color rojo grisáceo y gran parte de las quelas de color rojo oscuro. El margen ventral de la frente posee una hendidura mediana (20). En cada sexo existen dos morfotipos; diferenciados por sus propodios quelares, los homoquelos (ambas quelas de igual tamaño) y heteroquelos (una quela mayor que la otra) (21).

Esta especie presenta dimorfismo sexual. Los machos tienen un solo par de pleópodos bien desarrollados, de consistencia dura, y adaptados para la fecundación además, presentan mayores tallas y dimensiones de los propodios quelares. Las hembras

poseen cuatro pares de pleópodos de tamaño similar, que están cubiertos de finas y numerosas setas que contendrán la masa ovígera (2, 6, 21, 22).

El exoesqueleto sufre un proceso de ecdisis anual, en los meses de junio a septiembre. En este proceso el cangrejo se encierra en su madriguera hasta completar el proceso por lo que previamente acumulan alimento y cubren la entrada de su madriguera para evitar a los depredadores o la inundación (2, 4, 23).

Las madrigueras de esta especie tienen una profundidad de hasta dos metros y se encuentran en las áreas bañadas por la marea (23), sin embargo, se debe mencionar que no se ha estudiado la forma de las madrigueras y los métodos para su construcción.

La época reproductiva coincide con la temporada lluviosa (diciembre-abril). El apareamiento inicia con un pre-cortejo “paseo”; en el cual se pueden observar la recurrente entrada y salida de los cangrejos de sus madrigueras. Durante el cortejo, tanto machos como hembras salen de sus madrigueras para realizar el acto copulativo sobre el sedimento (4, 23, 24).

Esta especie posee fecundación sexual interna. Durante la copula las hembras sexualmente maduras son rodeadas con las quelas del macho, con este estímulo sexual, la hembra abre el abdomen y el macho introduce sus pleópodos en los orificios genitales de ella, transfiriendo su esperma (4, 6, 23).

Esta especie se alimenta principalmente de hojas y propágulos de mangle que son llevados a su madriguera sin embargo, si encuentra una presa muerta en las cercanías de su madriguera puede tomarla como parte de su alimento (1, 2).

*U. occidentalis* tiene varias funciones en el ecosistema como i) la reducción de la hojarasca, ii) la aireación del sedimento creando las madrigueras y iii) promover el aumento de la actividad aerobia bacteriana que descompone materia orgánica (3).

### 1.2.1. Clasificación Taxonomía

Esta especie fue descrita por primera vez por Ortmann en 1897 (20). Y actualmente se clasifica de la siguiente manera:

**Phylum:** Artropoda

**Clase:** Malacostraca

**Orden:** Decapoda

**Familia:** Ucididae

**Género:** *Ucides*

**Especie:** *occidentalis*

**NC:** *Ucides occidentalis* (Ortmann, 1897)

**NV:** Cangrejo rojo

### 1.2.2. Distribución geográfica

El cangrejo rojo se distribuye a lo largo de la costa del Pacífico, desde el Golfo de California hasta el norte de Perú. En Ecuador se encuentra en los ecosistemas de manglar de toda la costa continental (1, 20).

### 1.2.3. Captura de *Ucides occidentalis*

En Ecuador el cangrejo rojo es un recurso muy importante para muchas familias de la costa. En un estudio realizado en el 2009 se estimó que existen 2.215 cangrejeros trabajando en el Golfo de Guayaquil, que es la zona de mayor captura de la especie (5). En Guayaquil, el principal centro de acopio es el mercado Caraguay, donde se reparte el cangrejo a los comerciantes y restaurantes comerciales de la ciudad (2, 4, 6).

Su comercialización se la realiza durante todo el año exceptuando los periodos de veda reproductiva (del 1 al 31 marzo) y de muda (del 15 de agosto a 15 de septiembre). En estos meses se prohíbe la captura, transporte, posesión, procesamiento y la comercialización de la especie. Además, existen otras medidas legales de protección estipuladas en varios acuerdos ministeriales como la prohibición de la captura de las hembras, uso de trampas o artes de pesca destructivas y la pesca de individuos con tallas inferiores a 75 mm (4, 6).

La actividad pesquera es artesanal y para extraer el recurso se utiliza el brazo o en su defecto, una varilla de hierro que tiene una curvatura en un extremo para cuando el cangrejo esté más profundo. Los cangrejos son amarrados en grupos de 12 o 13 individuos, lo que se conoce como “atados”, los mismos que conformarán las denominadas “planchas” cuando se juntan cuatro atados (4, 6).

La extracción del recurso se estima por millones de cangrejos anuales. Para el Golfo de Guayaquil, en 2012 se estimó una captura de 20'835.449 individuos (25), mientras que para el 2013 el estimado fue 16'374.155 cangrejos (26).

### 1.3. Estudios de crecimiento alométrico en *Ucides occidentalis*

En 1936 Huxley y Tessier acuñaron el término “alometría” a la relación que existe entre el tamaño del cuerpo y otros rasgos del organismo; sin embargo, actualmente existen al menos tres conceptos de alometría: *i*) alometría ontogénica, es la relación entre el tamaño del cuerpo y un carácter durante el crecimiento, *ii*) alometría estática se refiere a la relación entre el tamaño del cuerpo y un carácter observado en individuos medidos en una etapa de desarrollo similar y *iii*) alometría evolutiva se refiere a la relación observada entre las medias de la población o especie (14).

La fórmula del crecimiento alométrico descrita por Huxley fue  $y = bx^\alpha$ ; donde  $y$  es un carácter secundario,  $x$  es una variable de dimensión del cuerpo,  $b$  es el intercepto y,  $\alpha$  el coeficiente de regresión. Generalmente, la fórmula se linealiza mediante el uso de un logaritmo y se la representa como  $\log Y = \log b + \alpha \log X$ ;  $\alpha$  se convierte en la pendiente de la recta. En la actualidad, la fórmula de Huxley se conoce como  $y = ax^b$ , que es la utilizada en el presente estudio para análisis de los datos (10, 14, 27).

La ecuación de Huxley (1936) implica que la tasa de crecimiento de las dos variables se encuentran relacionadas y mediante el valor de  $b$ , podemos determinar si existe isometría o alometría en el crecimiento. En el crecimiento isométrico ( $b = 1$ ) el crecimiento del cuerpo y del carácter secundario tienen tasas de desarrollo similares. La alometría ( $b \neq 1$ ) puede ser positiva ( $b > 1$ ) cuando el carácter secundario tiene una tasa de crecimiento mayor a la variable corporal y negativa ( $b < 1$ ) cuando el

carácter secundario posee una tasa de desarrollo menor a la variable corporal (10, 12, 14, 27, 28).

El crecimiento alométrico permite la madurez morfométrica, que se identifica mediante un cambio marcado en las tasas de crecimiento del carácter secundario en distintas fases de desarrollo del individuo (juvenil y adulto). El momento en que se observa este cambio se denomina punto de inflexión e indica la talla del organismo cuando alcanza la madurez (11, 29).

Muñiz y Peralta (1983) realizaron uno de los primeros estudios de alometría en *U. occidentalis* utilizando especímenes provenientes de la captura comercial en Puerto del Morro (provincia del Guayas). Ellos relacionaron la longitud del cefalotórax contra la longitud del propodio quelar, determinando una talla de madurez morfométrica para machos entre 45 y 50 mm LC (22).

Cedeño (2013) estimó para el Golfo de Guayaquil la talla de madurez morfométrica, relacionando el ancho del cefalotórax con la longitud del propodio quelar en machos y con el ancho del abdomen a nivel del quinto somito en hembras. Sus estimados fueron 54,3 y 50,8 mm AC para machos y hembras respectivamente (30).

Solano y Zambrano para la misma zona de estudio de Cedeño (2013), estimaron la talla de madurez en 59,96 y 55,63 mm AC para machos y hembras respectivamente. Ellos relacionaron el ancho del cefalotórax contra la longitud del propodio quelar mayor en machos y contra el ancho del abdomen en hembras (31).

Los tres estudios mencionados utilizaron los métodos de Somerton o de Somerton y Macintosh (32, 33) para estimar el punto de inflexión en machos, pero sin considerar

los morfotipos existentes. Por tal motivo sus resultados podrían ser cuestionables (21).

Zambrano y Alemán Dyer determinaron, mediante el análisis estadístico ( $T$ ) de Drapper y Smith (34), que para los machos de *U. occidentalis* no se puede estimar la talla de madurez sexual utilizando los propodios quelares (21).

Por tal motivo se hace necesario aplicar el enfoque de la teoría de la información para determinar el mejor modelo que se ajuste a los datos de las relaciones morfométricas

#### **1.4. Selección de modelos de regresión**

El coeficiente  $b$  no siempre es una constante en las regresiones lo que convierte al modelo  $L$  en inadecuado para ajustarse a los datos y por ende a tener la necesidad de utilizar modelos alternativos (13, 15). Esto se debe a una no linealidad en la distribución de los datos y a un cambio continuo de la pendiente o la existencia de puntos de inflexión (9).

Existen varias formas para seleccionar un modelo como el mejor dentro de un grupo de modelos preseleccionados. Se puede utilizar el criterio del  $R^2$  o un análisis estadístico  $F$  pero hay problemas prácticos y teóricos en su aplicación. Por ejemplo, las pruebas estadísticas juzgan las variables como importantes o no importantes, dependiendo si están dentro o fuera del modelo; mostrando una dicotomía engañosa (16).

Katsanevakis *et al.* (13) recomendaron el enfoque de la teoría de la información de K-L y la IMM descrita por Burnham y Anderson (16) para la selección de modelos



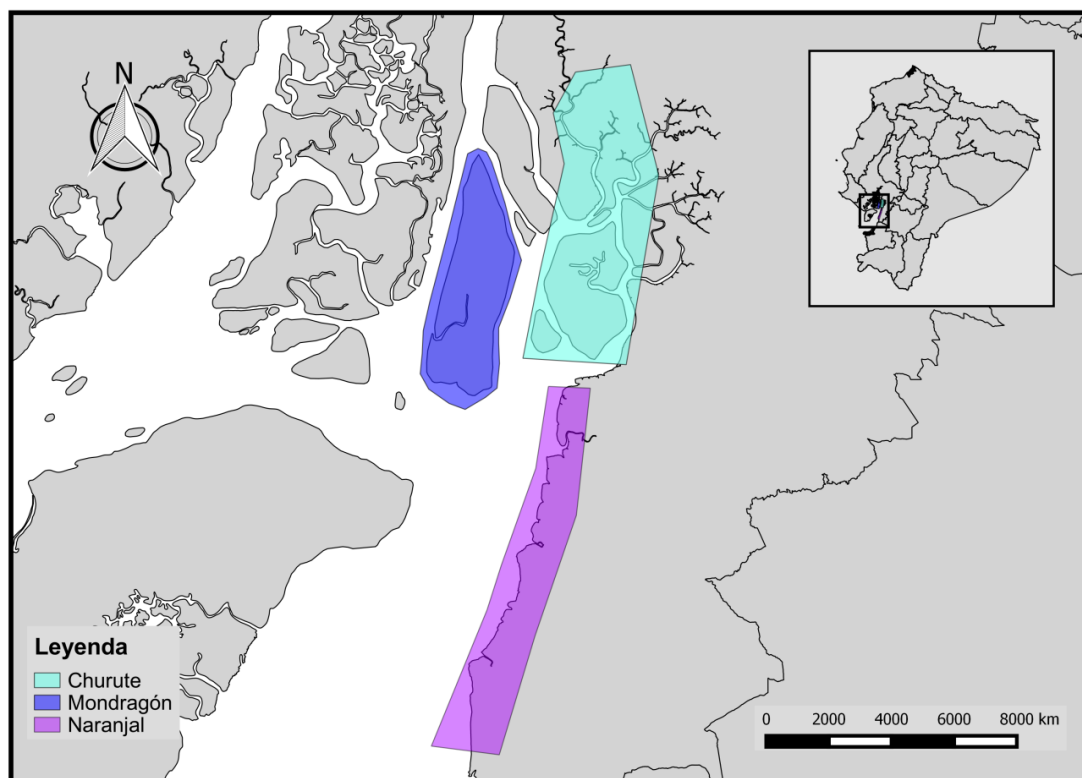
elegidos previamente en el estudio de la alometría. Este método se basa en el principio de la parsimonia (el modelo debe ser lo más simple posible) de acuerdo al criterio de información de Akaike (35), la estimación de parámetros y su precisión. El IMM evita el problema de juzgar erróneamente la alometría, la mala interpretación de los datos y la pérdida de información biológica cuando se escoge un modelo de crecimiento que no está soportado por los datos (13).

## **CAPITULO II.**

### **2. Materiales y Métodos**

#### **2.1. Área de estudio**

El Golfo de Guayaquil posee una extensión de 105.210 ha de manglar, lo cual representa el 71% de los manglares del Ecuador (36). Físicamente es una zona estuarina con pocos flujos de agua dulce (ríos) proveniente del continente; la mayor influencia de aguas continentales es el aporte del Río Guayas. Las zonas de colecta de *U. occidentalis* corresponden a Mondragón, Churute y Naranjal (Figura 1).

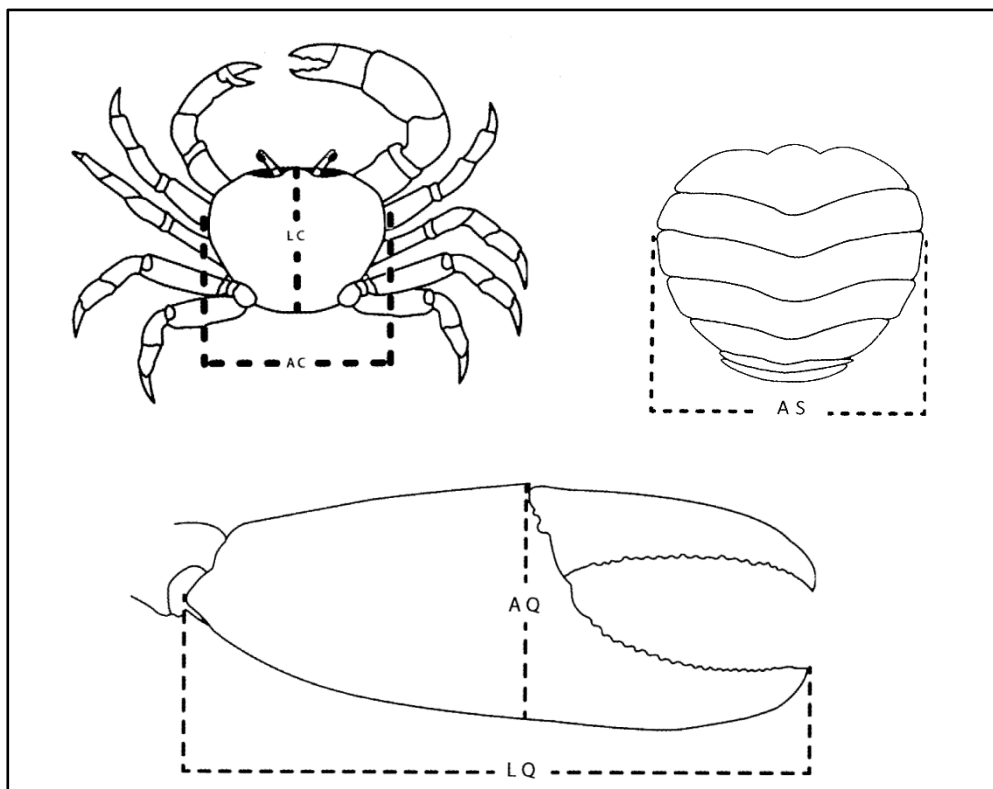


**Figura 1.** Golfo de Guayaquil y zonas de colecta de *U. occidentalis* para estudios biológicos y poblacionales desarrollados por el INP. Mapa base obtenido del Sistema Nacional de Información (37).

## 2.2. Datos de medidas morfométricas

Los datos empleados para los análisis estadísticos, provienen de los estudios independientes de la pesquería de *U. occidentalis* realizados por el INP en el Golfo de Guayaquil durante el periodo de diciembre 2011 noviembre 2014. La información corresponde a medidas morfométricas del LC, AC, AS, LQM y AQM (Figura 2).

En este estudio se trabajó con un total de 6.767 (3.421 machos y 3.346 hembras) individuos considerando únicamente aquellos que no presentaron mutilaciones de sus quelípedos.



**Figura 2.** Medidas morfométricas tomadas por el INP. Longitud del cefalotórax (LC), ancho del cefalotórax (AC), ancho del abdomen al nivel del quinto somito (AS), longitud y alto de los propodios quelares (LQ y AQ). Tomado de Cedeño (38)

### 2.3. Análisis de datos e inferencia de múltiples modelos

Los análisis se realizaron por sexo, discriminando los individuos según su morfotipo basados en lo propuesto por Zambrano y Alemán-Dyer (21). Las medidas morfométricas fueron transformadas a su logaritmo natural ajustándolos a cuatro modelos previamente seleccionados para abarcar diferentes patrones de crecimiento relativo, tasas de crecimiento constante (L), cambio continuo de las tasas de crecimiento (Q y C), y cambio marcado en las tasas de crecimiento (Pi) (Tabla I).

**Tabla I.** Modelos, número de parámetros y ecuaciones empleadas para estimar la alometría de *U. occidentalis*.

Modelo	# Parámetros	Ecuación
Lineal (L)	2	$\ln Y = \ln a_1 + b_1 \ln X$
Cuadrático (Q)	3	$\ln Y = \ln a_1 + b_1 \ln X + b_2 (\ln X)^2$
Cúbico (C)	4	$\ln Y = \ln a_1 + b_1 \ln X + b_2 (\ln X)^2 + b_3 (\ln X)^3$
Punto de Inflexión (PI)	4	$\ln Y = \begin{cases} \ln a_1 + b_1 \ln X & X \leq B \\ \ln a_1 + (b_1 - b_2) \ln B + b_2 \ln X & X > B \end{cases}$

El modelo L presenta  $b$  como una constante y asume que la alometría no varía a medida que el tamaño del cuerpo incrementa. El exponente alométrico  $b$  de las relaciones morfométricas se generalizó y se designó como la primera derivada de  $\ln Y$  con respecto a  $\ln X$ , según Katsanevakis *et al.* (13).

Los modelos Q y C asumen que la relación de los datos  $\ln Y$  y  $\ln X$  no presenta linealidad, y que  $b$  cambia continuamente a medida que el tamaño del cuerpo aumenta ( $b = b_1 + 2b_2 \ln X$  y  $b = b_1 + 2b_2 \ln X + 3b_3(\ln X)^2$  respectivamente). Ambos modelos utilizan un gráfico de dispersión, la regresión polinómica de segundo y tercer grado respectivamente (13).

El modelo Pi asume un cambio morfológico marcado a un tamaño específico en  $X$  mostrando dos líneas con diferentes pendientes que se intersectan en un punto  $X$  (13).

El modelo Pi se lo realizó mediante el método *piecewise* empleando *bootstrap* para estimar el punto de quiebre con mayor precisión, en la plataforma estadística R.

En los métodos anteriormente descritos se estimó la RSS y  $b$  para todos los modelos. Mediante el programa Excel 2010.

Mediante el método de Akaike con el ajuste a la desviación de pequeñas muestras ( $AIC_C$ ) (ecuación 1) se determinó el modelo idóneo (39). Para determinar mínimos cuadrados, se empleó el AIC (16, 35), RSS, el número de observaciones ( $n$ ) y el número de parámetros por regresión más 1 ( $k$ ) (ecuación 2).

$$AIC_c = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$AIC = n \left( \log \left( 2\pi \frac{RSS}{n} \right) + 1 \right) + 2k \quad \text{Ecuación 2}$$

El mejor modelo está determinado por el menor valor de  $AIC_C$  ( $AIC_{Cmin}$ ) adicionalmente, se calculará la diferencia entre  $AIC_C$  y  $AIC_{Cmin}$  ( $\Delta_i = AIC_{Ci} - AIC_{Cmin}$ ) de cada modelo de la regresión para clasificar los modelos en base al soporte que brindan a los datos (16) (Tabla II).

**Tabla II.** Tipo de soporte del modelo. (16)

Valor	Interpretación
$\Delta_i = 0$	Mejor modelo
$\Delta_i < 2$	Los modelos poseen un soporte sustancial
$4 < \Delta_i < 7$	Los modelos tienen considerablemente menos soporte.
$\Delta_i > 10$	Los modelos no poseen ningún sustento y podría ser omitido para estudios posteriores

Para cuantificar la efectividad de cada modelo se usó el valor de  $W_i$  (ecuación 3) considerado como el valor de evidencia que indica al modelo “ $i$ ” como el mejor del conjunto; además, proporciona una manera eficaz de medir e interpretar los valores de  $\Delta_i$  (16, 35).

$$w_i = \frac{\exp(-0.5\Delta_i)}{\sum_{k=1}^5 \exp(-0.5\Delta_k)} \quad \text{Ecuación 3}$$

Cuando el mejor modelo no fue muy convincente basándonos en el valor de  $W_i$ , se usó la relación de evidencia, que es la proporción de los pesos de Akaike ( $w_p/w_j$ ) donde  $w_p$  es el mejor modelo y  $w_j$  es cualquiera de los otros modelos. Si el resultado es menor a 2, se pueden esperar amplias variaciones del mejor modelo entre muestras (16).

## CAPITULO III.

### 3. Resultados

#### 3.1. Inferencia de modelos múltiples en machos de *U. occidentalis*

En la relación AC vs LC se determinó que el modelo Q fue el mejor con un soporte del 82,35%  $W_i$ . Mientras que para AC vs AS el Pi fue el mejor modelo con un soporte de 79,41%  $W_i$ , encontrándose el punto de quiebre en 79,39 mm AC. En ambas regresiones se determinó un crecimiento alométrico negativo (Figura 3 y 4) (Tabla III).

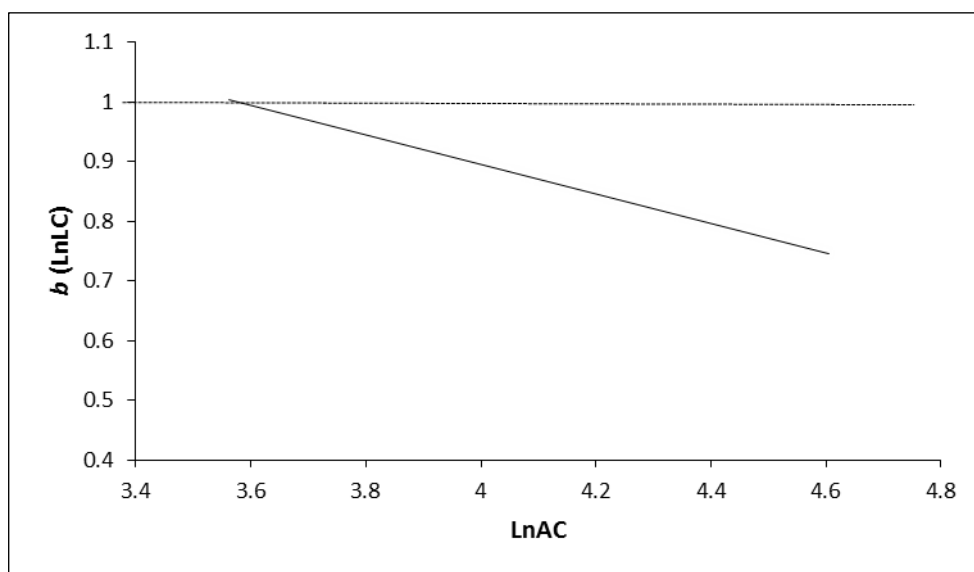
En cangrejos heteroquelos la relación AC vs LQM tuvo como mejor modelo el Q con un soporte de 59,69%  $W_i$ , pero Pi en base  $\Delta_i$  presentó soporte de los datos (punto de quiebre: 69,64 mm AC); mostrando alometría positiva en ambos modelos, pero la tendencia de b es la disminución de su valor a medida que el tamaño aumenta (Figura 5). Para AC vs AQM se obtuvo al modelo Q como idóneo con un soporte de 60,26%  $W_i$ , con un cambio de alometría (de positiva a negativa) en 72,9 mm AC (Figura 6) (Tabla III).



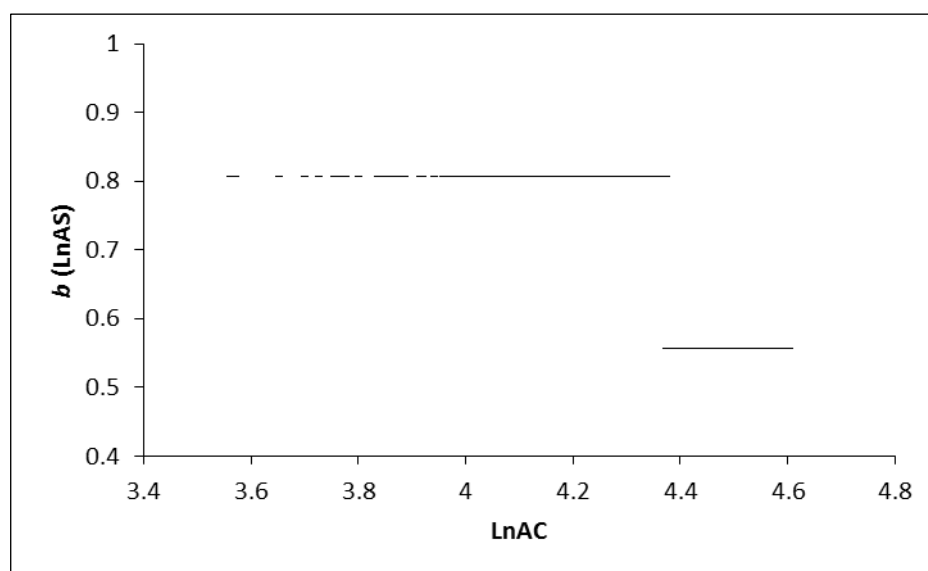
En cangrejos homoquelos la relación AC vs LQM tuvo como el mejor modelo el C con un soporte de 67,01%  $W_i$ , pero Pi en base  $\Delta_i$  presentó soporte de los datos (punto de quiebre: 76,53 mm). El crecimiento alométrico positivo se mantiene durante todo el rango de tallas (Figura 7). En la relación AC vs AQM se obtuvo el modelo Q como idóneo con un soporte de 48,69%  $W_i$ ; sin embargo C y Pi (punto de quiebre: 72,85 mm AC) en base a  $\Delta_i$  presentaron soporte de los datos. En estos casos la alometría cambia de positiva a negativa a lo largo de las tallas siendo el punto de transición similar para Q y C (76,7 mm AC) y diferente para Pi (73 mm AC) (Figura 8) (Tabla III).

**Tabla III.** Valores de Akaike ( $AIC_c$ ), diferencias de Akaike ( $\Delta_i$ ) y el peso de Akaike ( $W_i$ ) obtenido para los modelos lineal (L), cuadrático (Q), cúbico (C) y punto de inflexión (PI) en machos de *U. occidentalis*. \* Modelo de mejor ajuste.

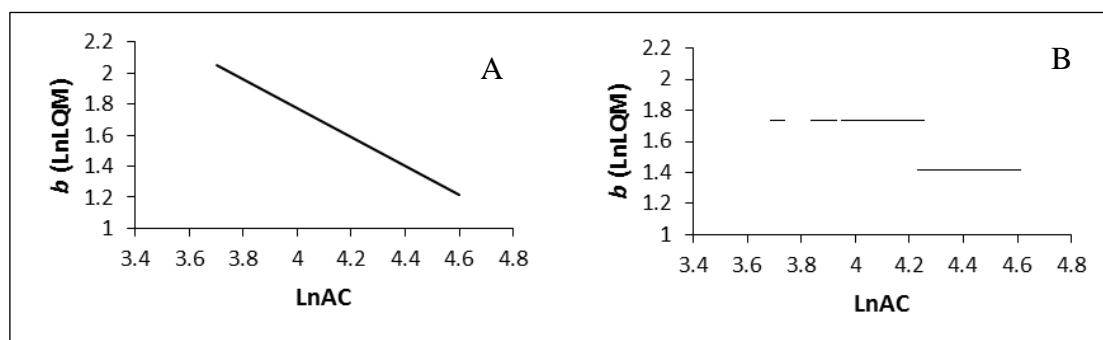
	LC	AS	HETEROQUELAS		HOMOQUELAS	
			LQM	AQM	LQM	AQM
<b><math>AIC_c</math></b>						
L	-4194,95	-1592,85	-831,95	-1105,48	-648,83	-996,04
Q	<b>-4209,67*</b>	-1599,55	<b>-845,75*</b>	<b>-1130,44*</b>	-657,04	<b>-1022,03*</b>
C	-4203,16	-1602,06	-843,22	-1128,21	<b>-660,86*</b>	-1021,22
PI	-4206,18	<b>-1605,28*</b>	-844,29	-1128,24	-658,72	-1020,11
<b><math>\Delta_i</math></b>						
L	14,71	12,44	13,80	24,96	12,03	25,98
Q	<b>0,00*</b>	5,73	<b>0,00*</b>	<b>0,00*</b>	3,82	<b>0,00*</b>
C	6,51	3,22	2,53	2,24	<b>0,00*</b>	0,80
PI	3,49	<b>0,00*</b>	1,46	2,20	2,15	1,91
<b><math>W_i</math> (%)</b>						
L	0,05	0,16	0,06	0,00	0,16	0,00
Q	<b>82,35*</b>	4,53	<b>56,69*</b>	<b>60,26*</b>	9,93	<b>48,69*</b>
C	3,18	15,90	15,97	19,67	<b>67,01*</b>	32,61
PI	14,42	<b>79,41*</b>	27,28	20,07	22,90	18,70



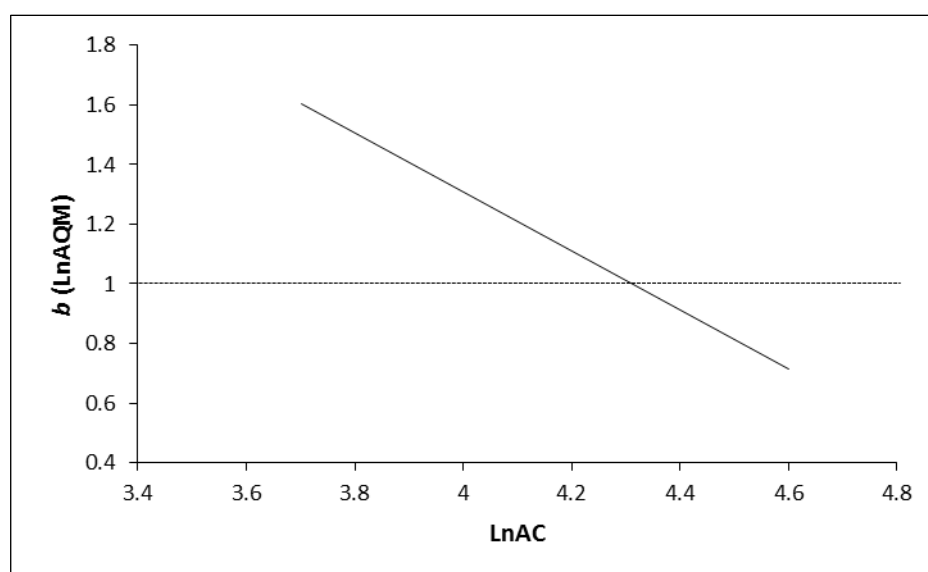
**Figura 3.** El exponente  $b$  generalizado para el crecimiento alométrico en  $\text{LnAC}$  vs  $\text{LnLC}$ . Utilizando el modelo cuadrático en machos de *U. occidentalis*. Línea punteada indica isometría.



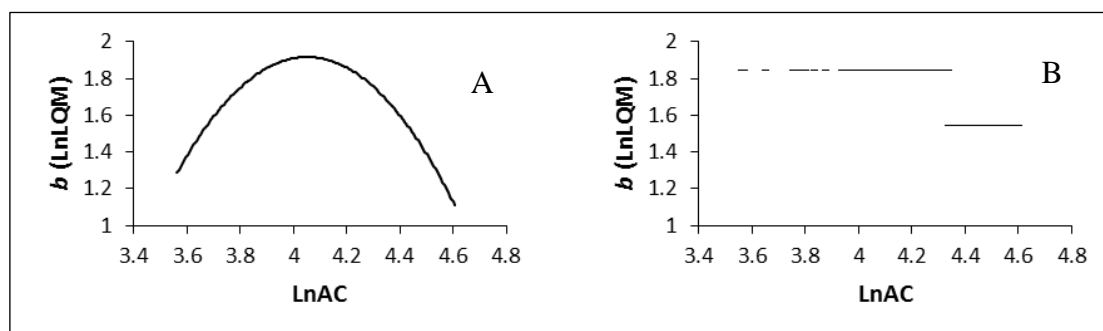
**Figura 4.** El exponente  $b$  generalizado para el crecimiento alométrico en  $\text{LnAC}$  vs  $\text{LnAS}$ . Utilizando el modelo punto de inflexión, en machos de *U. occidentalis*.



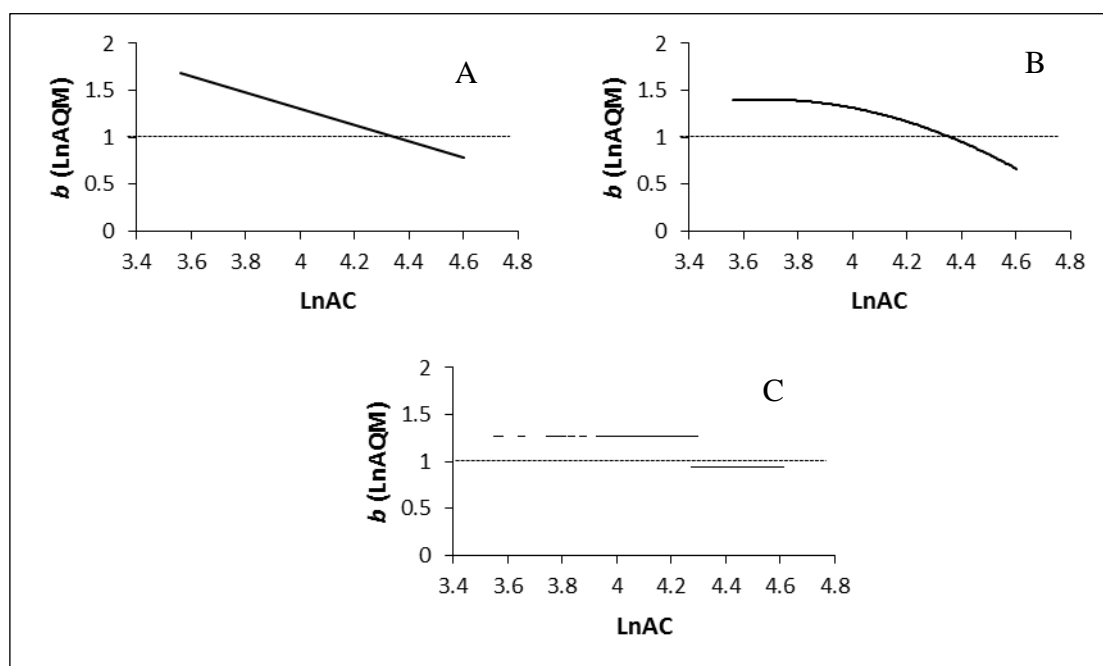
**Figura 5.** El exponente  $b$  generalizado para el crecimiento alométrico en  $\text{LnAC}$  vs  $\text{LnLQM}$  en machos heteroquelos de *U. occidentalis*, utilizando los modelos. A) Cuadrático; B) Punto de inflexión.



**Figura 6.** El exponente  $b$  generalizado para el crecimiento alométrico en  $\text{LnAC}$  vs  $\text{LnAQM}$ . Utilizando el modelo cuadrático, en machos heteroquelos de *U. occidentalis*. Línea punteada indica isometría.



**Figura 7.** El exponente  $b$  generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnLQM en machos homoquelos de *U. occidentalis*, empleando los modelos. A) Cúbico; B) Punto de inflexión.



**Figura 8.** El exponente  $b$  generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnAQM en machos homoquelos de *U. occidentalis*, empleando los modelos. A) Cuadrático; B) Cúbico; C) Punto de inflexión. Línea punteada indica isometría.

### 3.2. Inferencia de modelos múltiples en hembras de *U. occidentalis*

Solo dos (LQM y AQM de homoquelos) de las seis medidas morfométricas estudiadas, tuvieron a más de uno como el mejor modelo.

En la relación AC vs LC se determinó que el modelo C fue el mejor con un soporte del 92,47% Wi, mostrando un crecimiento alométrico negativo hasta 36,6 mm AC, donde se vuelve isométrico y en 54,6 mm AC, regresa ser negativo (Figura 9).

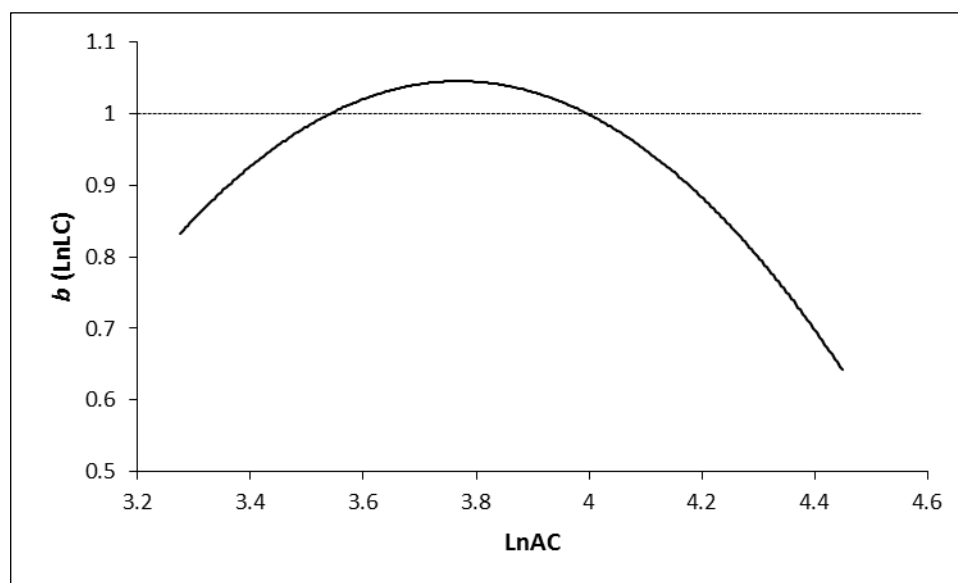
Mientras que para AC vs AS el modelo Q fue el mejor modelo con un soporte de 94,18% Wi, con un cambio de alometría (de positiva a negativa) en 60,9 mm AC (Figura 10) (Tabla IV).

En cangrejos heteroquelos las relaciones AC vs LQM y AC vs AQM tuvieron como mejor modelo el Pi (punto de quiebre: 65,72 mm AC y 63,38 mm AC) con un soporte de 86,36% y 92,20% Wi respectivamente. Ambas regresiones mostraron un cambio de alometría positiva a negativa en diferentes puntos de transición 66 LQM y 63,4 mm AC en AQM (Figura 11 y 12) (Tabla IV).

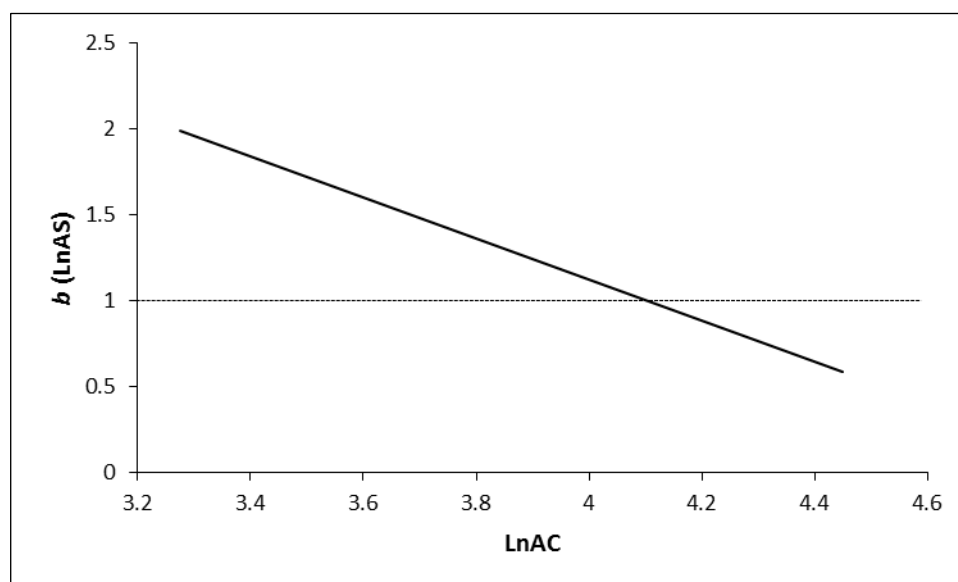
En cangrejos homoquelos las relaciones AC vs LQM y AC vs AQM obtuvieron como mejor modelo el L con un soporte de 58,94% y 53,76% Wi respectivamente; pero Q en base  $\Delta i$  presento gran soporte de los datos. El crecimiento alométrico de AC vs LQM se mantuvo positivo a lo largo de las tallas en ambos modelos (L y Q) (Figura 13). Mientras que AC vs AQM muestra isometría en el modelo L y una transición de alometría negativa a isometría (54,6 mm AC) en el modelo Q (Figura 14) (Tabla IV).

**Tabla IV.** Valores de Akaike (AICc), diferencias de Akaike ( $\Delta_i$ ) y el peso de Akaike (Wi) obtenido para los modelos lineal (L), cuadrático (Q), cúbico (C) y punto de inflexión (PI) en hembras de *U. occidentalis*. \* Modelo de mejor ajuste.

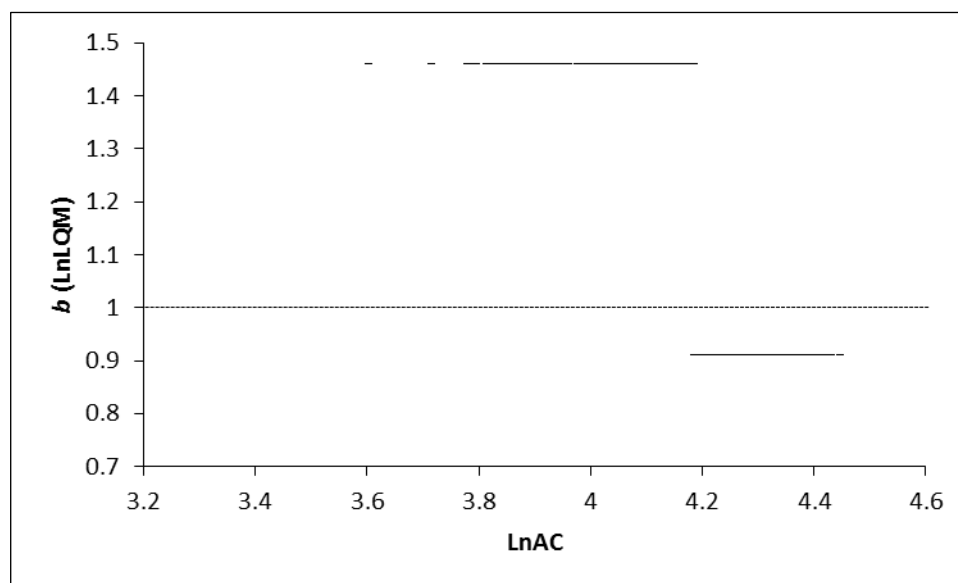
	LC	AS	HETEROQUELAS		HOMOQUELAS	
			LQM	AQM	LQM	AQM
<b>AICc</b>						
<b>L</b>	-3854,52	-2331,68	-1609,72	-1830,75	<b>-158,75*</b>	<b>-135,00*</b>
<b>Q</b>	-3889,30	<b>-2437,94*</b>	-1683,20	-1939,95	-156,73	-133,48
<b>C</b>	<b>-3894,32*</b>	-2432,31	-1678,28	-1914,00	-155,34	-131,45
<b>PI</b>	-3779,80	-2425,37	<b>-1687,06*</b>	<b>-1944,89*</b>	-154,96	-132,00
<b><math>\Delta_i</math></b>						
<b>L</b>	39,79	106,26	77,33	114,15	<b>0,00*</b>	<b>0,00*</b>
<b>Q</b>	5,02	<b>0,00*</b>	3,85	4,94	2,02	1,52
<b>C</b>	<b>0,00*</b>	5,63	8,78	30,89	3,41	3,55
<b>PI</b>	114,52	12,57	<b>0,00*</b>	<b>0,00*</b>	3,79	3,00
<b>Wi (%)</b>						
<b>L</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>58,94*</b>	<b>53,76*</b>
<b>Q</b>	7,53	<b>94,18*</b>	12,57	7,80	21,48	25,16
<b>C</b>	<b>92,47*</b>	5,65	1,07	0,00	10,72	9,10
<b>PI</b>	0,00	0,18	<b>86,36*</b>	<b>92,20*</b>	8,86	11,99



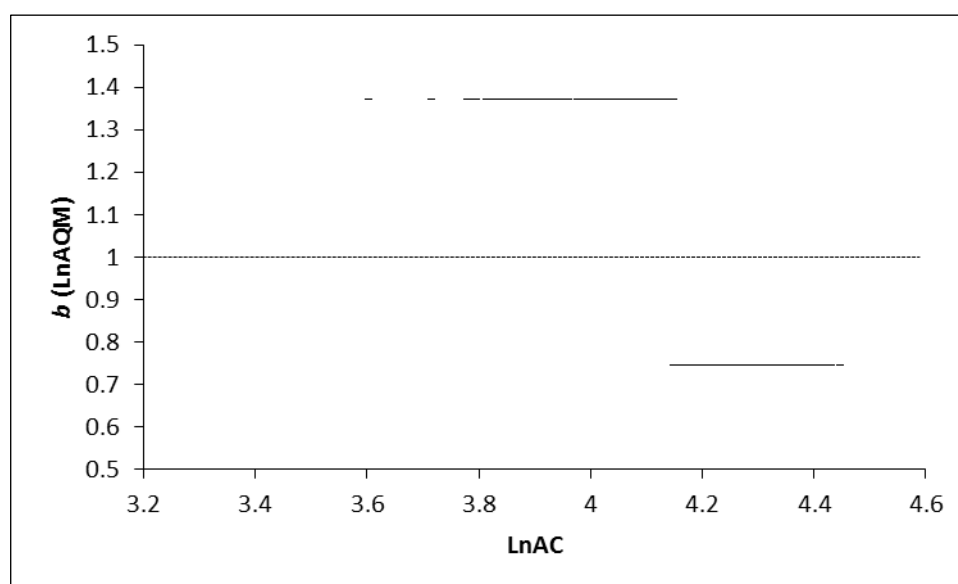
**Figura 9.** El exponente  $b$  generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnLC. Utilizando el modelo cúbico en hembras de *U. occidentalis*. Línea punteada indica isometría.



**Figura 10.** El exponente  $b$  generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnAS. Utilizando el modelo cuadrático en hembras de *U. occidentalis*. Línea punteada indica isometría.

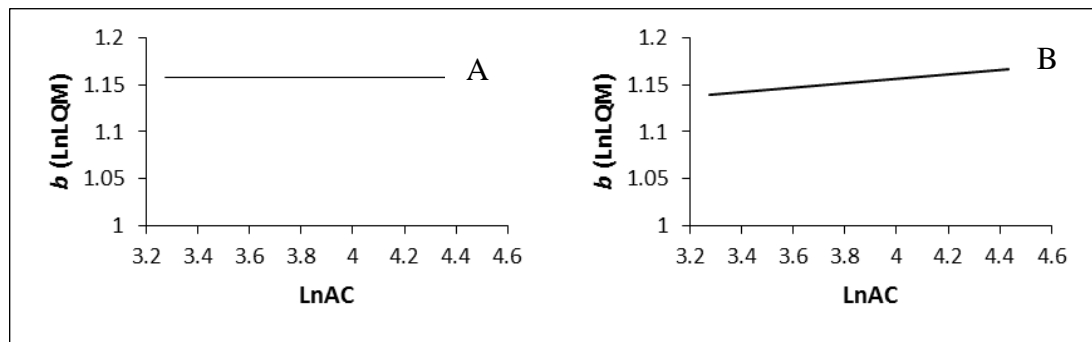


**Figura 11.** El exponente  $b$  generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnLQM en el modelo punto de inflexión de hembras heteroquelas de *U. occidentalis*. Línea punteada indica isometría.

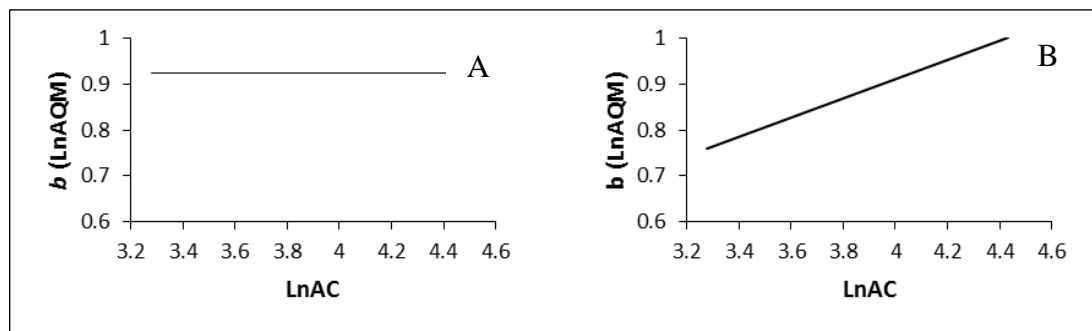


**Figura 12.** El exponente  $b$  generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnAQM en el modelo punto de inflexión de hembras heteroquelas de *U. occidentalis*. Línea punteada indica isometría.





**Figura 13.** El exponente  $b$  generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnLQM en hembras homoquelos de *U. occidentalis*, empleando los modelos. A) Lineal; B) Cuadrático.



**Figura 14.** El exponente  $b$  generalizado para el crecimiento alométrico en LnAC vs LnAQM en hembras homoquelos de *U. occidentalis*, empleando los modelos. A) Lineal; B) Cuadrático.

## CAPITULO IV.

### 4. Discusión

Es preciso mencionar que la teoría de la información ha sido utilizada en otros crustáceos (e. g. *Portunus pelagicus*, *Hypothalassia acerba*, *Chaceon bicolor*, *Pachygrapsus marmoratus*) y es la primera vez que se usa para *U. occidentalis* (9, 13, 15, 40). Los estudios alométricos previos en *U. occidentalis* han usado *a priori* el modelo L (e. g. 1, 22, 30) y para estimar la madurez morfométrica, se ha empleado el modelo Pi (e. g. 24, 31). En este estudio se encontró al modelo L como el mejor tan solo para dos relaciones (LQM y AQM en hembras homoquelas), podemos inferir entonces que su uso generalizado ha provocado la pérdida de información biológica, como patrones de crecimiento no lineales, y ha causado que se juzgue el tipo de alometría de forma errónea (Anexo A).

En la relación AC vs LC en machos el mejor modelo fue Q y en hembras C; por lo que no habría sustento para estimar madurez morfométrica en esta relación. Este resultado es similar a lo encontrado por Muñiz y Peralta (22).

Para machos en la relación AC vs AS se encontró una marcada diferencia en las tasas de crecimiento del quinto somito y el AC, observado también en *P. marmoratus* (15). *U. occidentalis* posee las gónadas completamente desarrolladas desde los 63-68 mm (1), esto indica que el valor del punto de inflexión se da en una talla en la cual el cangrejo es adulto. Este punto de inflexión puede ser el resultado de la desviación de la energía para otros procesos biológicos.

En la relación AC vs AS de las hembras se observa un cambio de alometría (de positiva a negativa), este valor (60,9 mm AC) en el modelo Q difiere del expuesto por otros autores para *U. occidentalis* mediante Pi (50,8; 55,63 y 52,74 mm AC) (24, 30, 31). Aunque no existe un marcado cambio en las tasas de crecimiento, la transición del quinto somito demuestra la eficiencia del mecanismo para soporte de los huevos (11). Para esta relación visualmente se puede notar una marcada diferencia de crecimiento relativo, pero el valor de Akaike nos indica que el modelo Pi no tiene ningún soporte sobre los datos. Esto se podría explicar por la baja representatividad de individuos con tallas pequeñas (2,4% de machos <59mm; 2,8% de hembras <55mm).

Aunque el modelo Pi se puede aplicar (no como el mejor modelo) a las regresiones de las quelas en los machos (excepto en AC vs AQM de heteroquelos), los valores del punto de inflexión son muy altos (>70 mm AC). Por lo tanto las quelas no pueden ser utilizadas para estimar la talla de madurez sexual morfométrica; resultado similar al encontrado por Zambrano y Alemán-Dyer (21), esto se debe a que al igual que en la relación AC vs AS, el punto de inflexión se da en una talla en la que los individuos ya

son adultos. Los modelos encontrados como mejores, indican que el crecimiento de las quelas es progresivo sobre todas las series de mudas; este tipo de desarrollo puede ser observado también en especies como *Homarus americanus*, *Chionecetes opilio* y *P. traversus* (9, 29, 41).

Los propodios quelares de las hembras heteroquelas tienen un marcado cambio en la tasa de crecimiento (modelo Pi) de sus caracteres, sin embargo, su punto de inflexión (66 mm AC en LQM y 63,4 mm AC en AQM) difiere del encontrado para la misma especie por otros autores utilizando AS (50,8; 55,63 y 52,74 mm AC) (24, 30, 31), y del cambio de alometría descrito en este mismo estudio mediante la relación AC vs AS (60,9 mm AC). Esta diferencia puede deberse a que las quelas en hembras no sean un carácter sexual secundario; por lo que es posible que no se pueda utilizar para la estimación de madurez sexual morfométrica.

Las relaciones AC vs LQM y AC vs AQM para el morfotipo homoquelo en hembras, poseen dos modelos como los mejores (L y Q). El comportamiento de estos resultados se podría explicar por la baja cantidad de individuos que presentan estas regresiones, ya que unos pocos puntos pueden alterar la interpretación de la alometría (42).

Se observó que el  $R^2$ , no puede utilizarse como método de selección de modelos ya que dentro de cada regresión, los modelos tienen una diferencia de  $\pm 0,02$  en sus valores (Anexo B y C). Estas diferencias son muy bajas como para seleccionar un mejor modelo, lo que convierte a este método en poco significativo (43, 44).

## CONCLUSIONES

- Debido a que el modelo lineal no se ajusta correctamente a los datos, se infiere que no es el más adecuado para las relaciones morfométricas en *U. occidentalis*.
- No existe un modelo estándar para modelar el crecimiento alométrico en todas las variables. Cada modelo se ajusta a las medidas morfométricas a utilizar.
- Las variables morfométricas analizadas en machos y hembras no son las adecuadas para realizar estimaciones de madurez sexual morfométrica. Aunque el modelo Pi resulte el mejor, esto no significa que se pueda realizar la estimación de la madurez morfométrica con esta regresión, aun cuando este resulte como el mejor modelo en algún caso, como se observa en hembras heteroquelas.
- Se encontró que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) no es útil para encontrar el mejor modelo para la estimación de madurez morfométrica.
- Basándose en que ninguno de los modelos analizados sirve para la estimación de la madurez morfométrica de *U. occidentalis*, se encontró que es necesario

el uso de otros métodos (e. g. madurez fisiológica) para determinar su madurez sexual.

- Las relaciones morfométricas analizadas no son idóneas para estimar el tamaño de madurez sexual de *U. occidentalis*.

## RECOMENDACIONES

- Se debe evitar el uso del modelo lineal para relacionar variables morfométricas, por la pérdida de información que conlleva
- El modelo para el ajuste de los datos dependerá de las variables que se utilicen por lo tanto, se deberán definir en primera instancia las relaciones morfométricas y luego definir el modelo.
- Se deben considerar otras variables morfométricas (e.g. longitud de pleópodos) para estimar madurez sexual.
- Se debe aumentar el  $n$  de las clases de tallas pequeñas, ( $< 60$  mm AC) para considerar la influencia de estos valores en la selección de modelos.
- Se debe mejorar el “Protocolo de muestreo: estudios de densidad poblacional y aspectos reproductivos den cangrejo rojo de manglar (*Ucides occidentalis*) en el Golfo de Guayaquil”, para aumentar la incidencia de los individuos juveniles.

## **ANEXOS**



**Anexo A** – Tabla de relación de evidencia entre modelos de  
regresión de *Ucides occidentalis*

		LC	AS	Heteroquelas		Homoquelas	
				LQM	AQM	LQM	AQM
Machos	L	1567,6	501,5	992,5	2,6E+05	409,8	4,4E+05
	Q		17,5			6,8	
	C	25,9	5,0	3,5	3,1		1,5
	PI	5,7		2,1	3,0	2,9	2,6
Hembras	L	4,4E+08	1,1 E+23	6,2E+16	6,1E+24		
	Q	12,3		6,9	11,8	2,7	2,1
	C		16,7	80,4	5,1E+06	5,5	5,9
	PI	7,3E+24	535,5			6,7	4,5

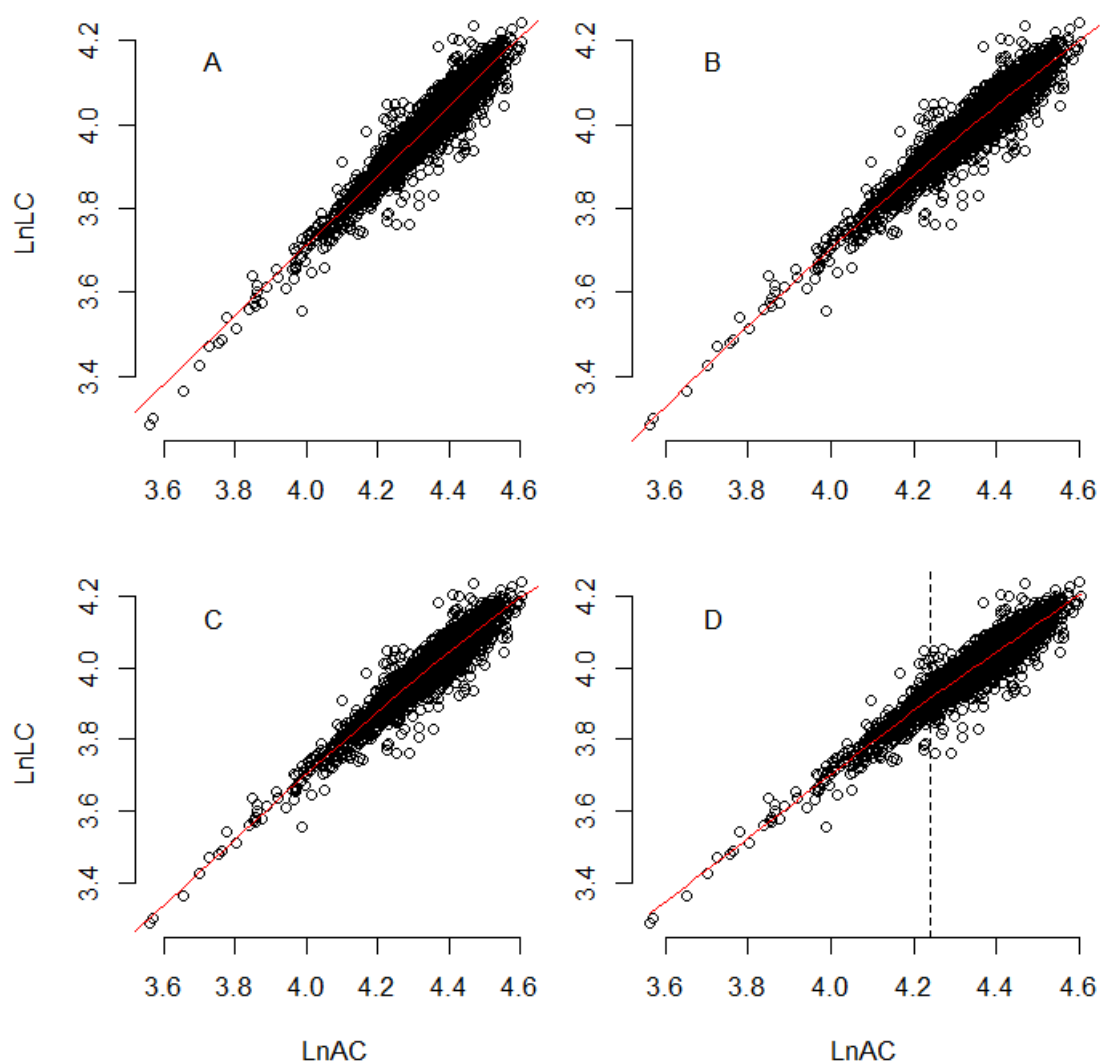
**Anexo B** – Tabla de parámetros de regresión calculados para machos de *Ucides occidentalis*

		LC	AS	Heteroquelos		Homoquelas	
				LQM	AQM	LQM	AQM
<b>L</b>	<b>a1</b>	0,40	-0,35	-2,17	-0,98	-3,10	-1,44
	<b>b1</b>	0,83	0,74	1,52	1,04	1,72	1,07
	<b>RSS</b>	3,22	18,56	7,35	4,93	12,99	8,43
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,90	0,56	0,85	0,80	0,85	0,78
<b>Q</b>	<b>a1</b>	-1,86	-4,28	-10,65	-10,01	-9,02	-9,29
	<b>b1</b>	1,89	2,57	5,49	5,27	4,49	4,75
	<b>b2</b>	-0,12	-0,21	-0,46	-0,49	-0,32	-0,43
	<b>RSS</b>	3,18	18,45	7,18	4,74	12,83	8,14
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,91	0,57	0,86	0,81	0,85	0,78
<b>C</b>	<b>a1</b>	3,57	36,05	11,45	-2,30	54,28	11,51
	<b>b1</b>	-2,02	-26,42	-10,29	-0,24	-41,20	-10,26
	<b>b2</b>	0,81	6,72	3,29	0,81	10,64	3,17
	<b>b3</b>	-0,07	-0,55	-0,30	-0,10	-0,88	-0,29
	<b>RSS</b>	3,19	18,40	7,19	4,74	12,74	8,13
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,91	0,57	0,86	0,81	0,86	0,78
<b>PI</b>	<b>a1</b>	0,15	-0,64	-3,04	-2,04	-3,62	-2,21
	<b>b1</b>	0,89	0,81	1,73	1,29	1,84	1,25
	<b>b2</b>	0,80	0,55	1,41	0,94	1,54	0,92
	<b>RSS</b>	3,19	18,36	7,18	4,74	12,77	8,14
	<b>LnX</b>	4,24	4,37	4,24	4,22	4,34	4,29
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,91	0,57	0,86	0,81	0,85	0,78

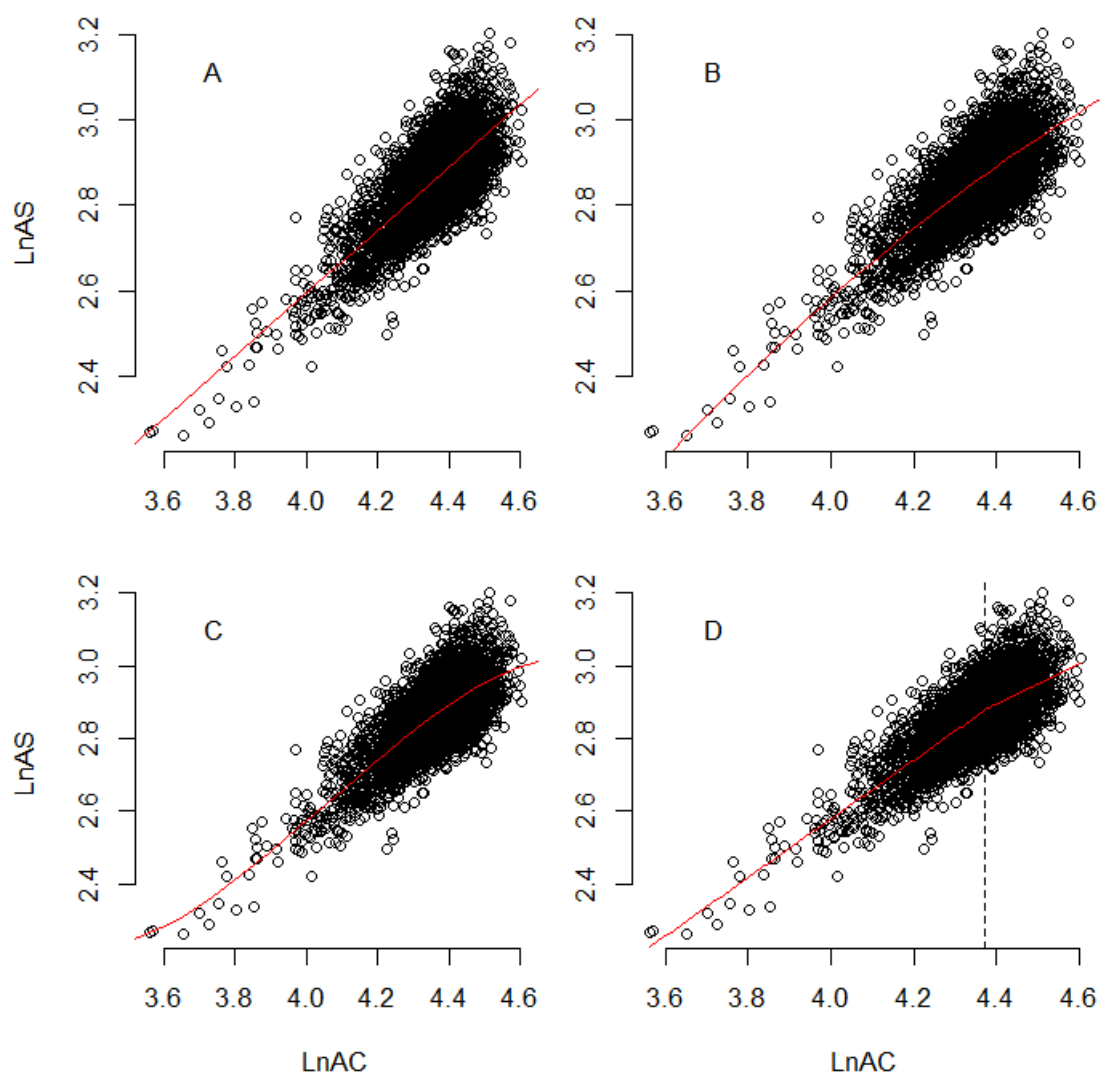
**Anexo C – Tabla de parámetros de regresión calculados para**  
**hembras de *Ucides occidentalis***

		LC	AS	Heteroquelos		Homoquelas	
				LQM	AQM	LQM	AQM
<b>L</b>	<b>a1</b>	0,15	-0,35	-0,88	-0,71	-1,04	-0,88
	<b>b1</b>	0,90	0,96	1,17	0,98	1,16	0,93
	<b>RSS</b>	3,74	10,66	10,45	8,63	5,53	6,03
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,88	0,73	0,75	0,72	0,65	0,52
<b>Q</b>	<b>a1</b>	-3,45	-10,62	-17,21	-18,63	-0,85	0,86
	<b>b1</b>	2,64	5,93	9,02	9,58	1,06	0,07
	<b>b2</b>	-0,21	-0,60	-0,94	-1,03	0,01	0,11
	<b>RSS</b>	3,64	9,89	9,79	7,84	5,53	6,02
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,88	0,76	0,77	0,74	0,65	0,52
<b>C</b>	<b>a1</b>	15,16	-17,35	78,51	51,00	29,97	14,71
	<b>b1</b>	-11,36	11,00	-60,87	-41,25	-22,58	-10,56
	<b>b2</b>	3,29	-1,87	16,05	11,33	6,03	2,81
	<b>b3</b>	-0,29	0,11	-1,38	-1,00	-0,51	-0,23
	<b>RSS</b>	3,63	9,92	9,82	8,01	5,52	6,02
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,88	0,76	0,77	0,74	0,65	0,52
<b>PI</b>	<b>a1</b>	-0,06	-2,65	-2,04	-2,32	-0,60	0,02
	<b>b1</b>	0,95	1,55	1,46	1,37	1,04	0,68
	<b>b2</b>	0,72	0,87	0,91	0,74	1,18	0,96
	<b>RSS</b>	3,92	9,97	9,74	7,79	5,53	6,01
	<b>LnX</b>	4,26	3,97	4,19	4,15	3,75	3,75
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,88	0,75	0,77	0,74	0,65	0,52

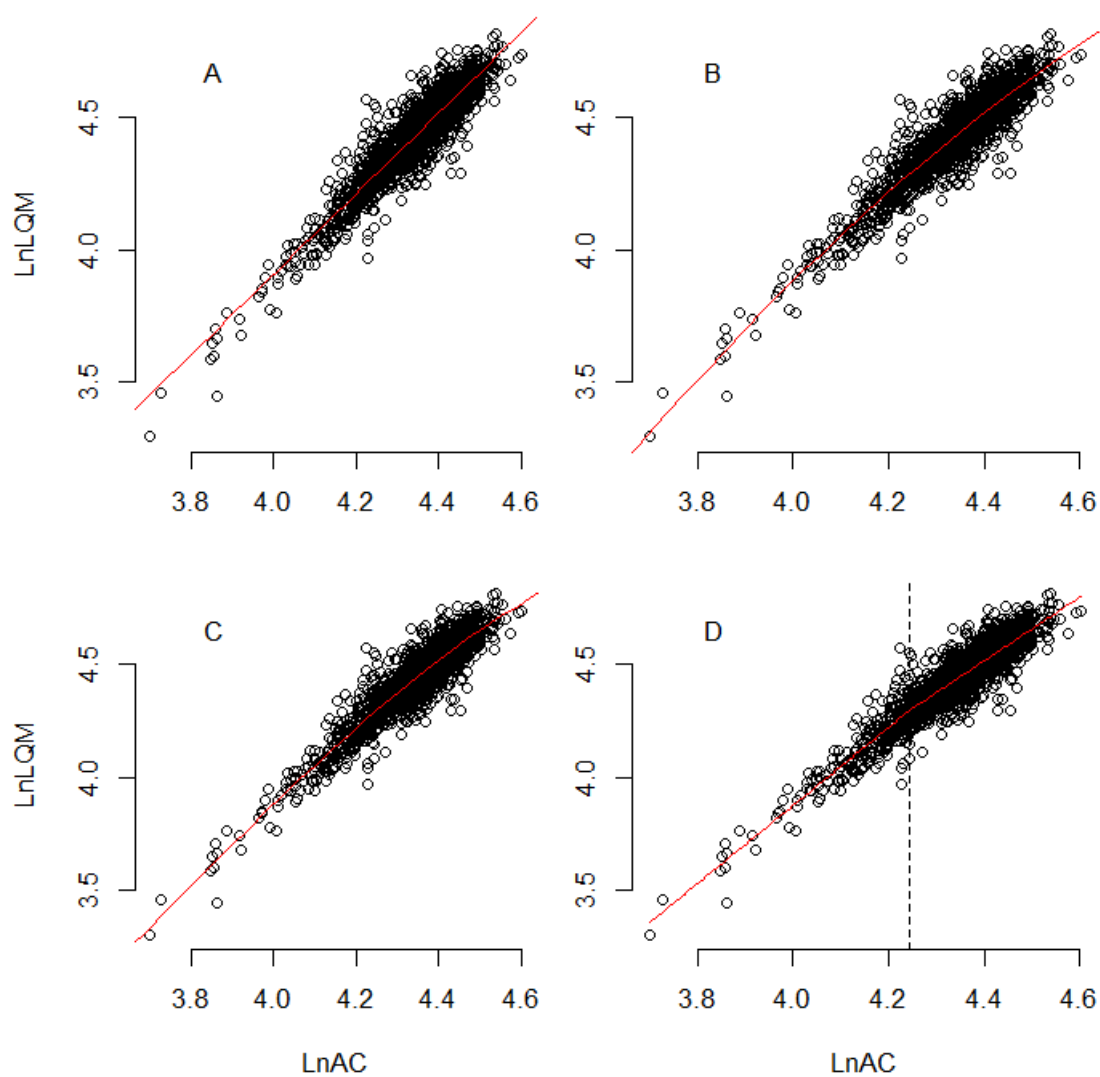
**Anexo D** – Relaciones morfométricas para machos de *Ucides*  
*occidentalis*



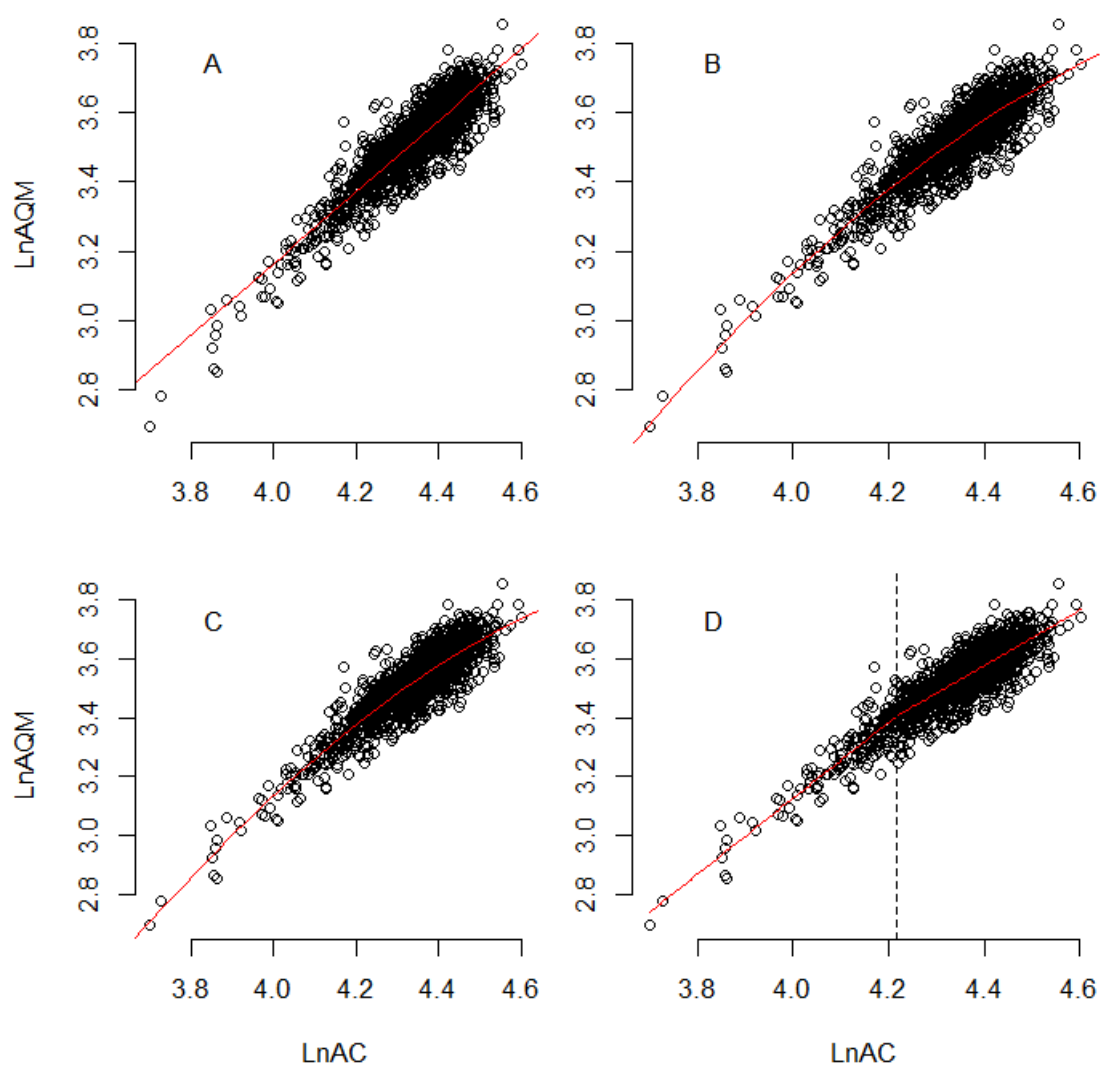
Relaciones morfométricas entre LnAC vs LnLC en machos de *U. occidentalis*, empleando varios modelos. A) Lineal; B) Cuadrático; C) Cúbico; D) Punto de inflexión.



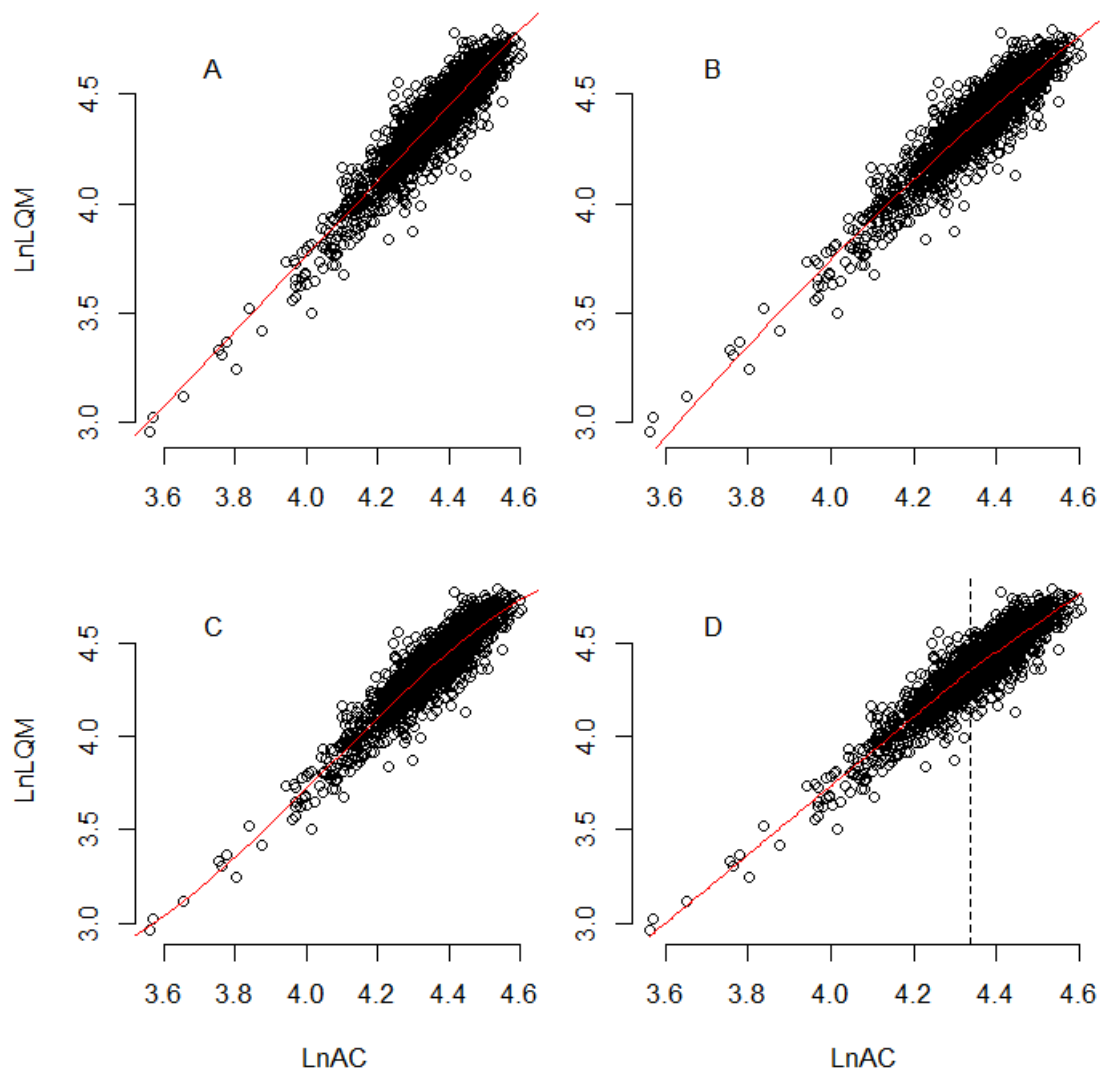
Relaciones morfométricas entre LnAC vs LnAS en machos de *U. occidentalis*, empleando varios modelos. A) Lineal; B) Cuadrático; C) Cúbico; D) Punto de inflexión.



Relaciones morfométricas entre LnAC vs LnLQM en machos heteroquenos de *U. occidentalis*, empleando varios modelos. A) Lineal; B) Cuadrático; C) Cúbico; D) Punto de inflexión.

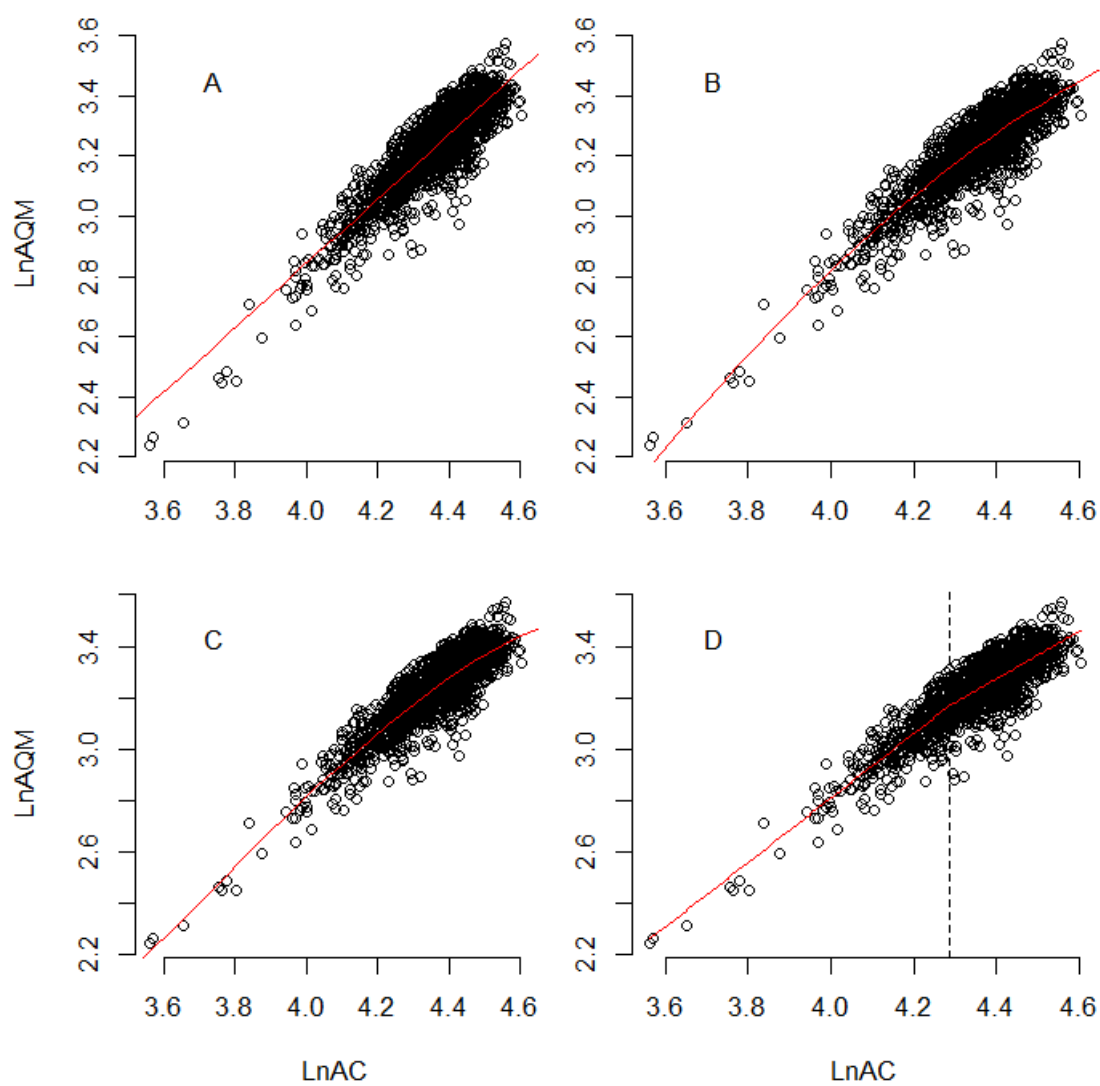


Relaciones morfométricas entre  $\text{LnAC}$  vs  $\text{LnAQM}$  en machos heteroquelas de *U. occidentalis*, empleando varios modelos. A) Lineal; B) Cuadrático; C) Cúbico; D) Punto de inflexión.



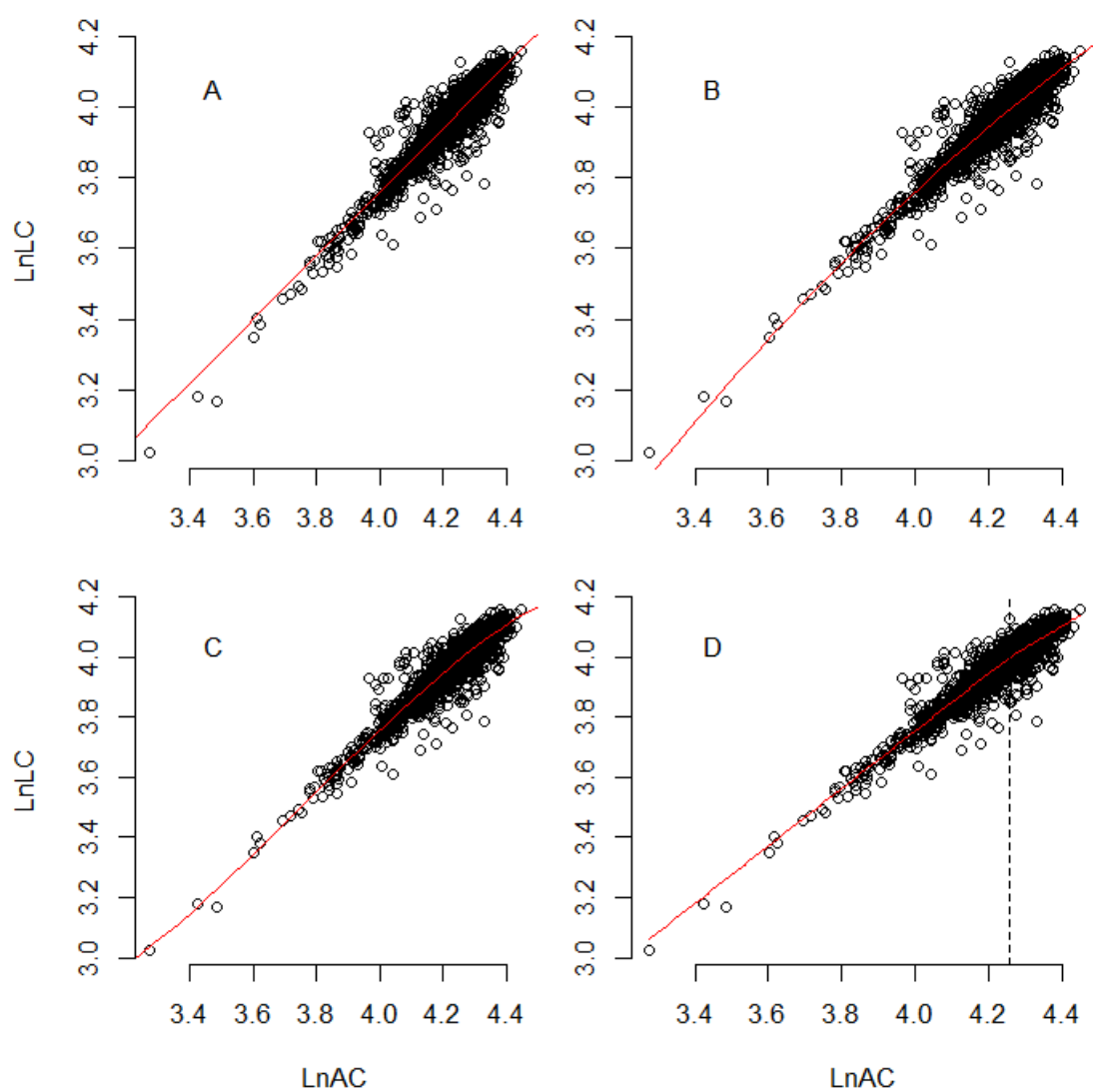
Relaciones morfométricas entre LnAC vs LnLQM en machos homoquelos de *U. occidentalis*, empleando varios modelos. A) Lineal; B) Cuadrático; C) Cúbico; D) Punto de inflexión.



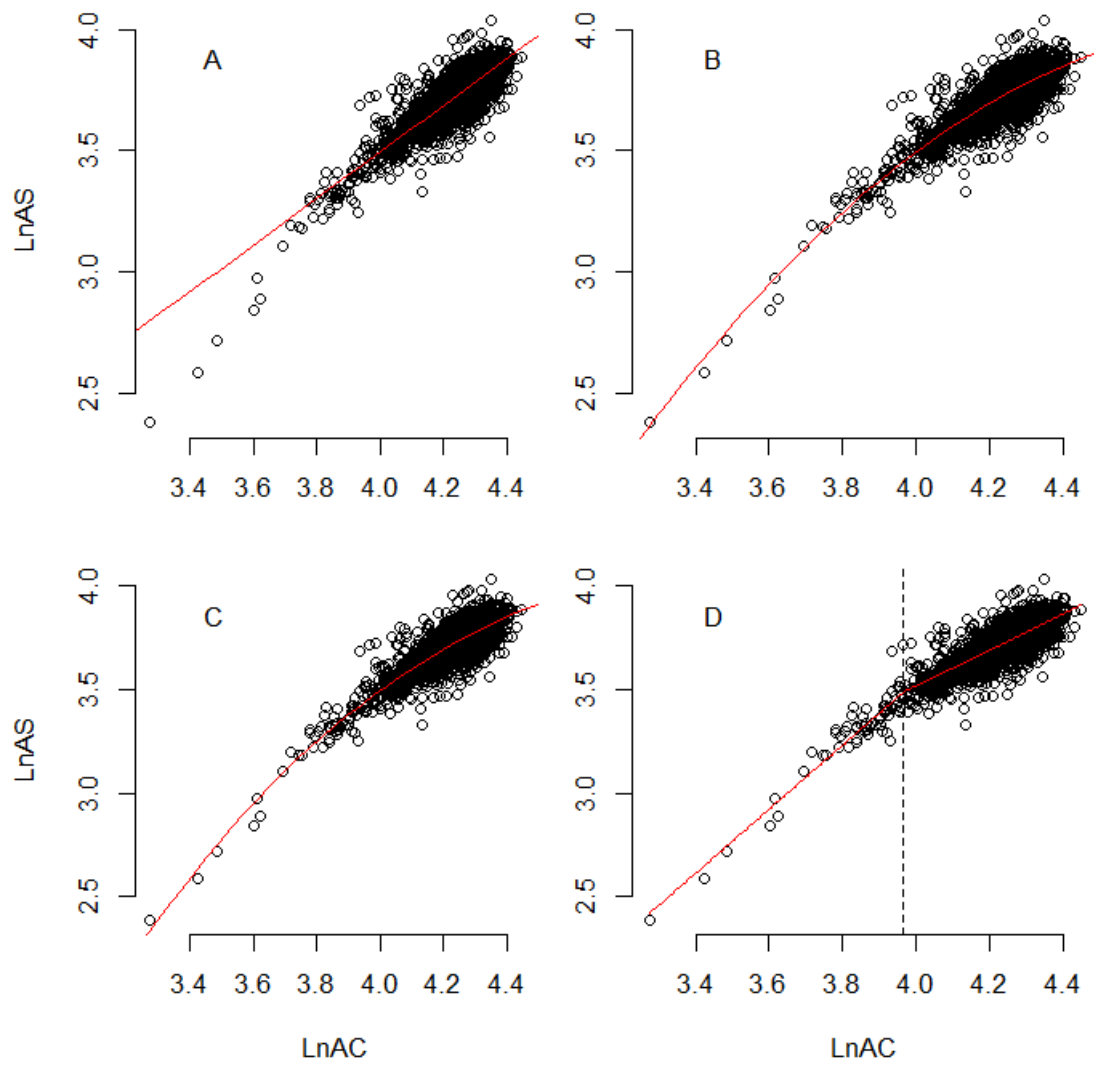


Relaciones morfométricas entre  $\text{LnAC}$  vs  $\text{LnAQM}$  en machos homoceles de *U. occidentalis*, empleando varios modelos. A) Lineal; B) Cuadrático; C) Cúbico; D) Punto de inflexión.

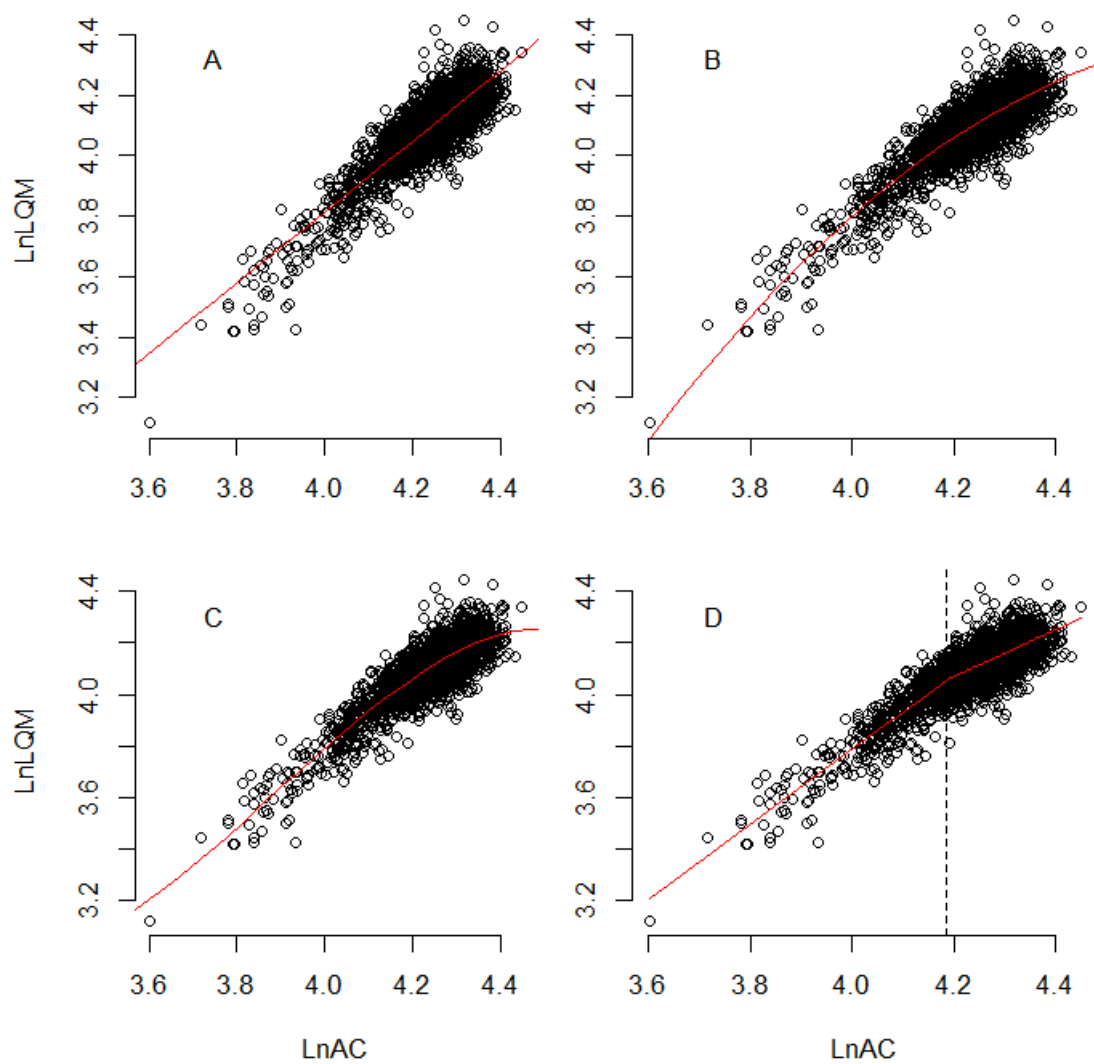
**Anexo E – Relaciones morfométricas para hembras de *Ucides***  
*occidentalis*



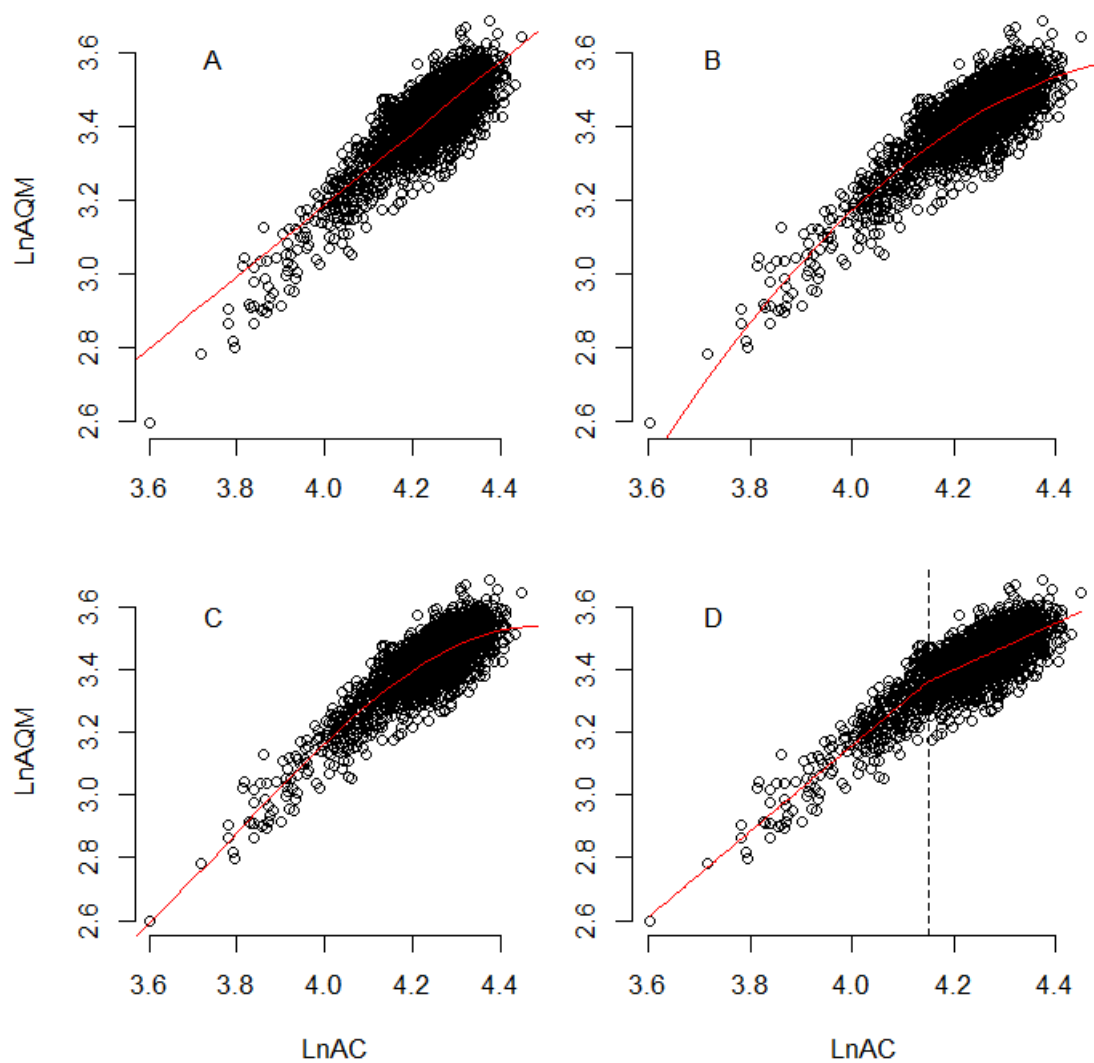
Relaciones morfométricas entre LnAC vs LnLC en hembras de *U. occidentalis*, empleando varios modelos. A) Lineal; B) Cuadrático; C) Cúbico; D) Punto de inflexión.



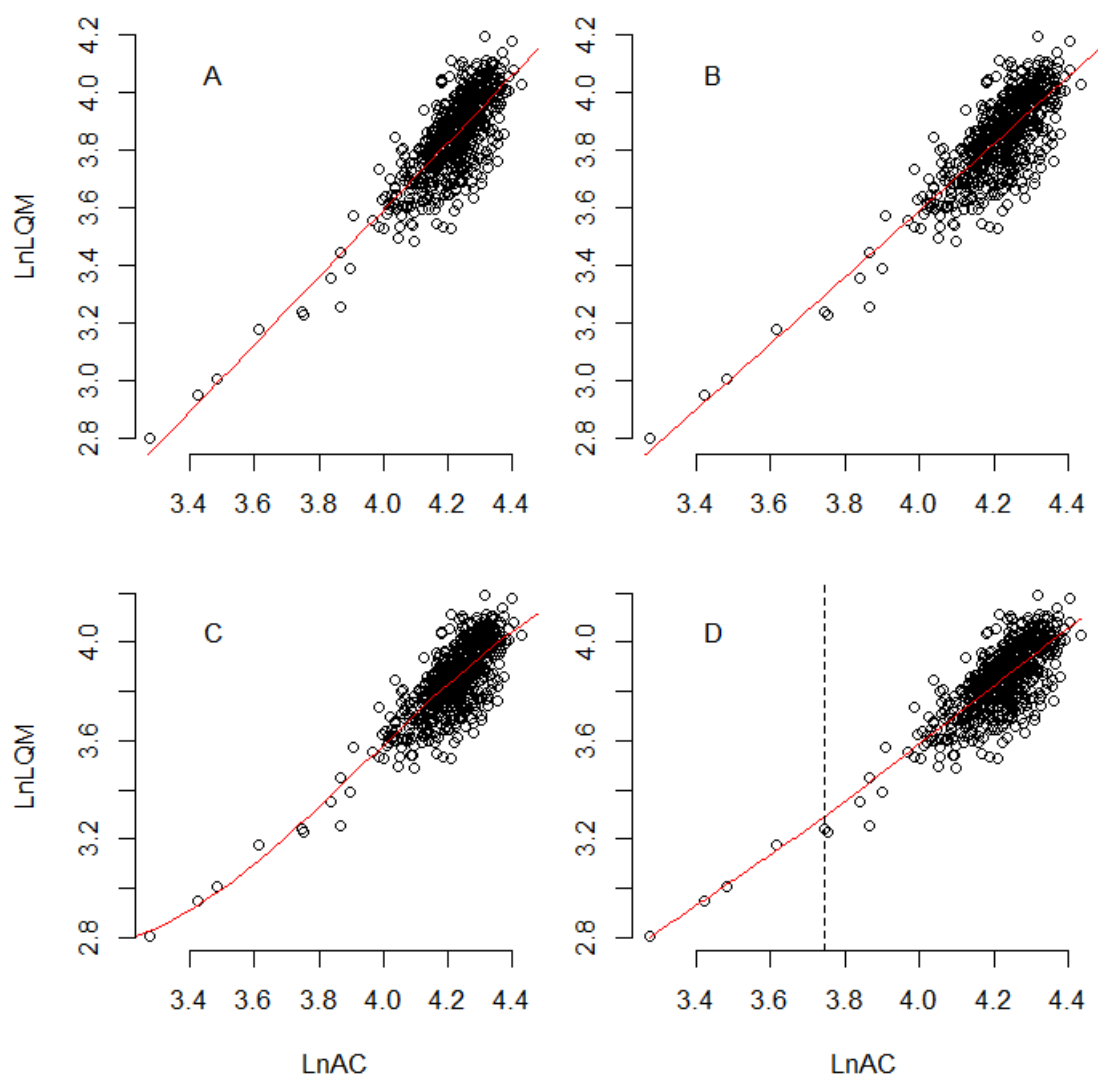
Relaciones morfométricas entre LnAC vs LnAS en hembras de *U. occidentalis*, empleando varios modelos. A) Lineal; B) Cuadrático; C) Cúbico; D) Punto de inflexión.



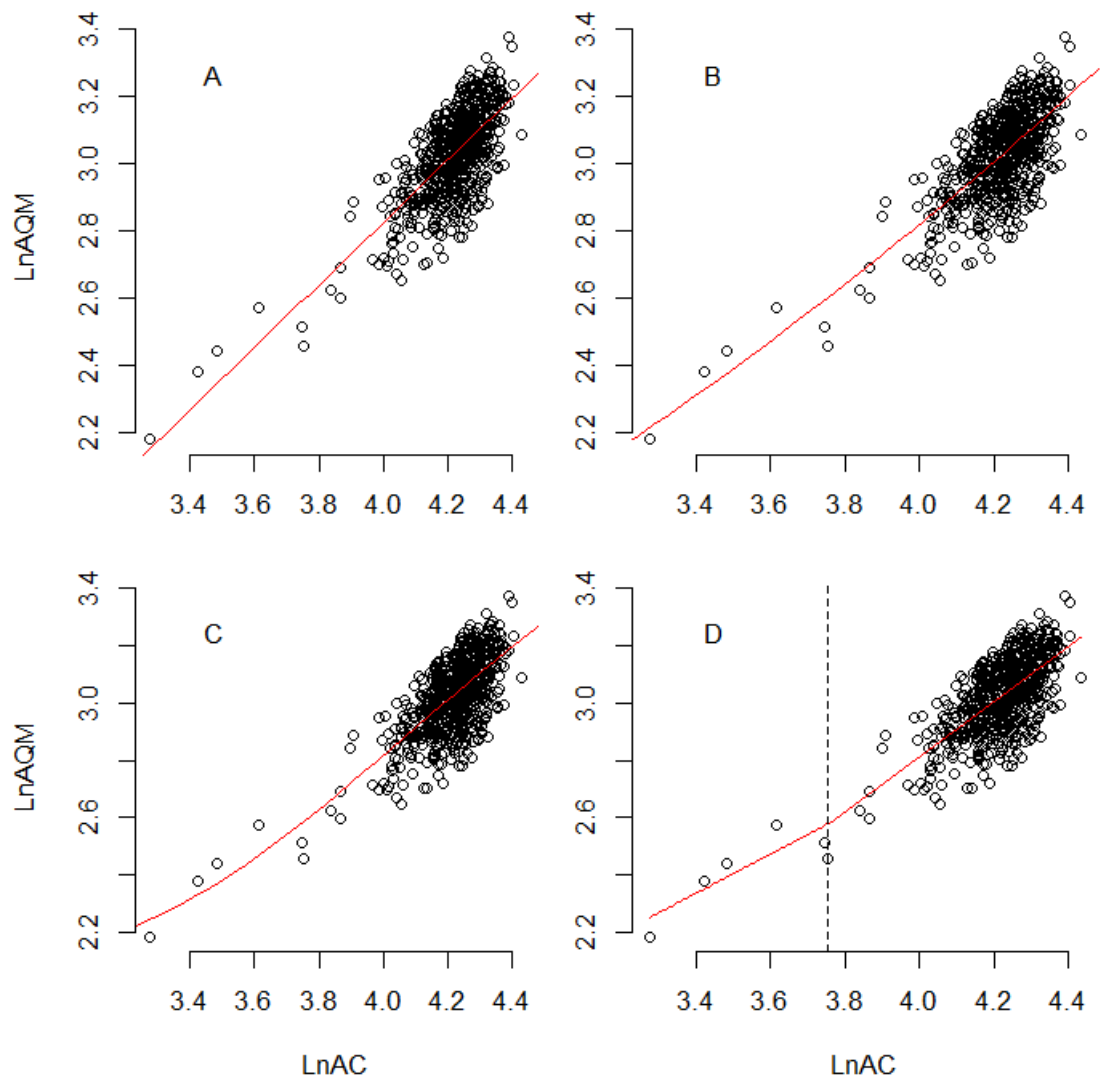
Relaciones morfométricas entre LnAC vs LnLQM en hembras heterocelulas de *U. occidentalis*, empleando varios modelos. A) Lineal; B) Cuadrático; C) Cúbico; D) Punto de inflexión.



Relaciones morfométricas entre LnAC vs LnAQM en hembras heterocelulas de *U. occidentalis*, empleando varios modelos. A) Lineal; B) Cuadrático; C) Cúbico; D) Punto de inflexión.



Relaciones morfométricas entre LnAC vs LnLQM en hembras homoquelos de *U. occidentalis*, empleando varios modelos. A) Lineal; B) Cuadrático; C) Cúbico; D) Punto de inflexión.



Relaciones morfométricas entre LnAC vs LnAQM en hembras homocelosas de *U. occidentalis*, empleando varios modelos. A) Lineal; B) Cuadrático; C) Cúbico; D) Punto de inflexión.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Barragan, J. (1993). Biología del cangrejo rojo de manglar *Ucides occidentalis* Ortmann, (Crustacea: Decapoda: Gecarcinidae). Revista de Ciencias Del Mar Y de Limnología, 3(1), 135–149.
2. Villón, C., Chalén, X., Molina, R., González, J., & Castro, F. (2004). Manejo sustentable del recurso cangrejo rojo *Ucides occidentalis* en la zona de manglar concesionada a la Asociación de Cangrejeros 6 de Julio. Fundación Ecológica de Rescate Jambelí.
3. Twilley, R. R., Pozo, M., García, V., Rivera-Monroy, V. H., & Zambrano, R. (1997). Litter dynamics in riverine mangrove forests in the Guayas River estuary, Ecuador. Oecologia, 111, 109–122.
4. Tazán, G., & Pozo, M. (2001). Análisis de las pesquerías de *Ucides occidentalis* Ortmann y su manejo sostenible en la Reserva Ecológica Manglares Churute. Universidad Agraria.



5. Flores. (2012). Cadena de valor del cangrejo rojo en el Golfo de Guayaquil. Quito - Ecuador: USAID.
6. Solano, F. (2009). Aspectos pesqueros biológicos y socioeconómicos de la captura de Cangrejo Rojo (*Ucides occidentalis*) en los manglares del Ecuador.
7. Jewett, S., Sloan, N., & Somerton, D. (1985). Size at Sexual Maturity and Fecundity of the Fjord-Dwelling Golden King Crab *Lithodes*. *Journal of Crustacean Biology*, 5(3), 377–385 pp.
8. Dalabona, G., Loyola e Silva, J., & Pinheiro, M. (2005). Size at Morphological Maturity of *Ucides cordatus* in the. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(1), 139–145.
9. Hall, N. G., Smith, K. D., De Lestang, S., & Potter, I. C. (2006). Does the largest chela of the males of three crab species undergo an allometric change that can be used to determine morphometric maturity? *ICES Journal of Marine Science*, 63, 140–150.
10. Hartnoll, R. (1978). The Determination of relative growth in Crustacea. *Crustaceana*, 34(3), 281–293.
11. Hartnoll, R. (1974). Variation in Growth Pattern between Some Secondary Sexual Characters in Crabs (Decapoda Brachyura). *Crustaceana*, 27(2), 131–136.

12. Huxley, J. (1932). Problems of relative growth. London.
13. Katsanevakis, S., Thessalou-Legaki, M., Karlou-Riga, C., Lefkaditou, E., Dimitriou, E., & Verriopoulos, G. (2007). Information-theory approach to allometric growth of marine organisms. *Marine Biology*, 151(3), 949–959.
14. Gayon, J. (2000). History of the concept of allometry. *American Zoologist*, 758, 748–758.
15. Protopapas, N., Katsanevakis, S., Thessalou-Legaki, M., & Verriopoulos, G. (2007). Relative growth of the semi-terrestrial crab *Pachygrapsus marmoratus*: an information-theory approach. *Scientia Marina*, 71(2), 383–394.
16. Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). *Model Selection and Multimodel Inference: a practical information-theoretic approach* (Segunda Ed.).
17. Kathiresan, K., & Bingham, B. L. (2001). Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 40, 81–251.
18. Melana, D. M., Atchue III, J., Yao, C. E., Edwards, R., Melana, E. E., & Gonzales, H. I. (2000). *Mangrove management handbook*.
19. CLIRSEN, & PMRC. Actualización del estudio multitemporal de manglares, camarónicas y áreas salinas en la costa continental ecuatoriana al año 2006 (2007).

20. FAO. (1995). Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca Pacífico Centro Oriental Vol 1: Plantas e Invertebrados. Roma.
21. Zambrano, R., & Alemán-Dyer, C. (En Revisión). Sexual dimorphism and morphometric maturity in males of *Ucides occidentalis* (Ortmann, 1897) (Brachyura, Ucididae) in the Gulf of Guayaquil, Ecuador. Guayaquil.
22. Muñiz, L., & Peralta, B. (1983). Aspectos biometricos de *Ucides occidentalis* ORTMANN. Revista de Ciencias Del Mar Y de Limnología, 2(1), 151–170.
23. Tazán, G., & Wolf, B. (2000). Cangrejo rojo *Ucides occidentalis* (Ortmann) en la Reserva Ecológica Manglares Churute. (Comisión de estudios para el desarrollo de la cuenca del río Guayas, Ed.). Guayaquil.
24. Zambrano, R., & Alemán-Dyer, C. (En Revisión). Período reproductivo y talla de madurez morfométrica en hembras de *Ucides occidentalis* en el Golfo de Guayaquil, Ecuador.
25. Zambrano, R. (En Prensa). Capturas comerciales del cangrejo rojo de manglar (*Ucides occidentalis*) durante el 2012, en el Golfo de Guayaquil, Ecuador.
26. Zambrano, R., & Solano, F. (En Prensa). Análisis de las capturas de cangrejo rojo de manglar (*Ucides occidentalis*), en el Golfo de Guayaquil-Ecuador durante el 2013.

27. Pélabon, C, Firmat, C., Bolstad, G. H., Voje, K. L., Houle, D., Cassara, J., ... Hansen, T. F. (2014). Evolution of morphological allometry. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1320, 58–75.
28. Pérez, J., Ana, Z., & Moreno, G. (2009). Modelos adaptativos en Zoología (Manual de prácticas) 9. Estudio anatómico y funcional de un anélido y un crustáceo, 2(2), 126–141.
29. Conan, G. Y., Comeau, M., Moriyasu, M., Brunswick, N., & Edwards, M. (2001). Are morphometrical approaches appropriate to establish size at maturity for male american lobster, *Homarus americanus*? *Journal of Crustacean Biology*, 21, 937–947.
30. Cedeño, I. (2013). Aspectos reproductivos del cangrejo rojo de manglar (*Ucides occidentalis*), en el Golfo de Guayaquil, Diciembre 2011 - Abril 2012. *Boletín Especial*, 4(2), 17.
31. Solano, F., & Zambrano, R. (En Prensa). Período reproductivo y talla de madurez morfométrica del cangrejo rojo de manglar (*Ucides occidentalis*) en el Golfo de Guayaquil, durante 2013.
32. Somerton, D. (1980). A computer technique for estimating the size of sexual maturity in crabs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(10), 1488–1494.

33. Somerton, D., & MacIntosh, R. A. (1983). Size at sexual maturity of the blue king crab (*Paralithodes platypus*) populations in Alaska. Fishery Bulletin United States, National Marine Fisheries Service.
34. Draper, N. R., & Smith, H. (1998). Applied regression analysis (Tercera Ed.).
35. Akaike, H. (1973). Information theory and extension of the maximum likelihood principle.
36. Urquizo, R., Viejó, L., Carvajal, R., Salas, J., & Bustamante, M. (2011). Biodiversidad del Guayas: conociendo nuestra verdadera riqueza. Guayaquil: Gobierno Provincial del Guayas - Dirección de Medio Ambiente. Poligráfica y Finding Species.
37. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). Sistema Nacional de Información. Tomado de <http://sni.gob.ec/inicio>
38. Cedeño, I. (2012). Protocolo de muestreo: estudios de densidad poblacional y aspectos reproductivos den cangrejo rojo de manglar (*Ucides occidentalis*) en el Golfo de Guayaquil. Boletín Especial, 3(1), 35–52.
39. Hurvich, C. M., & Tsai, C. (1989). Regression and time series model selection in small samples. Biometrika, 76(2), 297–307.
40. Chang, Y.-J., Sun, C.-L., Chen, Y., & Yeh, S.-Z. (2012). Modelling the growth of crustacean species. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 22, 157–187.

41. Flores, A., & Negreiros-Fransozo, M. L. (1999). Allometry of the secondary sexual characters of the shore crab *Pachygrapsus transversus* (Gibbes, 1850) (Brachyura, Grapsidae). *Crustaceana*, 72(9), 1051–1066.
42. Clayton, D. (1990). Crustacean Allometric growth: A case for caution. *Crustaceana*, 58(3), 270–290.
43. McQuarrie, A. D. R., & Tsai, C.-L. (1998). Regression and time series model selection. (World Scientific Publishing Company, Ed.). Singapore.
44. Akaike, H. (1981). Likelihood of a model selection. *Journal of Econometrics*, 16, 3–14.