

**VERIFICACIÓN DEL ESTATUS TAXONÓMICO DEL PEZ ALTOANDINO
COLOMBIANO *Grundulus cochae* ROMÁN-VALENCIA, PAEPKE Y
PANTOJA, 2003, (OSTARIOPHYSI: CHARACIDAE)**

ANDRÉS EDUARDO PEÑA RODRÍGUEZ

**TRABAJO DE GRADO
Presentado como requisito parcial
Para optar al título de**

BIÓLOGO

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOLOGÍA
Bogotá, D.C.
Julio, 2009**

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por que no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por que las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

**VERIFICACIÓN DEL ESTATUS TAXONÓMICO DEL PEZ ALTOANDINO
COLOMBIANO *Grundulus cochae* ROMÁN-VALENCIA, PAEPKE Y
PANTOJA, 2003, (OSTARIOPHYSI: CHARACIDAE)**

ANDRÉS EDUARDO PEÑA RODRÍGUEZ

APROBADO

SAÚL PRADA PEDREROS Ph. D.

Director

ARMANDO ORTEGA LARA M.Sc.

Jurado

JORGE EDUARDO FORERO

Jurado

**VERIFICACIÓN DEL ESTATUS TAXONÓMICO DEL PEZ ALTOANDINO
COLOMBIANO *Grundulus cochae* ROMÁN-VALENCIA, PAEPKE Y
PANTOJA, 2003, (OSTARIOPHYSI: CHARACIDAE)**

ANDRÉS EDUARDO PEÑA RODRÍGUEZ

APROBADO

INGRID SCHULER Ph. D.
Decano Académico

ANDREA FORERO M. Sc.
Directora de la Carrera

*Este trabajo está dedicado a mis padres
Henry Eduardo y Martha Lucía, quienes
han sido el apoyo más valioso durante
mi formación como persona y cuyos
esfuerzos siempre han sido dirigidos al
bienestar de sus hijos.*

Agradecimientos:

Un sincero agradecimiento se manifiesta a:

Saúl Prada-Pedrerros Ph. D. por sus aportes y enseñanzas durante mi proceso de formación como persona y durante el desarrollo del presente estudio.

Departamento de Biología de la Pontificia Universidad Javeriana por facilitar los espacios para el desarrollo de este proyecto.

Julio Mario Hoyos por su orientación y colaboración durante el proceso de transparentación de los peces.

Ana María Galvis, Diana Medina y Angélica Borbón por su apoyo incondicional y su colaboración durante el desarrollo del trabajo.

Evelyn Nates por su colaboración durante la fase de práctica del proyecto.

Tatiana Romero, Mónica Hernández, Julie Shigeta por su valiosa amistad y demás compañeros del Grupo de Estudios de Ictiología y Ecología Acuática por sus aportes y apoyo durante el desarrollo del proyecto.

1. Introducción	3
2. Marco teórico y revisión de literatura	4
2.1. Antecedentes	7
2.1.2. Posición taxonómica de las especies estudiadas	9
3. Formulación del problema y justificación	10
3.1. Formulación del problema	10
3.2. Pregunta de investigación	11
3.3 Justificación de la investigación.	11
4. Objetivos.	12
4.1. Objetivo general.	12
4.2. Objetivos específicos.	12
5. Hipótesis	12
6. Materiales y métodos	13
6.1. Diseño de la investigación	13
6.1.1. Población de estudio y muestra	13
6.1.1.1. Área de Estudio	14
6.1.2. Variables del estudio	17
6.1.2.1 Variables de morfometría tradicional	17
6.1.2.2. Variables de morfometría geométrica	17
6.2. Métodos	17
6.2.1. Fase de Laboratorio	17
6.2.1.1 Morfometría Tradicional	18
6.2.1.2. Morfometría Geométrica	20
6.2.1.3. Merística	21

6.3. Recolección de la información	23
6.4. Análisis de información	23
7. Resultados	25
7.1. Morfometría Tradicional	26
7.2. Morfometría Geométrica (AGP)	36
7.3. Merística	53
8. Discusión	63
8.1. Morfometría Tradicional	64
8.2. Morfometría Geométrica (AGP)	66
8.3. Merística	70
9. Conclusiones	73
10. Recomendaciones	73
11. Referencias	74
12. ANEXOS	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Información de los sitios de colecta de los ejemplares de <i>G. bogotensis</i> y <i>G. cochae</i> .	14
Tabla 2. Medidas morfométricas utilizadas para la morfometría tradicional.	18
Tabla 3. Caracteres merísticos internos y externos con sus respectivas siglas.	22
Tabla 4. Número de ejemplares analizados por cuenca, lugar de colecta y sexo.	25
Tabla 5. Morfometría tradicional. Análisis de Componentes Principales para sexo de <i>G. bogotensis</i> y <i>G. cochae</i> .	27
Tabla 6. Morfometría tradicional. Variables seleccionadas por el método “paso a paso” para la discriminación entre hembras y machos de las poblaciones de <i>G. bogotensis</i> y <i>G. cochae</i> . En cada paso, la variable que minimiza el Lambda de Wilks total es seleccionada.	29
Tabla 7. Morfometría tradicional. Resultados de la clasificación para cada grupo mediante el análisis discriminante y la validación cruzada.	30
Tabla 8. Morfometría tradicional. Funciones canónicas generadas a partir del modelo discriminante con sus respectivos puntajes.	31
Tabla 9. Morfometría tradicional. Variables seleccionadas por el método “paso a paso” para la discriminación entre las poblaciones de hembras de <i>G. bogotensis</i> y la población de la Laguna de La Cocha y sus coeficientes canónicos estandarizados, respecto a cada función canónica.	32

Tabla 10. Morfometría tradicional. Resultados de la clasificación para las poblaciones de hembras mediante el Análisis Discriminante (Original) y la prueba de Validación Cruzada.	33
Tabla 11. Morfometría tradicional. Funciones canónicas generadas a partir del modelo discriminante con sus respectivos puntajes	34
Tabla 12. Morfometría tradicional. Variables seleccionadas por el método “paso a paso” para la discriminación entre las poblaciones de machos de <i>G. bogotensis</i> y la población de la Laguna de La Cocha y sus coeficientes canónicos estandarizados, respecto a cada función canónica.	35
Tabla 13. Morfometría tradicional. Resultados de la clasificación para las poblaciones de machos mediante el Análisis Discriminante (Original) y la prueba de Validación Cruzada.	36
Tabla 14. Morfometría geométrica. Ejemplares analizados con LT superior o igual a 50mm por cuenca, lugar de colecta y sexo.	37
Tabla 15. Morfometría geométrica. Valores y porcentajes del Análisis de Componentes Principales par las deformaciones relativas (Relative Warps)	40
Tabla 16. Morfometría geométrica. Resultados de la clasificación por sexo a partir de la función discriminante.	43
Tabla 17. Morfometría geométrica. Distancias de Mahalanobis calculada por pares de grupos para las hembras con sus respectivos valores de significancia.	47
Tabla 18. Morfometría geométrica. Resultados de la clasificación para las poblaciones de hembras mediante el Análisis Discriminante (Original) y la prueba de Validación Cruzada.	48

Tabla 19. Morfometría geométrica. Distancias de Mahalanobis calculada por pares de grupos para los machos con sus respectivos valores de significancia. **52**

Tabla 20. Morfometría geométrica. Resultados de la clasificación para las poblaciones de machos mediante el Análisis Discriminante (Original) y la prueba de Validación Cruzada. **53**

Tabla 21. Merística. Variables seleccionadas por el método “paso a paso” para la discriminación entre hembras y machos de la población de *Grundulus* de la cuenca del río Suárez. **55**

Tabla 22. Merística. Resultados de la clasificación para cada grupo mediante el análisis discriminante y la validación cruzada. **55**

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2. Medidas registradas sobre los ejemplares de *Grundulus* analizados. Las medidas se tomaron punto a punto. **19**
- Figura 3. Fotografía del costado izquierdo del ejemplar. Puntos anatómicos de referencia (PAR) registrados en cada uno de los ejemplares. **21**
- Figura 5. Morfometría tradicional. Gráfica de los centroides y barras de errores que representan la desviación estándar para hembras y machos de las poblaciones de *Grundulus* con la primera función discriminante. **28**
- Figura 6. Morfometría tradicional. Gráfica de la proyección de los puntajes de las hembras de las poblaciones de *G. bogotensis* y la población de la Laguna de La Cocha sobre las dos primeras funciones canónicas. **31**
- Figura 7. Morfometría tradicional. Gráfica de la proyección de los puntajes de los machos de las poblaciones de *G. bogotensis* y la población de la Laguna de La Cocha sobre las dos primeras funciones canónicas. **34**
- Figura 8. Morfometría geométrica. Puntos anatómicos (landmarks) de los ejemplares de *Grundulus* analizados. Los vectores representan la variación de cada punto con respecto a la conformación consenso. **38**
- Figura 9. Morfometría geométrica. Visualización del rango de variación descrita por la configuración geométrica de los individuos, libres del efecto del tamaño. A. Configuración consenso generada a partir de los puntajes de deformación sometidos a regresión. B y C. Configuración geométrica de los puntajes extremos con respecto a la configuración consenso. Los valores indican el puntaje del autovector diagramado. **39**
- Figura 10. Morfometría geométrica. Análisis de Componentes Principales de las variables de conformación. Las cruces rojas representan la variación de

las hembras y los cuadros azules representan la variación de los machos con los dos primeros Componentes Principales. **41**

Figura 11. Morfometría geométrica. Gráfica del Análisis Discriminante realizado para el sexo a partir de las variables de conformación sobre la función discriminante. **42**

Figura 12. Morfometría geométrica. Puntos anatómicos (landmarks) de las hembras de las poblaciones de *Grundulus* analizadas. A. Coordenadas creadas a partir de los puntos anatómicos. B. Desplazamiento de las variables de conformación. C. Ajuste de la escala de las variables de conformación con respecto a la conformación consenso. D. Superposición de las variables de conformación. **44**

Figura 13. Morfometría geométrica. Gráfica de los tamaños de las hembras de las cuatro poblaciones. Se presentan las medianas y los cuartiles de cada población. **45**

Figura 14. Morfometría geométrica. Gráfica de la proyección de los puntajes de las hembras de las poblaciones de *G. bogotensis* y la población de la Laguna de La Cocha (n=140) sobre las dos primeras funciones canónicas. **46**

Figura 15. Morfometría geométrica. Fenograma obtenido por el método UPGMA a partir de las distancias de Mahalanobis de las hembras de *Grundulus* analizadas. **47**

Figura 16. Morfometría geométrica. Puntos anatómicos (landmarks) de los machos de las poblaciones de *Grundulus* analizadas. A. Coordenadas creadas a partir de los puntos anatómicos. B. Desplazamiento de las variables de conformación. C. Ajuste de la escala de las variables de conformación con respecto a la conformación consenso. D. Superposición de las variables de conformación. **49**

Figura 17. Morfometría geométrica. Gráfica de los tamaños de los machos de las cuatro poblaciones de *Grundulus* analizadas. Se presentan las medianas y los cuartiles de cada población. **50**

Figura 18. Morfometría geométrica. Gráfica de la proyección de los puntajes de las machos de las poblaciones de *G. bogotensis* y la población de la Laguna de La Cocha (n=177) sobre las dos primeras funciones canónicas. **51**

Figura 19. Morfometría geométrica. Fenograma obtenido por el método UPGMA a partir de las distancias de Mahalanobis de los machos de *Grundulus* analizados. **52**

Figura 20. Merística. Gráfica de los centroides y barras de errores que representan la desviación estándar para hembras y machos de las poblaciones de *G. bogotensis* y *G. cochae* para la función discriminante. **54**

Figura 21. Merística. Dientes en el dentario, porcentaje de individuos que presentan el número del carácter. **57**

Figura 22. Merística. Dientes en Maxila, porcentaje de individuos que presentan el número del carácter. **59**

Figura 23. Merística. Dientes en la Premaxila, porcentaje de individuos que presentan el número del carácter. **60**

Figura 24. Merística. Radios no Ramificados en aleta anal, porcentaje de individuos que presentan el número del carácter. **61**

Figura 25. Merística. Radios Ramificados en aleta anal, porcentaje de individuos que presentan el número del carácter. **62**

Figura 26. Identificación macroscópica del sexo mediante la coloración del istmo en ejemplares de *Grundulus cochae*. En la parte superior se observa la hembra, en la parte inferior el macho. **64**

Figura 27. Perfil izquierdo de la aleta anal transparentada de un ejemplar de *G. bogotensis*. En el círculo se señala el primer pterigioforo de la aleta. **71**

Figura 28. Aleta pélvica izquierda transparentada. A. Aleta de un ejemplar de *G. bogotensis*. B. Aleta de un ejemplar de *G. cochae*. **72**

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I. Técnica de transparentación y tinción de hueso y cartílago	79
ANEXO II. Formato de recolección de datos de las variables morfométricas tradicionales y merísticas	80
ANEXO III. Variables de morfometría tradicional de todos los ejemplares de las poblaciones de <i>Grundulus</i> estudiadas	81
ANEXO IV. Variables de morfometría tradicional de las hembras de las poblaciones de <i>Grundulus</i> estudiadas	82
ANEXO V. Variables de morfometría tradicional de los machos de las poblaciones de <i>Grundulus</i> estudiadas	83
ANEXO VI. Distribución de frecuencias de las variables merísticas para las Hembras de cada grupo	84
ANEXO VII. Distribución de frecuencias de las variables merísticas para los Machos de cada grupo	85

Resumen

Grundulus bogotensis y *Grundulus cochae* son peces de alta montaña aislados geográficamente. *G. bogotensis* es endémica del altiplano Cundiboyacense y *G. cochae* lo es para la Laguna de la Cocha (Nariño). Sin embargo, existen reportes que indican que *G. bogotensis* fue trasplantada a la Laguna de la Cocha en los años 50's, como especie forraje cuando se implementaron los cultivos de la trucha en aguas frías en Colombia, generando duda sobre el estatus taxonómico de la especie. Con el fin de verificar la validez de *G. cochae*, se compararon mediante técnicas de morfometría tradicional, morfometría geométrica y merística, tres poblaciones de *G. bogotensis* del Altiplano Cundiboyacense con una población de la Laguna de la Cocha. Los análisis morfométricos tradicionales y geométricos detectaron dimorfismo sexual en los ejemplares y diferencias significativas entre las poblaciones estudiadas, diferencias atribuidas al aislamiento en el que se encuentran las poblaciones. El análisis de morfometría geométrica, mostró que la población de la Laguna de la Cocha presenta características similares a las poblaciones de *G. bogotensis* de las cuencas de los ríos Suárez y Bogotá, mientras que la población más alejada fue la del Lago de Tota. El análisis de caracteres merísticos, indicó diferencias entre hembras y machos, además demostró que los caracteres diagnósticos de *G. bogotensis* y *G. cochae* no son válidos para la identificación de los ejemplares, además la diagnosis propuesta para estas especies no contempla la totalidad de los rangos en los caracteres observados en los ejemplares estudiados, por lo tanto *G. cochae* no es una especie válida taxonómicamente.

Abstract

Grundulus bogotensis and *Grundulus cocha* are high mountains fishes, as well as they are isolated geographically. *G. bogotensis* is endemic from the Cundiboyacense high plains and *G. cocha* is endemic from the Laguna de la Cocha (Nariño). There are reports that *G. bogotensis* was transplanted to the Laguna de la Cocha in the 50's, as a forage species when the trout cultivates in cold waters were implemented in Colombia, increasing doubts about the taxonomic status of the specie. To verify the taxonomic status of *G. cocha*, were used traditional morphometrics, geometric morphometrics and meristic were compared three populations of *G. bogotensis* of the Cundiboyacense high plains with the population of Laguna de la Cocha. The traditional and geometric morphometrics analysis detected sexual dimorphism in animals and significant differences between the populations studied, differences attributed to the isolation in which the populations are. The geometric morphometrics analysis shows that the population from the Laguna de la Cocha had similar characteristics with the populations of *G. bogotensis* from the basin of Suárez and Bogotá Rivers, while the most different population was the Lago de Tota. The analysis of meristic characters, found differences between males and females also showed that the diagnostic characters of *G. bogotensis* and *G. cocha* are not valid for identification of specimens, the diagnosis also proposed for these species does not provide all of the characters in the ranges observed in the specimens studied, then *G. cocha* isn't a valid specie.

1. Introducción

El género *Grundulus* pertenece a la familia Characidae, y se distribuye en algunas partes de la cordillera oriental y en el extremo sur de los Andes de Colombia y al Norte de Ecuador, en este último, se encuentra *G. quitoensis*, especie endémica de este lugar, localizada en el Lago El Voladero, en la reserva biológica El Ángel (Román-Valencia *et al.* 2005). Para Colombia se han registrado dos especies de este género, la primera, *G. bogotensis* (Humboldt 1821) cuyas poblaciones están distribuidas en el altiplano Cundiboyacense en la región transandina, y la segunda especie, *G. cochae* (Román-Valencia *et al.* 2003), registrada en la Laguna de La Cocha (Nariño) en la parte cisandina y es considerada endémica de este lugar. En Colombia las especies de *Grundulus* se localizan en zonas altamente pobladas por el hombre, donde están ocurriendo procesos de deterioro ambiental, por lo tanto la “guapucha” (nombre vernáculo de la especie) se ha visto restringida a sectores que han sido poco modificados. Actualmente *G. bogotensis* está incluida en el libro Rojo de Peces de Dulceacuícolas de Colombia en la categoría de “Casi Amenaza” (NT) (Mojica *et al.* 2002), mientras que de *G. cochae* aún no se conoce su estado de amenaza, así mismo se conoce poco sobre aspectos biológicos de la especie.

Grundulus bogotensis y *Grundulus cochae*, son especies que se encuentran aisladas geográficamente, presentando diferencias morfológicas (Román-Valencia *et al.* 2003), sin embargo no se descarta que en los años 50's, *G. bogotensis*, fuera trasplantada a la Laguna de la Cocha y el Lago de Tota, como especie forraje durante el fomento de la cría de trucha en aguas frías en el País (Álvarez-León *et al.* 2002).

Estudios morfométricos realizados por Álvarez (2007) en poblaciones de *G. bogotensis* provenientes de las cuencas de los ríos Bogotá y Suárez y Lago

de Tota, encontró variación morfométrica y merística significativas entre las poblaciones y así mismo, encontró que gran parte de los ejemplares analizados presentaban caracteres diagnósticos que describen a *G. cochae* y *G. quitoensis*.

El presente estudio pretende verificar el estatus taxonómico de la especie de pez *G. cochae* descrita para la Laguna de la Cocha mediante la comparación morfológica con poblaciones del altiplano Cundiboyacense y de la Laguna de La Cocha, empleando técnicas morfométricas y merísticas.

2. Marco teórico y revisión de literatura

Entre los principales objetivos de la Biología se encuentra entender el origen, la naturaleza y las causas de cambio en los patrones de variación. El análisis cuantitativo de la variación fenotípica y sus relaciones con factores genéticos, ambientales entre otros ayudan a cumplir este objetivo (Jaramillo 2008).

La variabilidad morfológica es la primera propiedad que se reconoce en los organismos, y esta variabilidad está dada por la interacción de diferentes factores bióticos y abióticos que modelan a los individuos, las poblaciones y las especies, entonces, adquieren rasgos morfológicos propios que difieren de acuerdo a su biología y ecología (Jaramillo 2008). En la mayoría de los seres vivos, se presenta variabilidad fenotípica inter e intraespecífica, en peces, cada una de las especies puede poseer un elevado nivel de variación morfológica que se puede igualar con características incluso de otras especies, pero se ha encontrado que frecuentemente las diferencias son más marcadas entre individuos de la misma especie que entre individuos de especies cercanas de la misma comunidad. Esta diversidad intraespecífica es importante también, pues dentro de cada especie, los individuos no solo

presentan diferencias en su morfología sino a menudo son diferentes en el comportamiento e historias de vida. La variación morfológica está correlacionada con diferentes características genéticas, fisiológicas, ecológicas y etológicas, pero también, aunque poco se conoce, los factores ambientales ejercen efecto sobre la diferenciación en poblaciones de especies (Narváez *et al.* 2005).

Los factores ambientales tales como temperatura del agua, alimentación, abundancia de predadores, entre otros, pueden causar efectos directos sobre el rendimiento y la supervivencia de los peces, o efectos indirectos inducidos por estos factores ambientales expresados en variación fenotípica. La plasticidad fenotípica es uno de los mecanismos de adaptación más importante en peces y se define como la capacidad de que un solo genotipo pueda generar más de una alternativa fenotípica respondiendo a las condiciones ambientales. Por ejemplo, la temperatura del agua ha sido un factor estudiado con frecuencia que puede afectar al fenotipo, con modificaciones en el desarrollo de los diferentes tejidos y órganos durante la ontogenia, o a largo plazo, con alteraciones en las características sexuales y merísticas. (Georgakopoulou *et al.* 2007).

Los caracteres morfométricos y merísticos son los que se utilizan con mayor frecuencia para la descripción e identificación de taxa, pues son útiles en la diferenciación o no de poblaciones, comunidades y especies de organismos, además los análisis de morfometría, particularmente en teleósteos, han sido la fuente primaria de información para estudios taxonómicos y evolutivos (Strauss & Bond 1990; Álvarez 2007). Los caracteres morfométricos son caracteres continuos, que describen y comparan la forma de organismos, cuerpos o de una estructura en particular (Rohlf & Marcus 1993), y han sido utilizados para cuantificar la variación morfológica e identificar y explicar procesos adaptativos de especies y poblaciones (Kassam 2002 ; Narváez *et*

al. 2005). Los caracteres merísticos, a diferencia de los morfométricos, son caracteres que representan variables discretas, y se basan en el recuento numérico de estructuras seriadas y homologas entre individuos (número de dientes, vértebras, radios en las aletas, entre otros) (Meléndez 2002). Estos caracteres están expuestos a variaciones causadas por factores ambientales, pero se ven afectados de forma diferente, ya que en los caracteres morfométricos los cambios se dan a lo largo de la vida del pez, mientras que en los caracteres merísticos estos cambios se presentan y se fijan tempranamente en la ontogenia del pez, e independiente del crecimiento y posteriores cambios ambientales, se mantienen estables (Swain & Foote 1999).

A mediados del siglo XX, la descripción cuantitativa de la morfología fue combinada con análisis estadísticos, para la descripción de patrones de variación entre y dentro de grupos (Adams *et al.*2004). Este proceso ha evolucionado históricamente, encaminado al uso de análisis multivariados, ya que el análisis simultáneo de un grupo significativo de caracteres tiene una mayor probabilidad de detectar diferencias, para lo cual se han usado técnicas morfométricas y merísticas, tales como la morfometría tradicional, morfometría geométrica y los conteos merísticos (Álvarez 2007).

La morfometría tradicional es una técnica aplicada desde hace pocas décadas, y se caracteriza por la aplicación de métodos de estadística multivariada a un conjunto de variables, que usualmente corresponden a longitudes de estructuras y distancias entre puntos anatómicos establecidos, y los resultados se expresan numéricamente y gráficamente en términos de combinaciones lineales de las variables medidas, usando técnicas como análisis de componentes principales, análisis canónicos, funciones discriminantes y distancias generalizadas. Sin embargo, con este método, no

es posible reconstruir la “forma” original del individuo a partir de las distancias medidas (Rohlf & Marcus 1993).

Con el fin de optimizar la cuantificación de la variación morfológica, a finales de los 80's y principios de los 90's, ocurrió un cambio en la forma de cuantificar la morfología de una estructura y como los datos eran analizados. El cambio destacó métodos que capturan la geometría de una estructura en particular, manteniendo esa geometría a lo largo de los análisis, este método se denominó “morfometría geométrica” (Cramon-Taubadel *et al.* 2007).

La morfometría geométrica estudia la “forma” de los organismos o de una estructura determinada, donde “forma” consta de dos componentes: tamaño y conformación. El tamaño, es una variación dada por factores biológicos, que constituye una estimación geométrica de la dimensión de un objeto, mientras que la conformación se caracteriza por la posición relativa de las coordenadas en el espacio de ese objeto (Sans 2005). El objetivo del método geométrico es estudiar la variación de las conformaciones biológicas y su covariación con otras variables (Jaramillo 2008).

2.1. Antecedentes

El género *Grundulus* pertenece a la familia Characidae se distingue por no presentar aleta adiposa, número reducido de escamas perforadas en la línea lateral (0-8), de 4-5 radios simples y 11-12 radios ramificados en la aleta anal y dientes cónicos en la premaxila y dentario (Román-Valencia *et al.* 2003).

Forero y Garzón (1974), señalan que *G. bogotensis* es una especie pequeña, que no supera los 10 cm de longitud. Se caracteriza por presentar cuerpo

corto y robusto; la mayor profundidad del cuerpo se localiza en la parte anterior de las aletas pectorales, la cabeza y hocico son cortos presenta mandíbulas iguales, boca tipo terminal, labios blandos y flexibles que cubren totalmente la hilera de dientes de la premaxila y todos los dientes son cónicos. Posee escamas cicloides, en el área predorsal no hay escamas. El numero de radios en las aletas es: dorsal con 9, pectoral 15, pélvica o ventral 7, anal 21, caudal 32. La aleta caudal es homocerca escotada con 9 / 9 radios procurrentes tanto dorsal como ventralmente; carece de aleta adiposa; línea lateral reducida o ausente, de estar presente, se caracteriza por ser ligeramente curva, incompleta, con 5 a 6 escamas perforadas

Román-Valencia *et al.* (2003) redescubren a *Grundulus bogotensis* y reportan *Grundulus cochae* como nueva especie. El nuevo taxón es una especie de pequeño porte, que no supera los 10 cm de longitud, se diferencia de *G. bogotensis* por presentar 10 dientes en el dentario vs. 8-9, un maxilar con 7-10 dientes vs. 4-7, 7 supraneurales vs. 8, y el primer pterigoforo en la aleta anal asociado con los dos primeros radios anales es ancho en contraste con uno delgado, además se encontró que no existe dimorfismo sexual en las especies.

Álvarez (2007) mediante el uso de técnicas morfométricas y merísticas, encontró diferencias significativas a nivel morfológico entre hembras y machos y entre las poblaciones de *G. bogotensis* provenientes de las cuencas de los ríos Bogotá y Suárez y el Lago de Tota. Además encontró que gran parte de los ejemplares presentó caracteres diagnósticos de *G. cochae* y *G. quitoensis*. La variación morfológica encontrada fue atribuida al aislamiento de las poblaciones y a las diferentes condiciones ambientales de la cuenca a la que pertenecen.

Medina (2008), en su estudio analizó la morfología de las branquiespinas y la dentición de *Grundulus bogotensis* del Lago de Tota, Río Upía, Laguna de Fúquene, embalse del Neusa y Embalse de San Rafael, y encontró que los ejemplares presentaron de 7 a 8 dientes en la premaxila, de 4 a 11 en la maxila y de 6 a 12 dientes en el dentario, afirmando que estas características no coinciden con la diagnosis de Román-Valencia (2003) para la especie.

2.1.2. Posición taxonómica de las especies estudiadas

Phylo: Chordata

Superclase: Gnathostomata

Clase: Osteichthyes

Subclase: Actinopterygii

Superorden: Ostariophysi

Orden: Characiformes

Familia: Characidae

Género: *Grundulus* Cuvier and Valenciennes, 1835

Especie: * ***Grundulus cochae*** Román-Valencia *et al.* 2003

* ***Grundulus bogotensis*** (Humboldt 1821)

3. Formulación del problema y justificación

3.1. Formulación del problema

Grundulus bogotensis, es una especie endémica de las cuencas de los ríos Bogotá y Suárez en el Altiplano Cundiboyacense, e introducida en el Lago de Tota (Dahl 1971, Forero y Garzón 1974) y clasificada en la categoría de especie "Casi Amenazada" (Álvarez-León et al. 2002). Álvarez en 2007 encontró diferencias morfológicas entre las poblaciones de *Grundulus bogotensis* de estas cuencas, y además de encontrar diferencias intraespecíficas en las poblaciones, detectó la presencia de caracteres diagnósticos de *G. cochae* y *G. quitoensis* en los ejemplares estudiados.

En 2003, Román-Valencia *et al.*, determinó como especie nueva a *Grundulus cochae* para la Laguna de la Cocha (Nariño), dando a conocer que el nuevo taxón es endémico del lugar, y que se encuentra en alopatría con las poblaciones de *G. bogotensis* del Altiplano Cundiboyacense.

Sin embargo, Álvarez-León et al., (2002) señalan que *G. bogotensis* es una especie introducida en la Laguna de la Cocha, pues con los programas de fomento de cría de trucha en aguas frías implementados en los años 50's, esta especie fue trasplantada como especie forrajera en el Lago de Tota y la Laguna de la Cocha (Nariño). Ortega-Lara *et al.* (2009) registraron en el Valle del Sibundoy (Alto Putumayo, tributario de la Laguna de La Cocha) la presencia de una especie trasplantada identificada como *Grundulus bogotensis*, y Ortega-Lara (com. pers. 2009) indica que los indígenas de la región afirman que la "guapucha" fue introducida en la zona junto con la trucha (*Onchorhynchus mykiss*) una especie exótica, pues antes la guapucha no existía en el lugar, además PNN (1998) afirman que la "Guapucha" *G. bogotensis* endémica de los altiplanos de Bogotá, Ubaté y Chinququirá, es

una especie introducida en La Cocha como alimento de la trucha Arco Iris, por estas razones surge la duda de la validez taxonómica de *G. cochae*.

Hasta el momento no se han realizado estudios morfométricos comparando las especies de *Grundulus* en Colombia, sabiendo que los análisis de morfometría, han sido la fuente primaria de información para estudios taxonómicos y evolutivos en teleósteos (Strauss & Bond, 1990). Además, el análisis de la variación intraespecífica e interespecífica es de gran importancia para el estudio de procesos evolutivos pues esta variación da a conocer las causas del cambio evolutivo. Por esta razón, estudiar la variabilidad morfológica de poblaciones o especies es de gran importancia al momento de hacer deducciones sobre la historia evolutiva de una especie (D'Anatro & Loureiro 2005).

3.2. Pregunta de investigación

¿Es *Grundulus cochae* Román-Valencia, Paepke y Pantoja 2003, (Ostariophysi: Characidae) una especie taxonómicamente válida?

3.3 Justificación de la investigación.

El presente estudio será un aporte al conocimiento del género *Grundulus* en Colombia. Este trabajo busca verificar el estatus taxonómico de *G. cochae*, estableciendo si existe o no una variación morfológica entre individuos de esta especie localizada en la Laguna de la Cocha e individuos de las poblaciones de *G. bogotensis* de las cuencas de los ríos Suárez, Bogotá y cuenca del Lago de Tota.

El desarrollo de este estudio implementa la utilización de técnicas de morfometría analítica, de ahí radica la importancia de utilizar métodos de

análisis como la morfometría tradicional, morfometría geométrica (Análisis Generalizado de Procrustes) y conteos merísticos, así como la utilización de análisis multivariados con el fin de entender las diferencias morfológicas entre individuos de *G. cochae* y *G. bogotensis*.

4. Objetivos.

4.1. Objetivo general.

Verificar el estatus taxonómico de *Grundulus cochae*.

4.2. Objetivos específicos.

Describir morfométrica y merísticamente poblaciones de *G. bogotensis* y *G. cochae*.

Confrontar la morfometría y merística de *G. bogotensis* y *G. cochae*.

Evaluar cuantitativamente la morfometría y merística de *G. bogotensis* y *G. cochae*.

5. Hipótesis

Grundulus cochae no es una especie taxonómicamente válida de acuerdo a los caracteres diagnósticos propuestos por Román-Valencia *et al.* (2003), debido a que *Grundulus bogotensis*, pez endémico del altiplano Cundiboyacense, fue introducido como especie forraje en los años 50's a la Laguna de la Cocha (Nariño).

6. Materiales y métodos

6.1. Diseño de la investigación

Este estudio es de tipo investigativo, enfocado en el análisis y la comparación de especies, verificando el estatus taxonómico de *Grundulus cochae* comparando ejemplares de esta especie provenientes de la laguna de la Cocha (Nariño) con poblaciones de *Grundulus bogotensis* de las cuencas de los ríos Bogotá, Suarez y cuenca del Lago de Tota.

6.1.1. Población de estudio y muestra

Las poblaciones de *Grundulus bogotensis* estudiadas provienen once localidades diferentes en las cuencas de los ríos Bogotá, Suárez y Lago de Tota, con un total de 439 ejemplares analizados (Tabla 1). Los ejemplares de *Grundulus cochae* provienen de la Laguna de la Cocha (Nariño) con un total de 137 ejemplares analizados. Las muestras estudiadas pertenecen a la Colección de peces del Museo Javeriano de Historia Natural.

Tabla 1. Información de los sitios de colecta de los ejemplares de *G. bogotensis* y *G. cochae*.

Cuenca	Sitio de muestreo	Coordenadas	Altura
Suárez	Laguna de Fúquene (Cundinamarca)	Lat: 05°28'05.4"N Lon: 73°46'20.7"W	2551
	Río Ubaté (Cundinamarca)	Lat: 05°23'00.8"N Lon: 73°45'53.9"W	2559
	Laguna de Cucunubá (Cundinamarca)	Lat: 05°17'11.8"N Lon: 73°46'56.9"W	2562
	Embalse El Hato (Cundinamarca)	Lat: 05°17'33.8"N Lon: 73°54'31.2"W	2867
	Vallado Mano de Ramos-río Lenguazaque (Cundinamarca)	Lat: 05°12'08.9"N Lon: 73°44'38.7"W	2842
Bogotá	Río Bogotá-Sector Tibitó (Cundinamarca)	Lat: 04°58'38.2"N Lon: 73°58'01"W	2563
	Río Bogotá-Vallado La Susana (Cundinamarca)	Lat: 05°03'50.3"N Lon: 73°49'51.8"W	2573
	Quebrada Mancilla (Cundinamarca)	Lat: 04°51'09.7"N Lon: 74°21'01.8"W	2582
	Embalse de Tominé (Cundinamarca)	Lat: 04°59'10.7"N Lon: 73°49'09"W	2622
Tota	Quebrada Los Pozos-Lago de Tota (Boyacá)	Lat: 05°33'35.5"N Lon: 72°53'08.8"W	3037
	Río Upía (Boyacá)	Lat: 05°29'29"N Lon: 72°56'0.97"W	3042
Cocha	Laguna de La Cocha (Nariño) - 1	Lat: 01°03'21.6"N Lon: 77°10'9.76"W	2803
	Laguna de La Cocha (Nariño)- 2	Lat: 01°08'18.7"N Lon: 77°10'1.9"W	2814

6.1.1.1. Área de Estudio

El Altiplano Cundiboyacense, lugar de colecta de *G. bogotensis*, tiene una extensión que alcanza 19 529 Km², divididos entre Cundinamarca con 9 510 Km² y Boyacá con 8 830 Km², los restantes 1 188 Km² los abarca la ciudad de Bogotá. Se encuentra ubicado geográficamente entre 03°45' y 06°03''

latitud Norte y los 72°39' y 74°52' longitud Oeste (Álvarez 2007; Medina 2008).

La Laguna de la Cocha, localidad tipo de *G. cochae*, se encuentra en los Andes al sur de Colombia, en el departamento de Nariño, ubicada a 27 Km de Pasto. Geográficamente, la laguna se ubica entre los 0°50' y 1°15' de latitud Norte y entre 77°05' y 77°20' longitud Oeste, y está conformada por zonas de pantano o turberas y páramo azonal que abarcan un área de 39.000 hectáreas.

Como se mencionó anteriormente, las poblaciones de *G. bogotensis* estudiadas se colectaron en once localidades diferentes en las cuencas de los ríos Bogotá, Suárez y Lago de Tota, mientras que en la Laguna de la Cocha se tuvieron registros de dos lugares de colecta en la vereda El Encano (Figura 1).

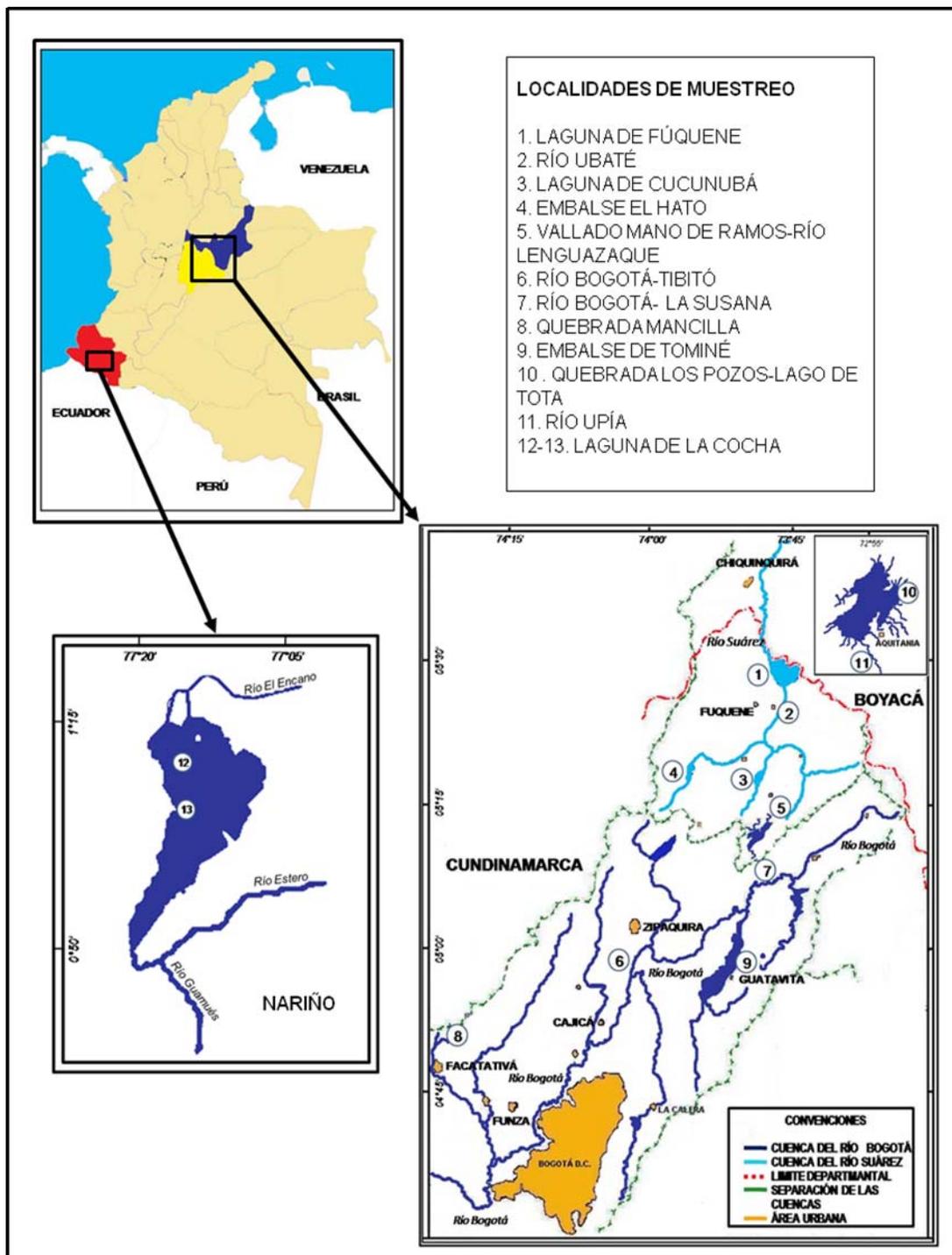


Figura 1. Mapa del área de estudio. Modificado de Álvarez (2007), Mapa de Cuencas y Hoyas hidrográficas dentro de la jurisdicción de la CAR (1993) y Cartografía IGAC Planchas 192 IA, 192 IB.

6.1.2. Variables del estudio

6.1.2.1 Variables de morfometría tradicional

Conjunto de distancias medidas sobre cada ejemplar, estas variables corresponden a longitudes de estructuras y distancias entre puntos anatómicos establecidos. Los resultados se expresan numérica y gráficamente en términos de combinaciones lineales de las variables.

6.1.2.2. Variables de morfometría geométrica

Corresponden a los puntos anatómicos de referencia (PAR) que se transforman en coordenadas y se elimina el efecto del tamaño para calcular la conformación de cada ejemplar.

6.1.2.3. Variables merísticas

Corresponden a los conteos numéricos de estructuras internas y externas repetidas, seriadas y homologas entre individuos.

6.2. Métodos

6.2.1. Fase de Laboratorio

La fase practica se desarrolló en el Laboratorio de Ictiología de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C. (Lab. 108B, Edificio 53. Los ejemplares preservados en alcohol 70%, fueron etiquetados individualmente y marcados con los datos de colecta y un número asignado para cada ejemplar por muestra, permitiendo la posterior identificación de cada ejemplar.

El sexo se identificó macroscópicamente siguiendo el método de observación de coloración del istmo propuesto por Forero y Garzón (1974). Posteriormente se evisceraron los ejemplares permitiendo corroborar el sexo mediante la observación del aparato reproductor.

6.2.1.1 Morfometría Tradicional

Se registraron 19 medidas morfométricas en cada ejemplar por el costado izquierdo del pez (Tabla 2) (Figura 2) de acuerdo con Maldonado-Ocampo *et al.* (2005). Las medidas se tomaron punto a punto con un calibrador digital marca Time de amplitud 0-300 mm y precisión 0.01 mm. Cada medida se tomó 3 veces en tiempos diferentes y los valores se promediaron con el fin de disminuir el error en la medición.

Tabla 2. Medidas morfométricas utilizadas para la morfometría tradicional.

Medidas de Morfometría tradicional			
No.	Sigla	Medida	Descripción
1	LT	Longitud Total	Premaxila - extremo caudal más posterior
2	LS	Longitud estándar	Premaxila - última vértebra
3	LPD	Longitud predorsal	Premaxila - origen primer radio aleta dorsal
4	LPP	Longitud prepectoral	Premaxila - origen aleta pectoral
5	LPV	Longitud preventral	Premaxila - origen aletas pélvicas
6	LPA	Longitud preanal	Premaxila - origen aleta anal
7	LBD	Longitud base aleta dorsal	Origen primer radio dorsal - último radio dorsal
8	LD	Longitud aleta dorsal	Base dorsal - extremo radio dorsal más largo
9	LBA	Longitud base anal	Origen primer radio anal - último radio anal
10	LA	Longitud aleta anal	Base anal - extremo radio anal más largo
11	LP	Longitud aleta pectoral	Base primer radio pectoral - extremo radio pectoral más largo
12	LV	Longitud aleta pélvica	Base primer radio pélvica - extremo radio pélvico más largo
13	LPC	Longitud pedúnculo caudal	Extremo posterior último radio anal - Base caudal radios medios
14	APC	Altura pedúnculo caudal	Menor altura pedúnculo caudal
15	AC	Altura cuerpo	Distancia base pélvicas - base primer radio dorsal
16	LC	Longitud cabeza	Premaxila - margen posterior opérculo
17	LH	Longitud hocico (rostral)	Premaxila - margen anterior orbita ocular
18	DO	Diámetro del ojo	Diámetro orbita ocular en sentido horizontal
19	AIO	Ancho interorbital	Entre órbitas oculares medida dorsalmente

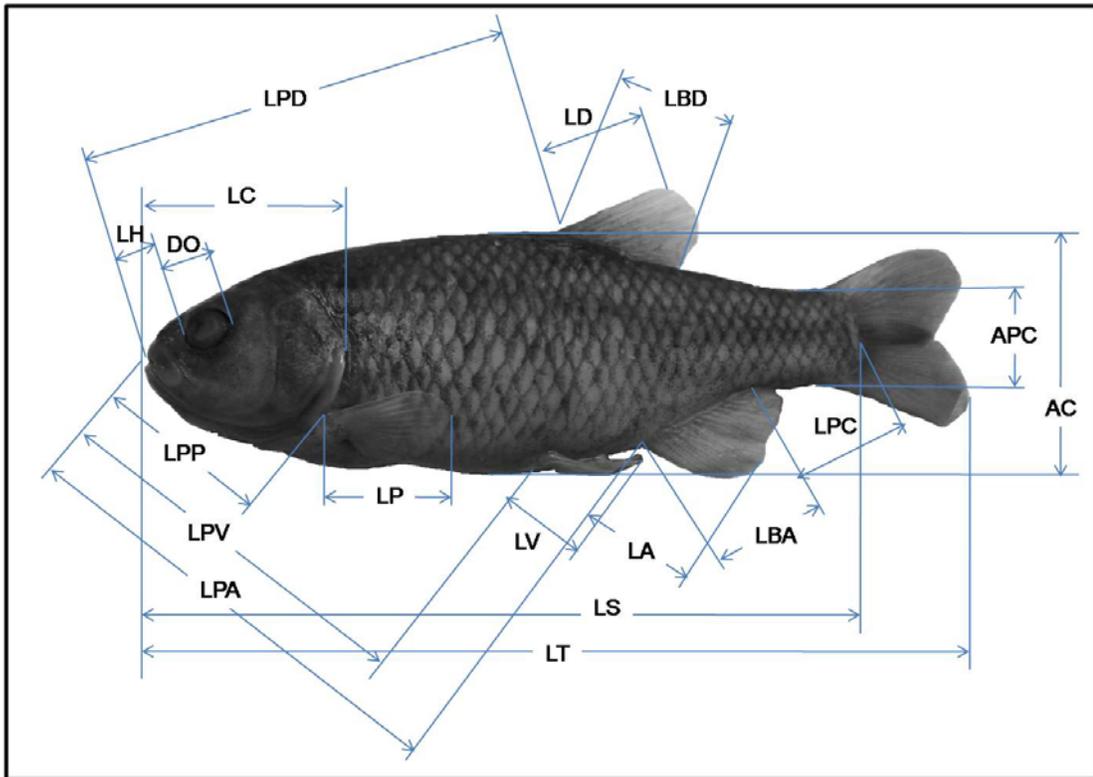


Figura 2. Medidas registradas sobre los ejemplares de *Grundulus* analizados. Las medidas se tomaron punto a punto.

Para este análisis se tuvo en cuenta el procedimiento sugerido por Dos Reis *et al.* (1990) y aplicado por Álvarez (2007), para la comprobación y eliminación del efecto alométrico sobre las variables morfométricas, separando la forma del tamaño. Se realizaron tres Análisis de Componentes Principales (ACP) con los datos transformados logarítmicamente. El primer ACP se hizo con todos los individuos de la muestra y los dos restantes ACP se realizaron para cada sexo por separado, donde el primer Componente Principal, conforme al procedimiento, se interpretó como una medida multivariada del tamaño ya que su contribución fue superior al 90 % de la varianza total. Posteriormente todas las variables morfométricas se sometieron a una regresión con el Primer Componente Principal y los

residuos obtenidos de esas regresiones que expresan la variación libre del efecto del tamaño (Narváez *et al.* 2005), fueron utilizados para los análisis estadísticos posteriores.

6.2.1.2. Morfometría Geométrica

Se tomó una fotografía del costado izquierdo de cada ejemplar con una cámara de alta resolución (8 Mega Píxeles), y se registró la escala tomando como referencia el calibrador en 10 mm. Las fotografías se tomaron a diez centímetros de altura del ejemplar con un trípode que se mantuvo fijo durante el registro fotográfico.

Para este estudio se empleó el método de morfometría geométrica con el Análisis Generalizado de Procrustes (AGP), para cuantificar la variación en la conformación y el tamaño de los ejemplares de las dos especies, utilizando el procedimiento sugerido por Jaramillo (2008), adicionalmente se tuvieron en cuenta únicamente los ejemplares con una longitud total (LT) superior o igual a 50 mm, con el fin de disminuir el efecto alométrico.

Para este procedimiento se plantearon 12 puntos anatómicos de referencia (PAR) o landmarks tipo I, los cuales fueron homólogos en todos los individuos de la muestra, de fácil ubicación, situados en intersecciones de dos o más tejidos y presentes en todas las estructuras analizadas (Jaramillo 2008) (Figura 3).

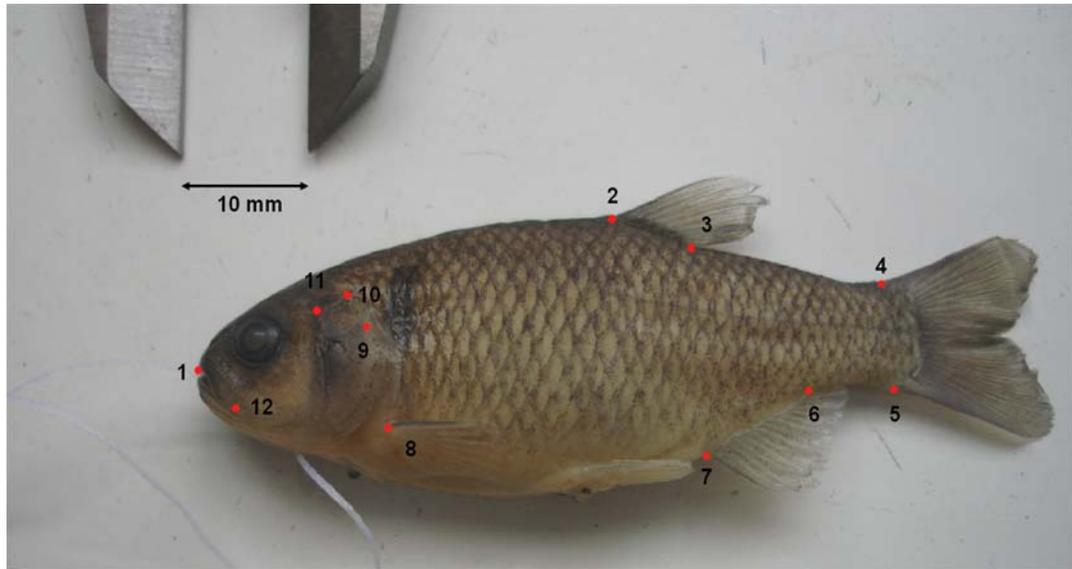


Figura 3. Fotografía del costado izquierdo del ejemplar. Puntos anatómicos de referencia (PAR) registrados en cada uno de los ejemplares.

6.2.1.3. Merística

Se registraron conteos numéricos de doce estructuras internas (óseas) externas (escamas) (Tabla 3), empleando un estéreo microscopio con aumentos que variaron de 7X a 70X marca Olympus SZH10.

Para el conteo de estructuras internas, los ejemplares se sometieron a la técnica de transparentación y tinción de Dingerkus y Lowell (1977) (Figura 4), recomendada para pequeños vertebrados (ANEXO I). Como los caracteres merísticos se fijan temprano en la ontogenia del individuo, no van a cambiar a lo largo de la vida del pez, por lo tanto no fue necesario corregir el tamaño (Swain & Foote, 1999).

Tabla 3. Caracteres merísticos internos y externos con sus respectivas siglas.

Caracteres Merísticos		
No.	Sigla	Conteos
Caracteres Externos		
1	EEL	Escamas encima de Línea Lateral
2	EDL	Escamas debajo línea lateral
3	ESL	Escamas sobre línea lateral
4	EP	Escamas perforadas
Caracteres Internos		
5	D	Radios aleta dorsal
6	A	Radios aleta anal
7	NRA	Radios no ramificados en aleta anal
8	P	Radios aleta pectoral
9	V	Radios en aleta pélvica
10	DPM	Dientes en la premaxila
11	DM	Dientes maxila
11	DD	Dientes Dentario

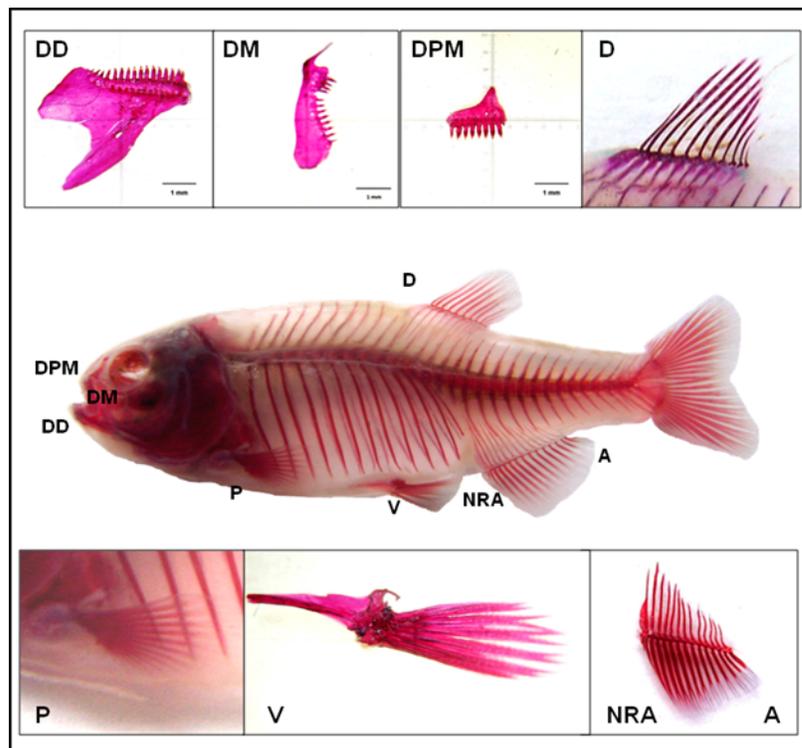


Figura 4. Estructuras óseas internas empleadas en merística. Las letras representan las siglas usada para cada estructura. Ejemplar transparentado de *G. cochae*.

El análisis multivariado se realizó con todas las muestras, donde a cada valor obtenido del conteo de estructuras se les sumó 0.5 para analizar los datos con valor=0, posteriormente los datos se transformaron con raíz cuadrada para disminuir la varianza entre variables. Se utilizó estadística descriptiva para el análisis de los sexos por separado con el fin de visualizar las diferencias en los caracteres diagnósticos de cada especie, se calcularon los valores máximos, mínimos, la moda y se hicieron gráficas de barras para cada carácter.

6.3. Recolección de la información

Los datos obtenidos de la medición de las variables morfométricas y los conteos merísticos, fueron anotados en tablas con la información de cada ejemplar (ANEXO II), posteriormente se registraron en una matriz de datos en medio magnético. Para el método de morfometría geométrica, las fotografías de los ejemplares se guardaron con formato *.jpg, y a cada fotografía se le asignó un nombre con el lugar de colecta y número de muestra.

6.4. Análisis de información

Los análisis estadísticos se desarrollaron usando los programas SPSS versión 16, PAST y XLSTAT. El método de morfometría geométrica se desarrolló usando la serie de programas computacionales TPS (tpsUtil2, tpsDig, tpsReg, tpsRelw y tpsTri) y la serie de Jean-Pierre Dujardin (COO, TET, BAC, PAD y MOG).

El análisis para cada método morfométrico se realizó independientemente. En primera instancia se empleó el Análisis Discriminante para analizar los patrones discriminantes y variación morfométrica entre sexos y posteriormente entre las poblaciones de las especies estudiadas. Se utilizó el estadístico Lambda de Wilks y su significancia para evaluar la contribución de las funciones canónicas en la discriminación de los grupos.

Para el análisis de morfometría tradicional se tuvo en cuenta el procedimiento sugerido por Dos Reis et al. (1990), para la comprobación y eliminación del efecto del tamaño sobre las variables morfométricas. Además se empleó el método de selección paso a paso (stepwise) para encontrar el subconjunto de variables que mejor diferencien a los grupos, y por último, se utilizó la prueba de clasificación mediante el Análisis Discriminante y la prueba de validación cruzada (cross-validation) para clasificar los individuos en los grupos.

Los datos para el análisis de morfometría geométrica, se analizaron mediante el Análisis Generalizado de Procrustes (AGP), aplicando Puntos Anatómicos de Referencia (PAR) para transformar los datos en coordenadas. Este análisis se dividió en tres etapas. La primera, los individuos se ajustaron a un tamaño único al dividir las coordenadas por el tamaño centroide, en segundo lugar, las configuraciones ajustadas se trasladaron unas sobre otras y se superpusieron por sus centroides, y la última etapa, consistió en rotar las configuraciones, tal que alcanzaron la suma mínima de las distancias al cuadrado entre cada PAR de cada individuo y la configuración consenso. Se empleó el Análisis Discriminante y la prueba de validación cruzada para clasificar a los individuos en cada grupo, además se incluyeron las distancias de Mahalanobis para calcular el fenograma usando el método UPGMA de las distancias entre grupos para cada sexo.

7. Resultados

Se analizaron un total de 576 ejemplares del genero *Grundulus* de la colección de peces del Museo Javeriano de Historia Natural, de los cuales 439 ejemplares pertenecen a tres poblaciones de *Grundulus bogotensis* de las cuencas de los ríos Bogotá, Suárez y Lago de Tota en el altiplano Cundiboyacense y 137 ejemplares provenientes de la Laguna de la Cocha (Nariño). De los ejemplares analizados, 271 (47.05%) fueron hembras y 305 (52.95%) machos (Tabla 4), resultando una proporción sexual de 1:1.12.

Tabla 4. Número de ejemplares analizados por cuenca, lugar de colecta y sexo.

Cuenca	Lugar de Colecta	Hembras	Machos	Total
Suárez	Laguna de Fúquene	8	37	45
	Río Ubaté	30	24	54
	Laguna de Cucunubá	13	30	43
	Embalse el Hato	26	23	49
	Vallado Maná de Ramos	30	30	60
Total Suarez		107	144	251
Bogotá	Río Bogotá Sector Tibitó	7	3	10
	Río Bogotá-Vallado la Susana	30	22	52
	Quebrada Mancilla	8	7	15
	Embalse de Tominé	5	16	21
Total Bogotá		50	48	98
Tota	Lago de Tota	30	30	60
	Río Upía	12	18	30
Total Tota		42	48	90
Cocha	Laguna de La Cocha	72	65	137
Total Cocha		72	65	137
Total General		271	305	576

Siguiendo el procedimiento de identificación macroscópica del sexo mediante la observación de coloración del istmo propuesto por Forero y Garzón (1974), detectó la presencia de dimorfismo sexual para las poblaciones del *G. bogotensis*, donde la prueba tuvo una efectividad de 93% en 317 individuos analizados. La misma prueba se aplicó para la población de la Laguna de la Cocha obteniendo una efectividad del 90% en 89 individuos analizados. La efectividad de la prueba se calculó con individuos con LT superior o igual a 50 mm, en esta talla ya se ha alcanzado la madurez sexual.

La media, desviación estándar, moda y valores máximos y mínimos de cada variable de morfometría tradicional, están registradas en las ANEXOS III,IV y V.

7.1. Morfometría Tradicional

El análisis de componentes principales realizado para el sexo, generó 17 factores para lograr una representatividad del 100% (Tabla 5), y se observa que el primer componente principal es el que permite una calidad de representación del 90.87%, y todas las variables contribuyeron a este factor.

Tabla 5. Morfometría tradicional. Análisis de Componentes Principales para sexo de *G. bogotensis* y *G. cochae*.

Varianza Total Explicada			
Componente Principal	Autovalor	% de Varianza	Acumulada (%)
1	16,36	90,87	90,87
2	0,57	3,18	94,05
3	0,20	1,10	95,15
4	0,15	0,82	95,97
5	0,11	0,61	96,58
6	0,10	0,54	97,12
7	0,09	0,49	97,61
8	0,07	0,41	98,02
9	0,07	0,38	98,39
10	0,06	0,36	98,75
11	0,05	0,28	99,03
12	0,05	0,26	99,29
13	0,04	0,21	99,50
14	0,03	0,17	99,67
15	0,02	0,12	99,78
16	0,02	0,11	99,90
17	0,01	0,10	100

El análisis discriminante realizado del sexo para cada una de las poblaciones, encontró diferencias morfométricas significativas entre los sexos de las poblaciones de *Grundulus* de Suárez, Lago de Tota y Laguna de la Cocha, mientras que para la población de la cuenca del río Bogotá, no hubo diferencias morfométricas significativas para el sexo (Lambda de Wilks=0.818, $p>0.05$) (Figura 5). El análisis estadístico para todos los individuos generó una función canónica que representa el 100% de la variación expresada y discrimina significativamente a los sexos (Lambda de Wilks = 0.517, $p < 0.0001$), además se observaron diferencias significativas en las medias de los grupos.

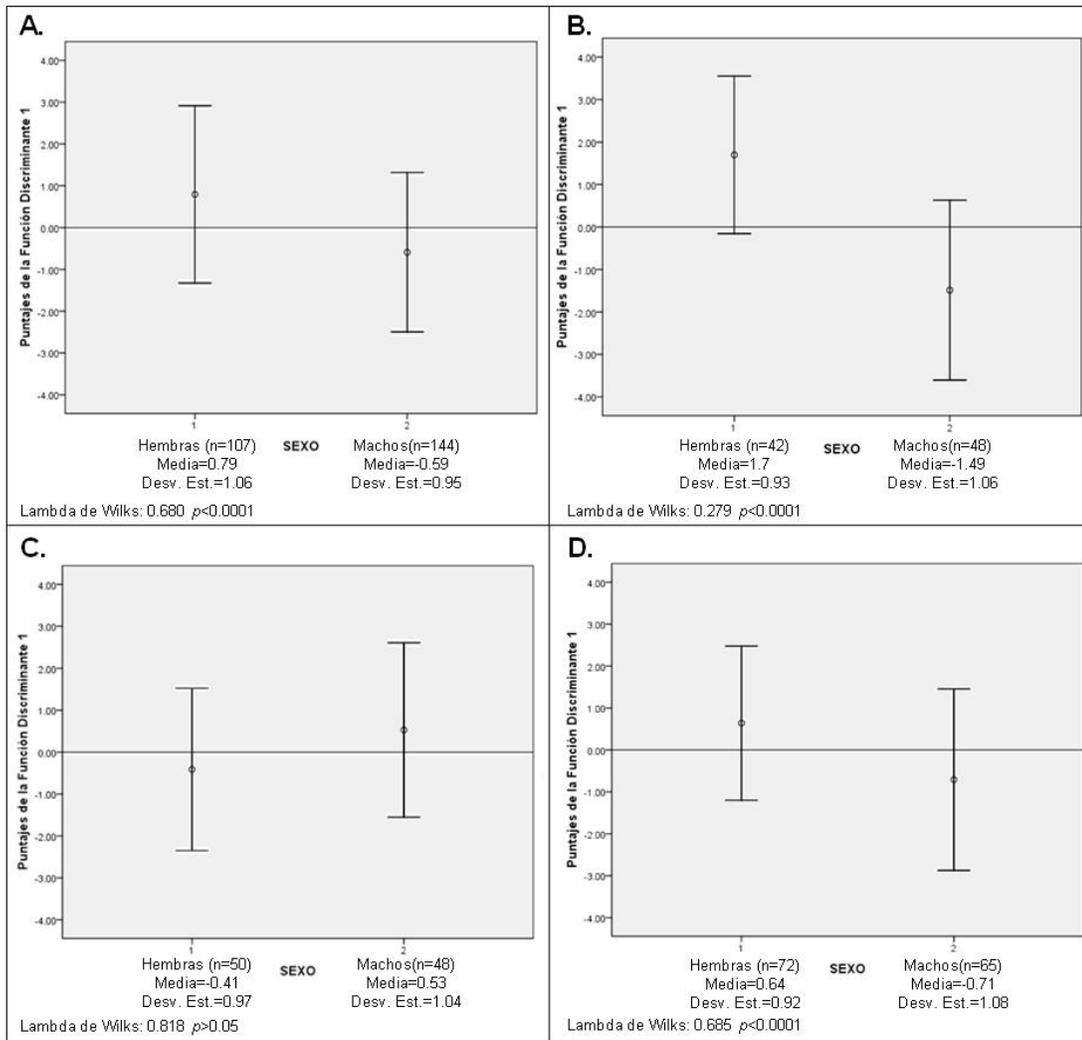


Figura 5. Morfometría tradicional. Gráfica de los centroides y barras de errores que representan la desviación estándar para hembras y machos de las poblaciones de *Grundulus* con la primera función discriminante. **A.** Análisis Discriminante para la población de la cuenca del río Suárez. **B.** Análisis Discriminante para la población del Lago de Tota. **C.** Análisis Discriminante para la población de la cuenca del río Bogotá. **D.** Análisis Discriminante para la población de la Laguna de la Cocha.

El análisis “paso a paso”, seleccionó 14 medidas para discriminar las hembras de los machos, donde las hembras se caracterizaron por presentar mayores longitudes asociadas a las aletas, al pedúnculo caudal y la longitud preentral (LD, LPC, LP, LPV, LA, AIO y LV) mientras que los machos se caracterizaron por presentar mayor longitud de la cabeza y longitudes asociadas al tamaño del cuerpo (Tabla 6).

Tabla 6. Morfometría tradicional. Variables seleccionadas por el método “paso a paso” para la discriminación entre hembras y machos de las poblaciones de *G. bogotensis* y *G. cochae*. En cada paso, la variable que minimiza el Lambda de Wilks total es seleccionada.

Variables Seleccionadas por la Función Canónica Discriminante 1				
Paso	Variable (Sigla)	Lambda de Wilks	Significancia	Coefficiente Estandarizado
1	LD	0.797	< 0.0001	1.549
2	AC	0.755	< 0.0001	-2.111
3	LPD	0.717	< 0.0001	-0.562
4	LPC	0.697	< 0.0001	1.155
5	LP	0.685	< 0.0001	1.079
6	LPV	0.666	< 0.0001	3.314
7	LA	0.656	< 0.0001	1.419
8	AIO	0.644	< 0.0001	0.730
9	DO	0.590	< 0.0001	-2.780
10	LH	0.556	< 0.0001	-3.160
11	LBA	0.538	< 0.0001	-1.413
12	LBD	0.531	< 0.0001	-2.732
13	LC	0.526	< 0.0001	-3.359
14	LV	0.517	< 0.0001	8.448

La prueba de clasificación mediante el análisis discriminante clasificó correctamente 82.6% (n= 476) de los ejemplares analizados en los grupos

discriminados. El porcentaje de clasificación correcta para hembras fue de 85.2% mientras que para machos fue de 80.3%. Por otro lado la prueba de validación cruzada clasificó correctamente 80.7% (n=465) de los ejemplares en los grupos, donde las hembras se clasificaron correctamente en un 84.3% y el porcentaje de clasificación correcta para machos fue de 78.4% (Tabla 7)

Tabla 7. Morfometría tradicional. Resultados de la clasificación para cada grupo mediante el análisis discriminante y la validación cruzada.

Resultados de la Clasificación					
		SEXO	Grupo Pronosticado		Total
			Hembras	Machos	
Original	Recuento	Hembras	231	40	271
		Machos	60	245	305
	%	Hembras	85.2	14.8	100
		Machos	19.7	80.3	100
Validación Cruzada	Recuento	Hembras	226	45	271
		Machos	66	239	305
	%	Hembras	83.4	16.6	100
		Machos	21.6	78.4	100

El análisis discriminante seleccionó 14 de las 18 medidas morfométricas para separar las hembras de los machos, mostrando dimorfismo sexual en estas variables, por lo tanto el análisis morfométrico tradicional se realizó por sexo separado.

El análisis discriminante realizado para las hembras de las poblaciones de *G. bogotensis* y la población de la Laguna de la Cocha (n=271) generó tres funciones canónicas, donde las dos primeras funciones expresaron el 94% de la variación total (Tabla 8). La primera función explicó el 79.4% de la variación total y separó las hembras de la población de la Laguna de la Cocha de las poblaciones de *G. bogotensis*, mientras que la segunda función

canónica expresó el 14.6% de la variación total, y separó a las hembras de la cuenca del Río Bogotá de las cuencas del río Suárez y Lago de tota (Lambda de Wilks= 0.167; $p < 0.0001$), estas dos poblaciones se solapan y los centroides se encuentran muy cercanos (Figura 6)

Tabla 8. Morfometría tradicional. Funciones canónicas generadas a partir del modelo discriminante con sus respectivos puntajes.

Funciones Canonicas				
Función	Autovalor	% de Varianza	Acumulada (%)	Correlación Canónica
1	2.471	79.4	79.4	0.844
2	0.455	14.6	94.0	0.559
3	0.187	6.0	100.0	0.397

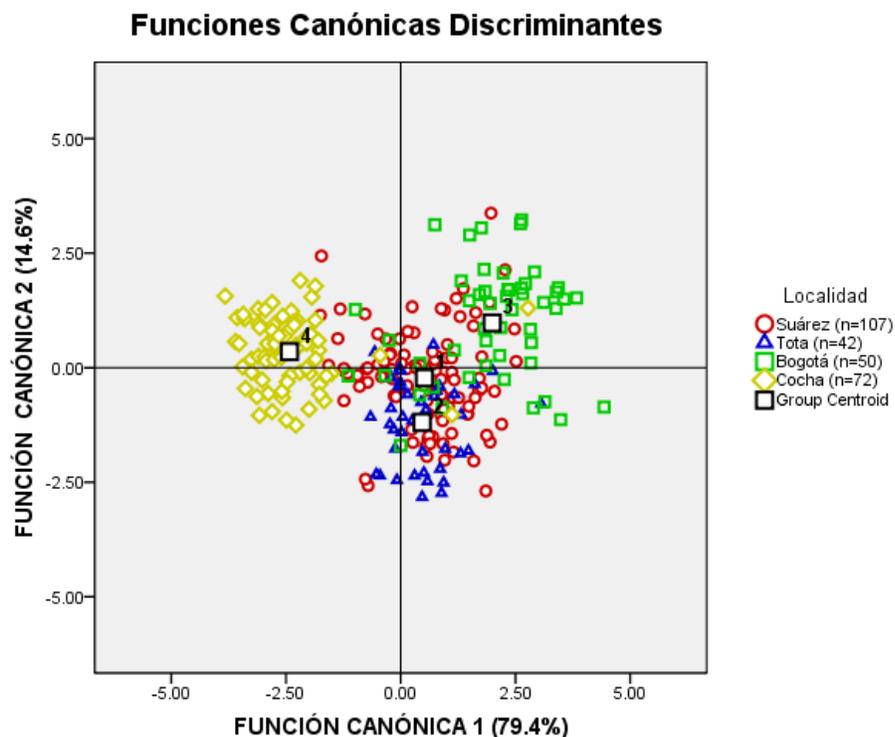


Figura 6. Morfometría tradicional. Gráfica de la proyección de los puntajes de las hembras de las poblaciones de *G. bogotensis* y la población de la Laguna de La Cocha sobre las dos primeras funciones canónicas.

El método “paso a paso” seleccionó 11 de las 18 medidas morfométricas para discriminar las poblaciones de las hembras (Tabla 9), donde las hembras de la Laguna de La Cocha se caracterizaron por presentar mayor longitud asociadas a la altura del cuerpo, al pedúnculo caudal y base dorsal que fueron las de mayor aporte a la función canónica 1, mientras que las variables que aportaron mayormente a la función canónica 2, fueron las longitudes asociadas al tamaño (LPP, LPD, LBA, LS, AIO y DO) las cuales caracterizaron a las hembras de *G. bogotensis* de la cuenca del río Bogotá.

Tabla 9. Morfometría tradicional. Variables seleccionadas por el método “paso a paso” para la discriminación entre las poblaciones de hembras de *G. bogotensis* y la población de la Laguna de La Cocha y sus coeficientes canónicos estandarizados, respecto a cada función canónica. En cada paso, la variable que minimiza el Lambda de Wilks total es seleccionada.

Variables Seleccionadas por el Método "paso a paso"						
Paso	Variable (Sigla)	Lambda de Wilks	Significancia	Función Canónica 1	Función Canónica 2	Función Canónica 3
1	LPC	0.883	< 0.0001	2.711	0.821	0.974
2	LBD	0.410	< 0.0001	-2.489	-0.684	0.894
3	LPP	0.371	< 0.0001	-3.904	7.025	1.374
4	LPD	0.288	< 0.0001	3.428	-4.026	-2.930
5	LV	0.259	< 0.0001	-2.460	-0.331	3.581
6	AC	0.233	< 0.0001	4.730	-2.989	4.149
7	AIO	0.214	< 0.0001	-2.254	-2.618	-0.290
8	DO	0.196	< 0.0001	-0.060	3.590	-2.981
9	LH	0.185	< 0.0001	0.651	-2.043	-3.000
10	LBA	0.175	< 0.0001	-1.809	-2.041	1.237
11	LS	0.167	< 0.0001	1.515	3.597	-2.950

La prueba de clasificación con el análisis discriminante (Original) clasificó correctamente 200 hembras (73.8%) en los grupos discriminados. La prueba de validación cruzada clasificó correctamente 193 ejemplares (71.2%) en los grupos discriminados. El grupo con el mayor porcentaje de clasificación correcta con las dos pruebas fue la población de hembras de la Laguna de

la Cocha con 95.8% (n=69), mientras que el grupo con menor porcentaje fue la población de Suárez con 53.3% (n=57) seguido de Tota (69%) y Bogotá (76%) (Tabla 10)

Tabla 10. Morfometría tradicional. Resultados de la clasificación para las poblaciones de hembras mediante el Análisis Discriminante (Original) y la prueba de Validación Cruzada.

Resultados de la Clasificación							
	LOCALIDAD	Grupo Pronosticado				Total	
		Suárez	Tota	Bogotá	Cocha		
Original	Conteo	Suárez	62	20	14	11	107
		Tota	10	30	2	0	42
		Bogotá	8	2	39	1	50
		Cocha	1	1	1	69	72
	%	Suárez	57.9	18.7	13.1	10.3	100
		Tota	23.8	71.4	4.8	0	100
		Bogotá	16.0	4.0	78.0	.0	100
		Cocha	1.4	1.4	1.4	95.8	100
Validación Cruzada	Conteo	Suárez	57	23	16	11	107
		Tota	11	29	2	0	42
		Bogotá	7	3	38	2	50
		Cocha	1	1	1	69	72
	%	Suárez	53.3	21.5	15.0	10.3	100
		Tota	26.2	69.0	4.8	.0	100
		Bogotá	14.0	6.0	76.0	4.0	100
		Cocha	1.4	1.4	1.4	95.8	100

El análisis discriminante realizado para los machos de las tres poblaciones del Altiplano Cundiboyacense y la población de la Laguna de la Cocha (n=305) generó tres funciones canónicas, donde las dos primeras funciones expresaron el 94.2% de la variación total (Tabla 11). La primera función explicó el 77.3% de la variación total y separó a los machos de las poblaciones de las cuencas del Río Bogotá y Lago de Tota de las cuencas del Río Suárez y de la Laguna de La Cocha. La segunda función canónica expresó el 16.9% de la variación total, y separó a las poblaciones en cuatro grupos (Lambda de Wilks= 0.253; $p < 0.0001$), donde los cuatro grupos centroides están separados, sin embargo la población de *G. bogotensis* de la

cuenca del Río Suárez se distribuye ampliamente y comparte puntajes con las demás poblaciones de machos (Figura 7).

Tabla 11. Morfometría tradicional. Funciones canónicas generadas a partir del modelo discriminante con sus respectivos puntajes.

Funciones Canonicas				
Función	Autovalor	% de Varianza	Acumulada (%)	Correlación Canónica
1	1.609	77.3	77.3	0.785
2	0.352	16.9	94.2	0.510
3	0.120	5.8	100	0.327

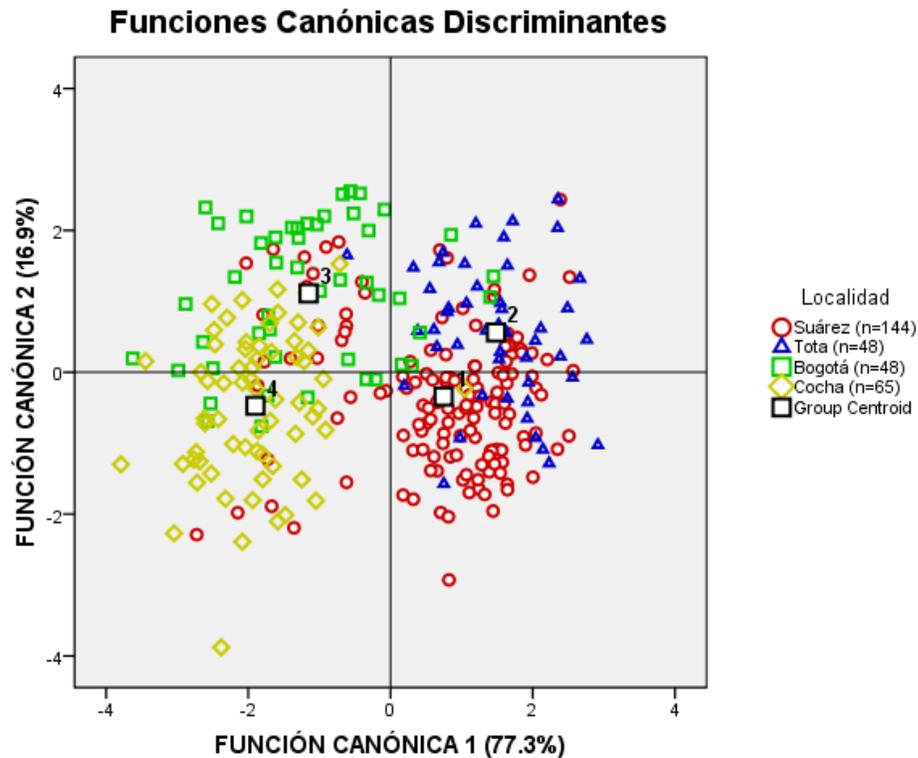


Figura 7. Morfometría tradicional. Gráfica de la proyección de los puntajes de los machos de las poblaciones del Altiplano Cundiboyacense y la población de la Laguna de La Cocha sobre las dos primeras funciones canónicas.

El método “paso a paso” seleccionó 6 de las 18 medidas morfométricas para discriminar las poblaciones de los machos (Tabla 12), donde para la primera función canónica las variables de importancia fueron AIO y DO. Por otro lado las variables de mayor importancia para la segunda función canónica fueron LPD y LS y finalmente en la tercera función canónica las variables de mayor importancia fueron APC y LPV.

Tabla 12. Morfometría tradicional. Variables seleccionadas por el método “paso a paso” para la discriminación entre las poblaciones de machos del Altiplano Cundiboyacense y la población de la Laguna de La Cocha y sus coeficientes canónicos estandarizados, respecto a cada función canónica. En cada paso, la variable que minimiza el Lambda de Wilks total es seleccionada.

Variables Seleccionadas por el Método "paso a paso"						
Paso	Variable (Sigla)	Lambda de Wilks	Significancia	Función Canónica 1	Función Canónica 2	Función Canónica 3
1	AIO	0.467	< 0.0001	1.874	-1.235	-1.552
2	LPD	0.357	< 0.0001	-0.758	4.496	-4.039
3	DO	0.318	< 0.0001	-1.088	0.357	-0.051
4	APC	0.291	< 0.0001	0.252	0.696	3.700
5	LPV	0.269	< 0.0001	-1.139	-0.989	2.626
6	LS	0.253	< 0.0001	1.598	-2.838	-0.638

La prueba de clasificación con el análisis discriminante (Original) clasificó correctamente 211 machos (69.2%) en los grupos discriminados, donde el grupo con el mayor porcentaje de clasificación correcta fue la población de machos de La Laguna de La Cocha (83.1%) y el grupo con el menor porcentaje fue la población de Suárez (63.2%). En forma semejante la prueba de validación cruzada clasificó correctamente 205 ejemplares (67.2%) en los grupos discriminados. Para esta prueba el grupo con el mayor porcentaje de clasificación correcta fue la población de la Laguna de La

Cocha (81.5%) mientras que el menor porcentaje de clasificación lo presentó la población de Suárez (61.1%) (Tabla 13).

Tabla 13. Morfometría tradicional. Resultados de la clasificación para las poblaciones de machos mediante el Análisis Discriminante (Original) y la prueba de Validación Cruzada.

Resultados de la Clasificación							
	LOCALIDAD	Grupo Pronosticado				Total	
		Suárez	Tota	Bogotá	Cocha		
Original	Conteo	Suárez	91	27	17	9	144
		Tota	12	35	1	0	48
		Bogotá	5	3	31	9	48
		Cocha	1	0	10	54	65
	%	Suárez	63.2	18.8	11.8	6.2	100
		Tota	25.0	72.9	2.1	.0	100
		Bogotá	10.4	6.2	64.6	18.8	100
		Cocha	1.5	.0	15.4	83.1	100
Validación Cruzada	Conteo	Suárez	88	29	18	9	144
		Tota	13	33	1	1	48
		Bogotá	5	3	31	9	48
		Cocha	1	0	11	53	65
	%	Suárez	61.1	20.1	12.5	6.2	100
		Tota	27.1	68.8	2.1	2.1	100
		Bogotá	10.4	6.2	64.6	18.8	100
		Cocha	1.5	.0	16.9	81.5	100

7.2. Morfometría Geométrica (AGP)

Se analizaron un total de 317 individuos, los cuales presentaron longitud total (LT) superior o igual a 50mm, de los cuales 260 ejemplares pertenecen a las tres poblaciones de *Grundulus bogotensis* de las cuencas de los ríos Bogotá, Suárez y Lago de Tota y 57 ejemplares provenientes de la población de la Laguna de la Cocha. De los ejemplares analizados, 140 (44.16%) fueron hembras y 177 (55.84%) machos (Tabla 14), representando una proporción sexual de 1:1.26.

Tabla 14. Morfometría geométrica. Ejemplares analizados con LT superior o igual a 50mm por cuenca, lugar de colecta y sexo.

Cuenca	Lugar de Colecta	Hembras	Machos	Total
Suárez	Laguna de Fúquene	2	3	5
	Río Ubaté	12	22	34
	Laguna de Cucunubá	1	4	5
	Embalse el Hato	1	0	1
	Vallado Maná de Ramos	22	30	52
Total Suarez		38	59	97
Bogotá	Río Bogotá Sector Tibitó	5	0	5
	Río Bogotá-Vallado la Susana	26	20	46
	Quebrada Mancilla	7	5	12
	Embalse de Tominé	1	10	11
Total Bogotá		39	35	74
Tota	Lago de Tota	29	30	59
	Río Upía	12	18	30
Total Tota		41	48	89
Cocha	Laguna de La Cocha	22	35	57
Total Cocha		22	35	57
Total General		140	177	317

El análisis generalizado de Procrustes realizado con el software de la serie TPS, usado para el análisis de sexo, transformó los puntos anatómicos (landmarks) en coordenadas, luego mediante una serie iterativa de desplazamientos, ajustes de escala y ajustes algebraicos eliminó de las coordenadas la variación no biológica, generando las variables de conformación. En las cuatro poblaciones de *Grundulus* analizadas se observó que los landmarks que presentaron mayor variación con respecto a la conformación consenso fueron los puntos 2, 4, 5, 7, los cuales están asociados a la altura del cuerpo y del pedunculo caudal (Figura 8).

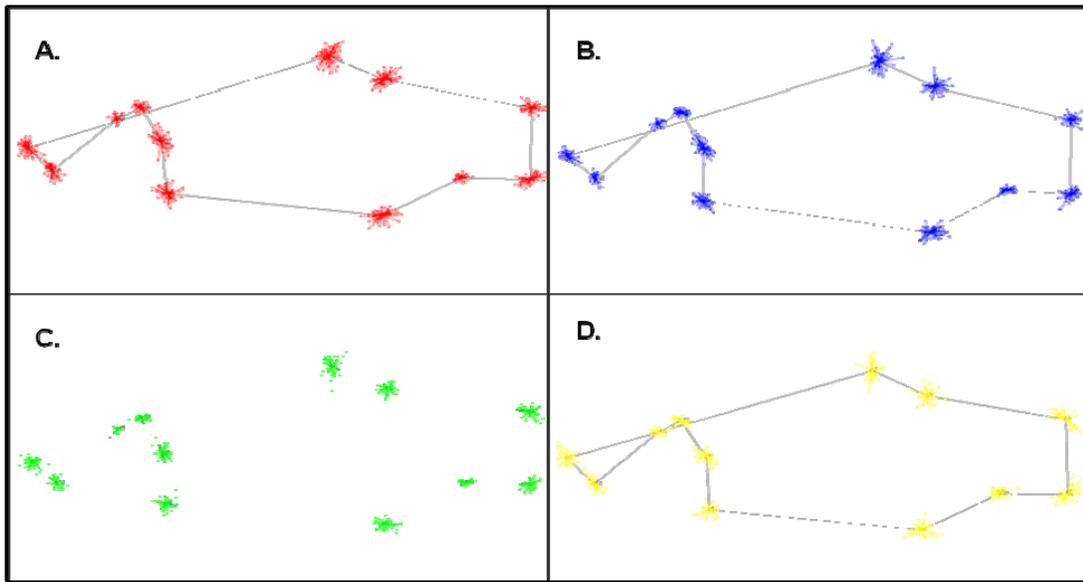


Figura 8. Morfometría geométrica. Puntos anatómicos (landmarks) de los ejemplares de *Grundulus* analizados. Los vectores representan la variación de cada punto con respecto a la conformación consenso. **A.** Conformación consenso y dispersión de los landmarks de los ejemplares de la cuenca del río Suárez. **B.** Conformación consenso y dispersión de los landmarks de los ejemplares de la cuenca del Lago de Tota. **C.** Conformación consenso y dispersión de los landmarks de los ejemplares de la cuenca del río Bogotá. **D.** Conformación consenso y dispersión de los landmarks de los ejemplares de la Laguna de la Cocha

Se realizó una regresión con las variables de conformación, donde se reconstruyó la configuración geométrica de los ejemplares, y se visualizó la magnitud y orientación de la variación de conformación (Figura 9), y se encontró que no existe una asociación entre el tamaño y la conformación geométrica de los grupos (Lambda de Wilks= 0.527; $p= 1.01E-27$).

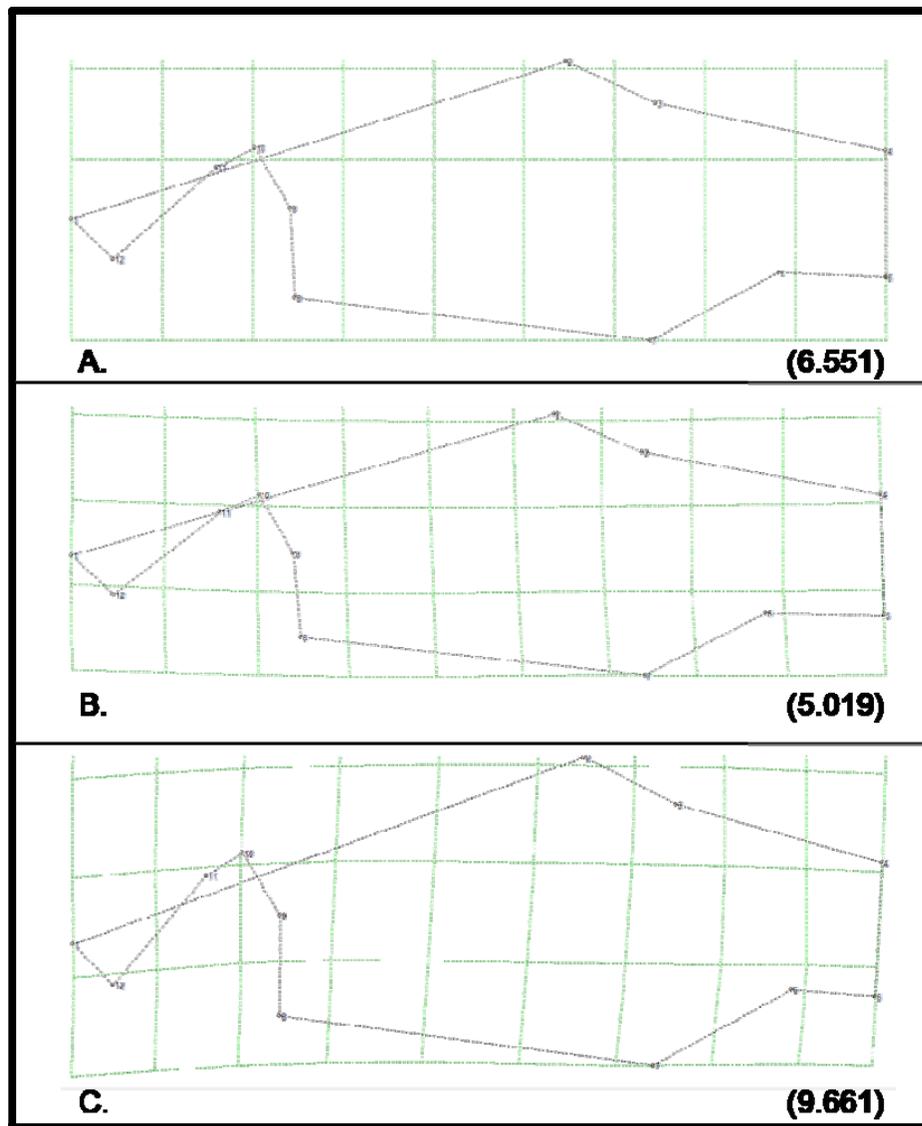


Figura 9. Morfometría geométrica. Visualización del rango de variación descrita por la configuración geométrica de los individuos, libres del efecto del tamaño. A. Configuración consenso generada a partir de los puntajes de deformación sometidos a regresión. B y C. Configuración geométrica de los puntajes extremos con respecto a la configuración consenso. Los valores indican el puntaje del autovector diagramado.

El Análisis de Componentes Principales para las variables de conformación obtenidas a partir de los “landmarks” (Tabla 15) reveló diferencias morfométricas entre hembras y machos, donde los tres primeros componentes principales dan cuenta de la mayor parte de la variación. Sin embargo no se evidencia una separación completa de los grupos (Figura 10).

Tabla 15. Morfometría geométrica. Valores y porcentajes del Análisis de Componentes Principales par las deformaciones relativas (Relative Warps)

Varianza Total Explicada			
Componente Principal	Autovalor	% de Varianza	Acumulada (%)
1	0.397	26.09%	26.09%
2	0.344	19.60%	45.69%
3	0.290	13.91%	59.59%
4	0.207	7.09%	66.69%
5	0.204	6.88%	73.57%
6	0.178	5.24%	78.82%
7	0.151	3.76%	82.58%
8	0.138	3.15%	85.72%
9	0.126	2.62%	88.34%
10	0.113	2.14%	90.49%
11	0.105	1.83%	92.32%
12	0.098	1.60%	93.91%
13	0.087	1.27%	95.18%
14	0.078	1.03%	96.21%
15	0.075	0.95%	97.16%
16	0.068	0.78%	97.94%
17	0.062	0.64%	98.58%
18	0.057	0.55%	99.13%
19	0.054	0.49%	99.62%
20	0.047	0.38%	100.00%

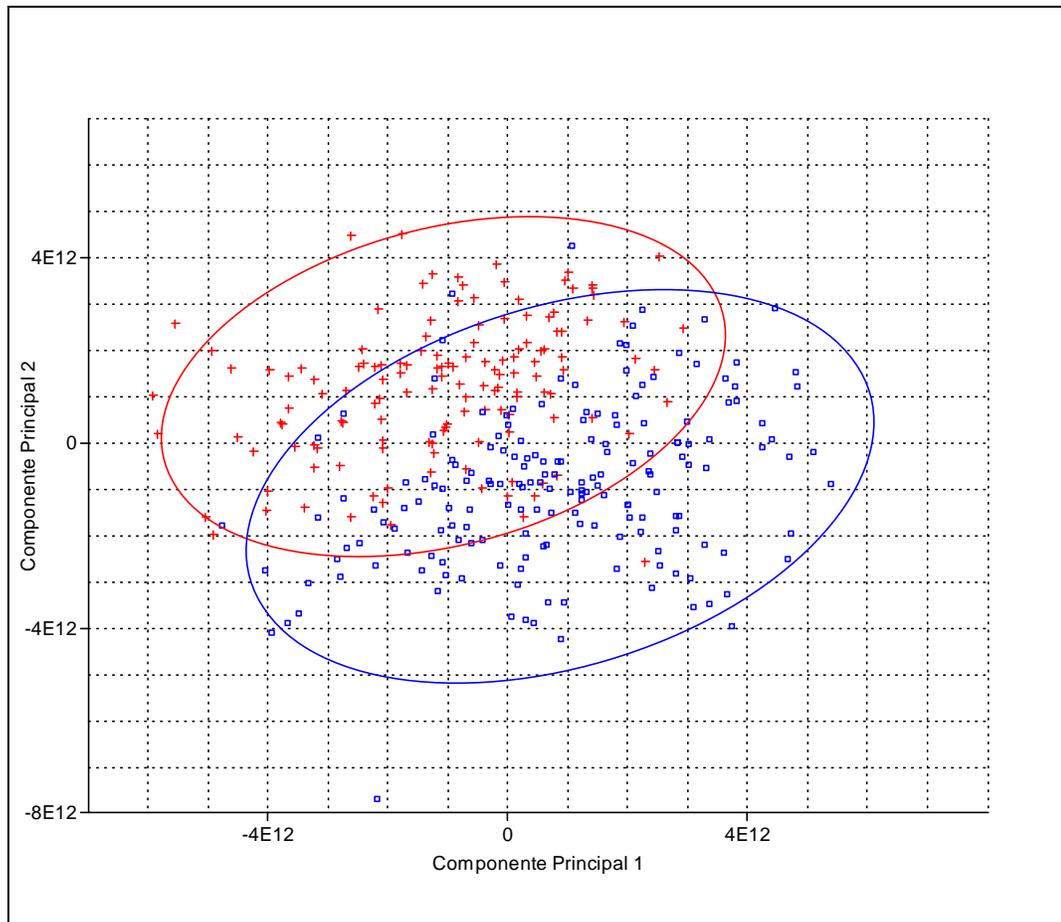


Figura10. Morfometría geométrica. Análisis de Componentes Principales de las variables de conformación. Las cruces rojas representan la variación de las hembras y los cuadros azules representan la variación de los machos con los dos primeros Componentes Principales.

El análisis discriminante realizado para el sexo, encontró que las hembras y los machos de las poblaciones de *Grundulus* de las cuencas de los ríos Bogotá y Suárez no presentan diferencias morfométricas significativas en su conformación geométrica, mientras que las poblaciones del Lago de Tota y la Laguna de La Cocha a nivel intrapoblacional si presentan diferencias morfométricas significativas entre hembras y machos. La prueba ANOVA de una vía realizado para la totalidad de la muestra detectó diferencias en la

conformación geométrica de los sexos ($F=12.59$; $p=0.0004$), evidenciando la existencia de dimorfismo sexual en las variables de conformación (Figura11).

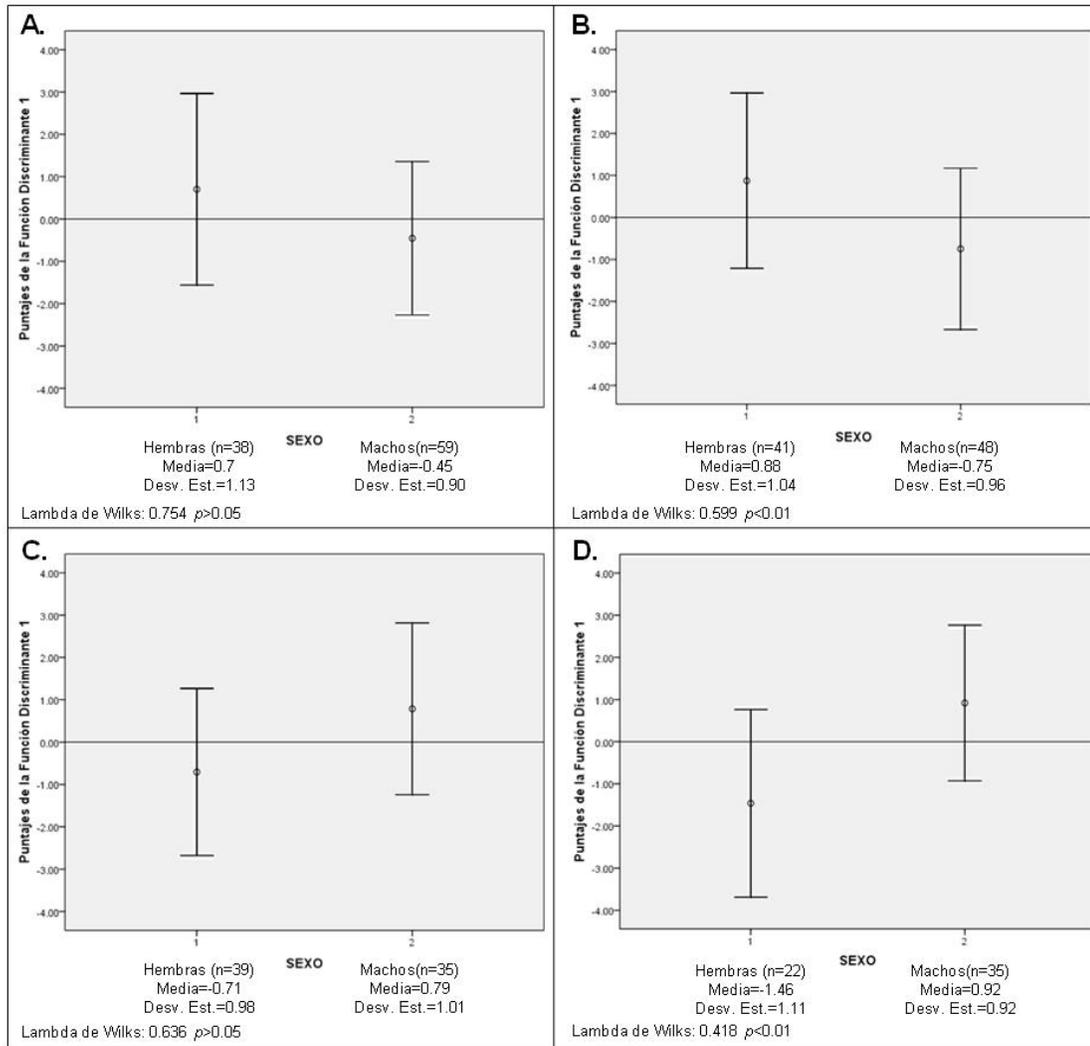


Figura 11. Morfometría geométrica. Gráfica del Análisis Discriminante realizado para el sexo a partir de las variables de conformación sobre la función discriminante. **A.** Análisis Discriminante para la población de la cuenca del río Suárez. **B.** Análisis Discriminante para la población del Lago de Tota. **C.** Análisis Discriminante para la población de la cuenca del río Bogotá. **D.** Análisis Discriminante para la población de la Laguna de la Cocha.

La prueba de clasificación a partir del análisis discriminante clasificó correctamente 290 individuos (91.48%) en los grupos discriminados. El porcentaje de clasificación correcta para las hembras fue de 91.43% y para los machos fue de 91.53% (Tabla 16).

Tabla 16. Morfometría geométrica. Resultados de la clasificación por sexo a partir de la función discriminante.

Resultados de la Clasificación					
		SEXO	Grupo Pronosticado		Total
			Hembras	Machos	
Original	Recuento	Hembras	128	12	140
		Machos	15	162	177
	%	Hembras	91.43	8.57	100
		Machos	8.47	91.53	100

El análisis generalizado de Procrustes realizado para el sexo de las poblaciones de *Grundulus* analizadas mostró que las hembras y los machos presentan diferencias en su conformación, por lo tanto el análisis geométrico se realizó para cada sexo por separado.

El análisis generalizado de Procrustes para las hembras se realizó con un n=140. A partir de los puntos anatómicos se crearon las coordenadas de conformación, seguidas del desplazamiento de las variables, ajustes de tamaño, rotación de los puntos y finalmente la superposición de los datos (Figura 12).

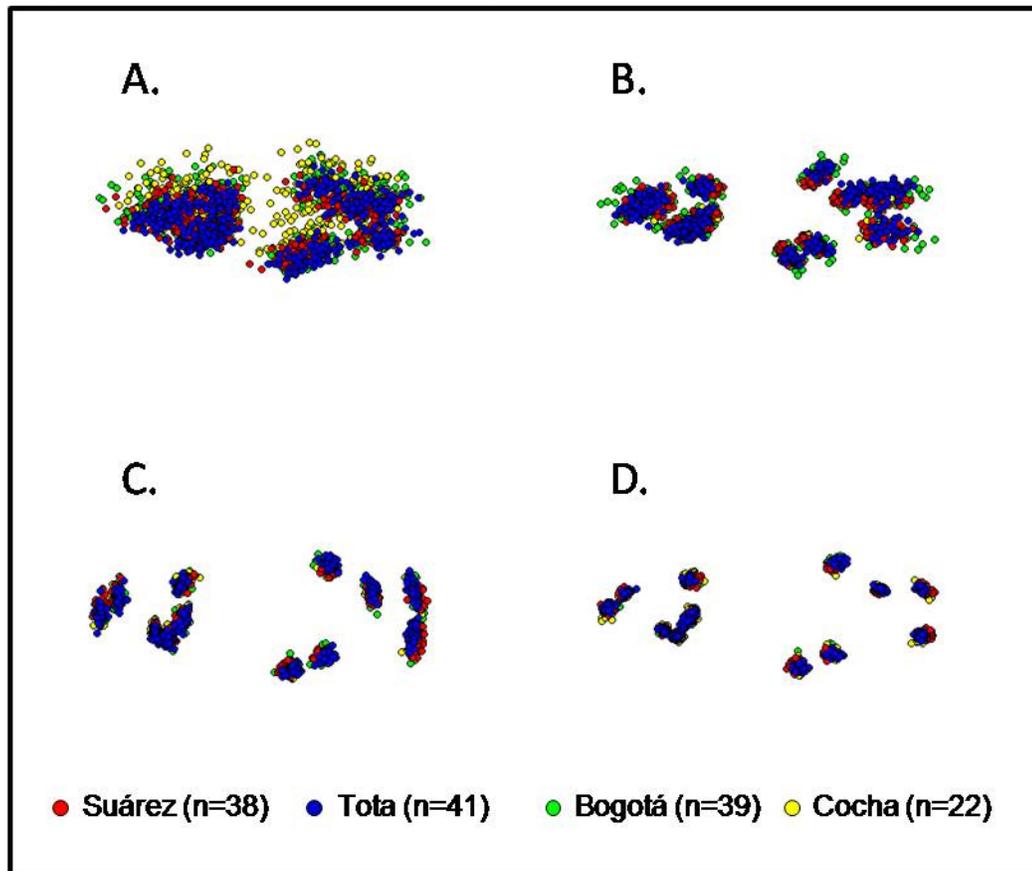


Figura 12. Morfometría geométrica. Puntos anatómicos (landmarks) de las hembras de las poblaciones de *Grundulus* analizadas. **A.** Coordenadas creadas a partir de los puntos anatómicos. **B.** Desplazamiento de las variables de conformación. **C.** Ajuste de la escala de las variables de conformación con respecto a la conformación consenso. **D.** Superposición de las variables de conformación.

Aunque ya se estableció que no existe una asociación entre el tamaño y la conformación geométrica de los grupos, se analizó el tamaño centroide de cada una de las poblaciones de las hembras, y se encontró que las hembras de la cuenca del río Bogotá son las que presentan mayor tamaño corporal, en contraste, las hembras de la Laguna de La Cocha son las que presentan

menor tamaño (Figura 13). Se realizó un ANOVA de una vía ($F=9.79$; $p=6.842E-05$) y se estableció que existen diferencias significativas entre el tamaño de las hembras de los cuatro grupos.

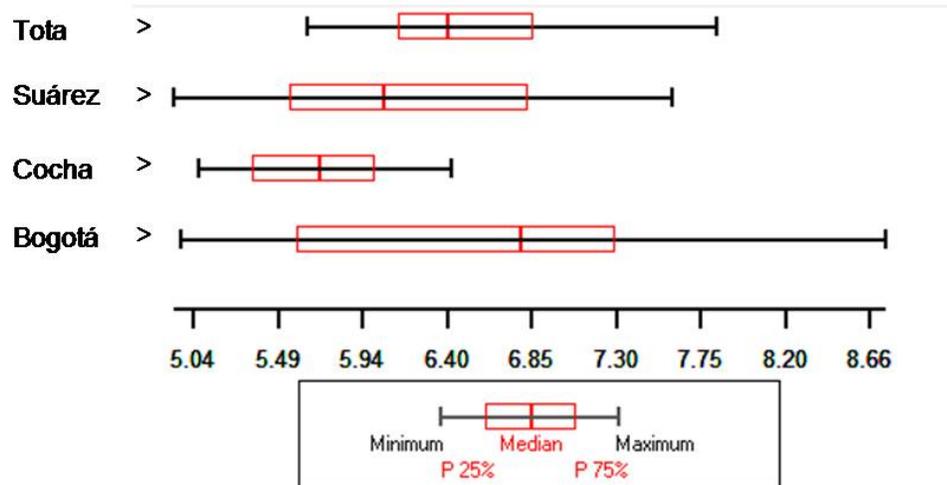


Figura 13. Morfometría geométrica. Grafica de los tamaños de las hembras de las cuatro poblaciones. Se presentan las medianas y los cuartiles de cada población.

El análisis canónico generó tres funciones canónicas (Lambda de Wilks: 0.093; $p<0.0001$), donde la primera función expresó el 53% de la varianza total, y separó a las hembras del Lago de Tota, por otro lado, la segunda función canónica representó el 24% de la variación y separó a las hembras de la Laguna de la Cocha de las hembras de la cuenca del río Suárez, mientras que las hembras de la cuenca del río Bogotá se encontraron en solapamiento con estas dos últimas poblaciones (Figura 14).

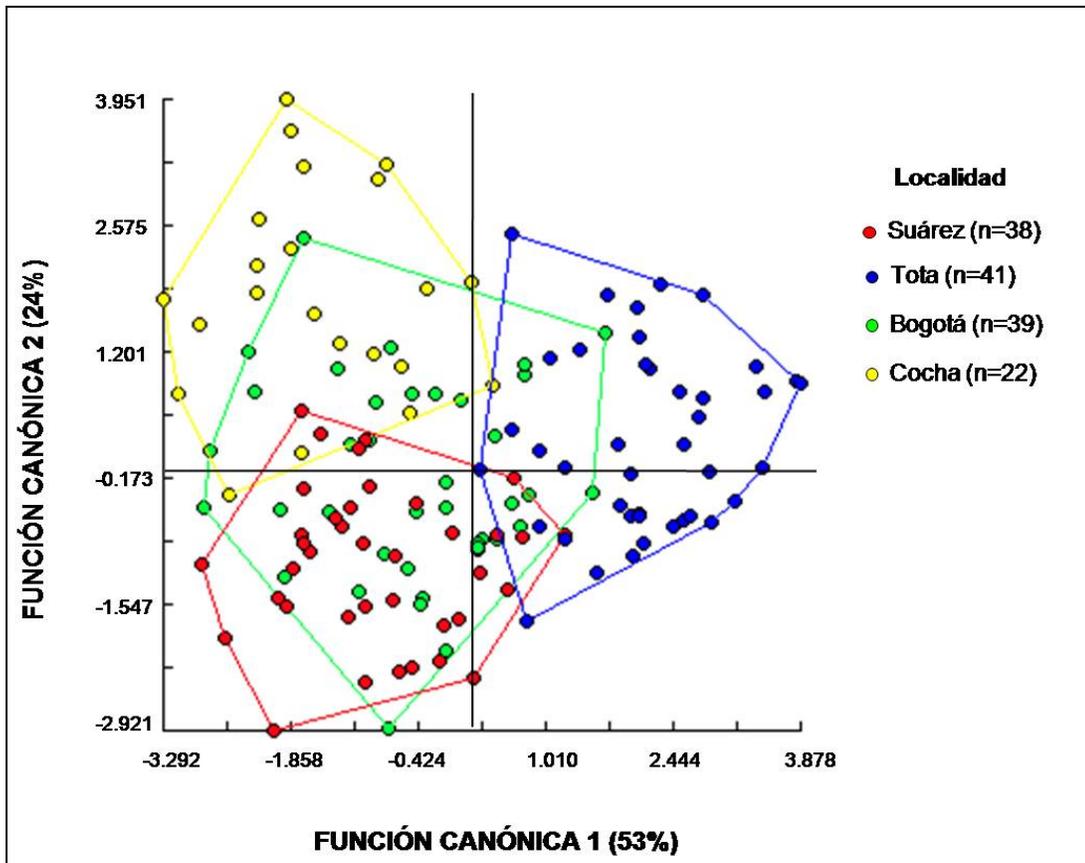


Figura14. Morfometría geométrica. Gráfica de la proyección de los puntajes de las hembras de las poblaciones de *G. bogotensis* y la población de la Laguna de La Cocha (n=140) sobre las dos primeras funciones canónicas.

El cálculo de las distancias de Mahalanobis se hizo por pares, donde la mayor distancia se encontró entre la población de la Laguna de la Cocha y el Lago de Tota, mientras que la menor distancia se presentó entre las hembras de las cuencas de los ríos Bogotá y Suárez, sin embargo todas las distancias calculadas fueron significativas entre los grupos (Tabla 17).

Tabla 17. Morfometría geométrica. Distancias de Mahalanobis calculada por pares de grupos para las hembras con sus respectivos valores de significancia.

Distancias de Mahalanobis				
LOCALIDAD	Suárez	Tota	Bogotá	Cocha
Suárez	0.00	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Tota	3.35	0.00	<0.0001	<0.0001
Bogotá	2.49	3.12	0.00	<0.0001
Cocha	3.01	4.00	3.03	0.00

A partir de las distancias de Mahalanobis calculadas se obtuvo un fenograma con el algoritmo UPGMA, y se encontró que las hembras con mayor variación en su conformación fueron las hembras del Lago de Tota, seguido por las hembras de la Laguna de la Cocha, y los grupos más similares los conforman las hembras de las cuencas de los ríos Bogotá y Suárez (Figura 15)

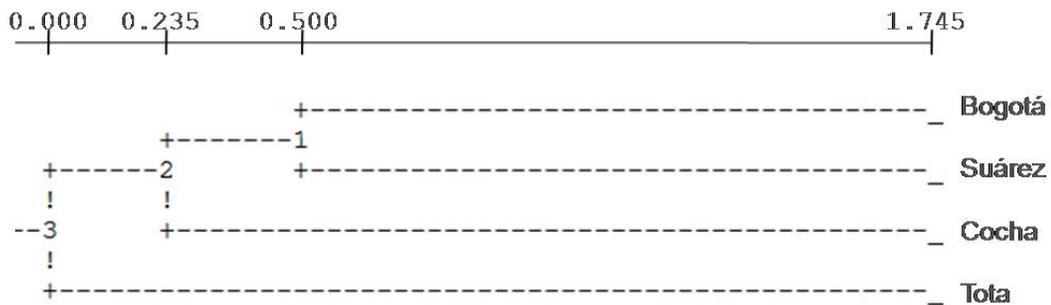


Figura 15. Morfometría geométrica. Fenograma obtenido por el método UPGMA a partir de las distancias de Mahalanobis de las hembras de *Grundulus* analizadas.

La prueba de clasificación basada en el modelo discriminante (Original) clasificó correctamente 117 hembras (83.57%) en los grupos discriminados,

mientras que la prueba de validación cruzada clasificó correctamente 100 ejemplares (71.42%). En ambos casos la población del Lago de Tota presentó el mayor porcentaje de clasificación y las hembras de la cuenca del río Bogotá presentaron el menor puntaje de clasificación correcta (Tabla 18).

Tabla 18. Morfometría geométrica. Resultados de la clasificación para las poblaciones de hembras mediante el Análisis Discriminante (Original) y la prueba de Validación Cruzada.

Resultados de la Clasificación					
	Localidad	Clasificados Correctamente	Pronosticados en otros grupos	Total	Porcentaje
Original	Suárez	32	6	38	84%
	Tota	36	5	41	87%
	Bogotá	30	9	39	76%
	Cocha	19	3	22	86%
Validación Cruzada	Suárez	28	10	38	73%
	Tota	34	7	41	82%
	Bogotá	23	16	39	58%
	Cocha	15	7	22	68%

El análisis generalizado de Procrustes para los machos contó con un n=177. A partir de los puntos anatómicos se crearon las coordenadas de conformación, seguidas del desplazamiento de las variables, ajustes de tamaño, rotación de los puntos y finalmente la superposición de los datos (Figura 16)

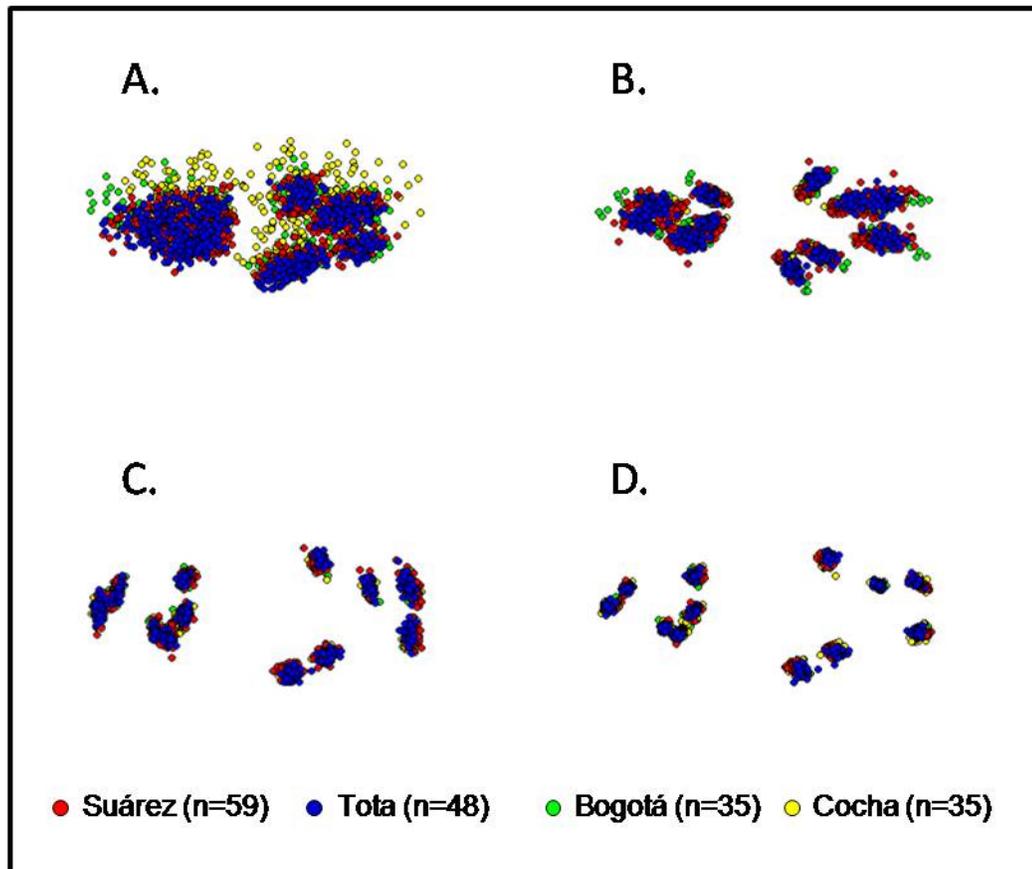


Figura 16. Morfometría geométrica. Puntos anatómicos (landmarks) de los machos de las poblaciones de *Grundulus* analizadas. **A.** Coordenadas creadas a partir de los puntos anatómicos. **B.** Desplazamiento de las variables de conformación. **C.** Ajuste de la escala de las variables de conformación con respecto a la conformación consenso. **D.** Superposición de las variables de conformación.

El análisis del tamaño centroide de los machos de las poblaciones de *Grundulus* en este estudio, encontró que los machos de la cuenca del río Bogotá presentaron el mayor tamaño corporal, en contraste, los machos de la Laguna de La Cocha fueron los que presentaron las menores tallas (Figura

17). Se realizó un ANOVA de una vía ($F=7.43$; $p<0.001$) y se estableció que existen diferencias significativas entre el tamaño de los machos de los cuatro grupos.

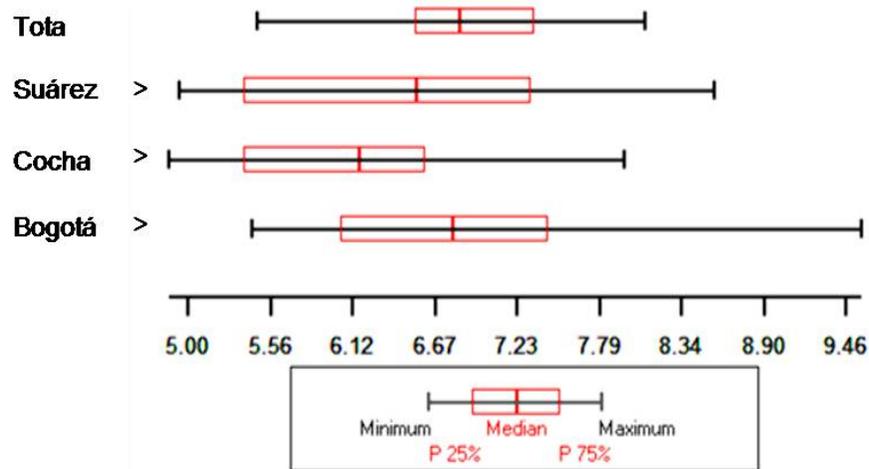


Figura 17. Morfometría geométrica. Grafica de los tamaños de los machos de las cuatro poblaciones de *Grundulus* analizadas. Se presentan las medianas y los cuartiles de cada población.

El análisis canónico generó tres funciones canónicas (Lambda de Wilks: 0.123; $p<0.0001$), donde la primera función expresó el 54% de la varianza total, y separó a los machos del Lago de Tota de las demás poblaciones. La segunda función canónica representó el 24% de la variación y separó a los machos de la cuenca del río Suárez, mientras que los machos de la cuenca del río Bogotá se encuentran muy cercanos con la población de la Laguna de La Cocha, incluso comparten puntajes con la población de Suárez (Figura 18).

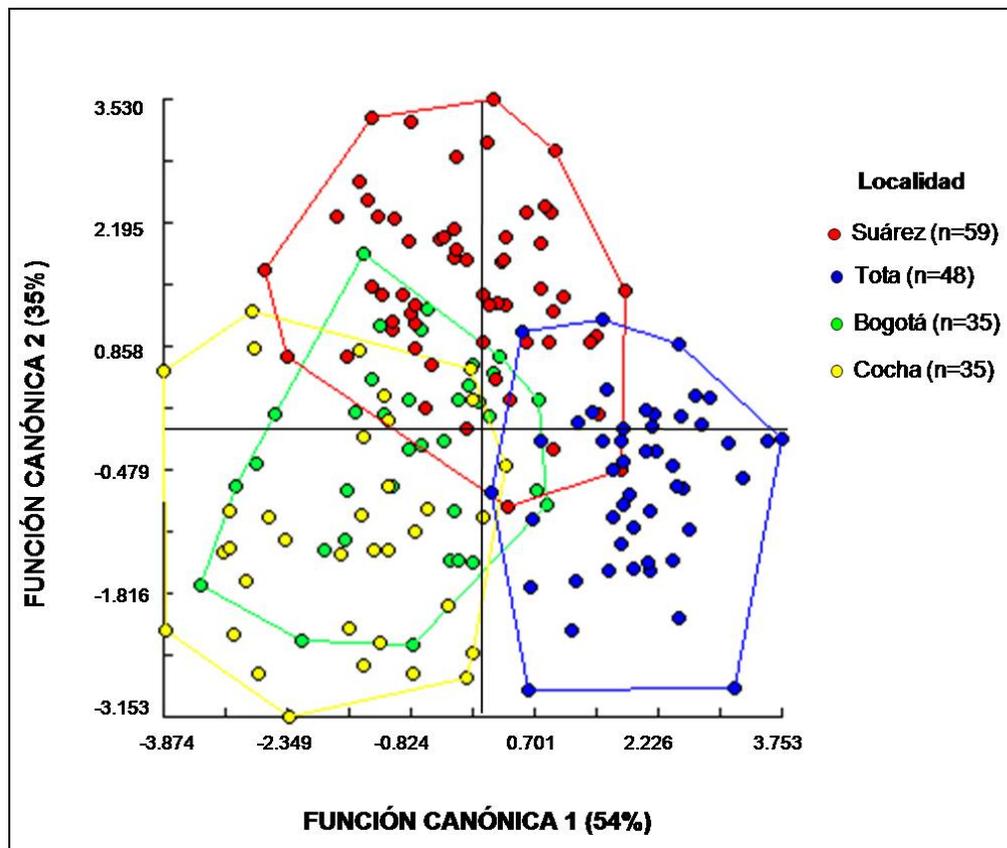


Figura 18. Morfometría geométrica. Gráfica de la proyección de los puntajes de las machos de las poblaciones de *G. bogotensis* y la población de la Laguna de La Cocha (n=177) sobre las dos primeras funciones canónicas.

El cálculo de las distancias de Mahalanobis se hizo por pares, donde la mayor distancia registrada fue entre la población de la Laguna de la Cocha y el Lago de Tota, mientras que la menor distancia se presentó entre los machos de la cuenca del río Bogotá y la Laguna de La Cocha (Tabla19).

Tabla 19. Morfometría geométrica. Distancias de Mahalanobis calculada por pares de grupos para los machos con sus respectivos valores de significancia.

Distancias de Mahalanobis				
LOCALIDAD	Suárez	Tota	Bogotá	Cocha
Suárez	0.00	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Tota	3.01	0.00	<0.0001	<0.0001
Bogotá	2.33	3.09	0.00	<0.0001
Cocha	3.06	3.68	2.13	0.00

En base a las distancias de Mahalanobis calculadas se obtuvo un fenograma con el método UPGMA, y se encontró que los machos con mayor variación en su conformación fueron ejemplares del Lago de Tota, seguido por los machos de la cuenca del río Suárez, y la menor distancia la obtuvieron los machos de la cuenca del río Bogotá y Laguna de la Cocha (Figura 19)

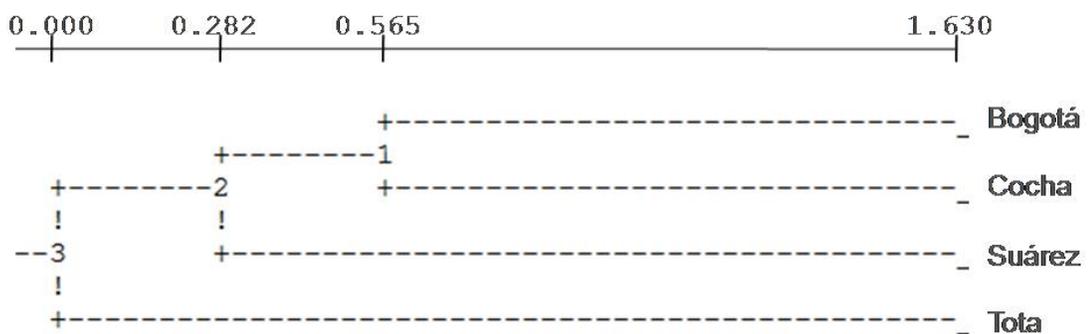


Figura 19. Morfometría geométrica. Fenograma obtenido por el método UPGMA a partir de las distancias de Mahalanobis de los machos de *Grundulus* analizados.

La prueba de clasificación basada en el modelo discriminante (Original) clasificó correctamente 140 machos (79.09%) en los grupos discriminados, mientras que la prueba de validación cruzada clasificó correctamente 119 ejemplares (67.23%). Para las dos pruebas, la población del Lago de Tota presentó el mayor porcentaje de clasificación (89%), mientras que los machos de la Laguna de La Cocha presentaron los puntajes más bajos clasificación correcta por el método del análisis discriminante, pues con la prueba de validación cruzada el menor puntaje de clasificación correcta lo obtuvo la población de la cuenca del río Bogotá (Tabla 20).

Tabla 20. Morfometría geométrica. Resultados de la clasificación para las poblaciones de machos mediante el Análisis Discriminante (Original) y la prueba de Validación Cruzada.

Resultados de la Clasificación					
	Localidad	Clasificados Correctamente	Pronosticados en otros grupos	Total	Porcentaje
Original	Suárez	50	9	59	84%
	Tota	44	4	48	91%
	Bogotá	25	10	35	71%
	Cocha	21	14	35	60%
Validación Cruzada	Suárez	43	16	59	72%
	Tota	43	5	48	89%
	Bogotá	14	21	35	40%
	Cocha	19	16	35	54%

7.3. Merística

Se realizaron conteos merísticos de 529 ejemplares, de los cuales 242 (45.74%) fueron hembras y 287 (54.26%) fueron machos, resultando una proporción sexual de 1:1.18.

El análisis discriminante realizado para el sexo de cada una de las poblaciones, encontró que las hembras y los machos de las poblaciones de Bogotá, Tota y Cocha no presentaron diferencias morfológicas significativas, mientras que la población de la cuenca del río Suárez presentó diferencias significativas entre sexos (Lambda de Wilks: 0.908; $p=0.025$), sin embargo la distancia en las medias de los grupos es muy poca y los puntajes de la desviación estándar se superponen (Figura 20).

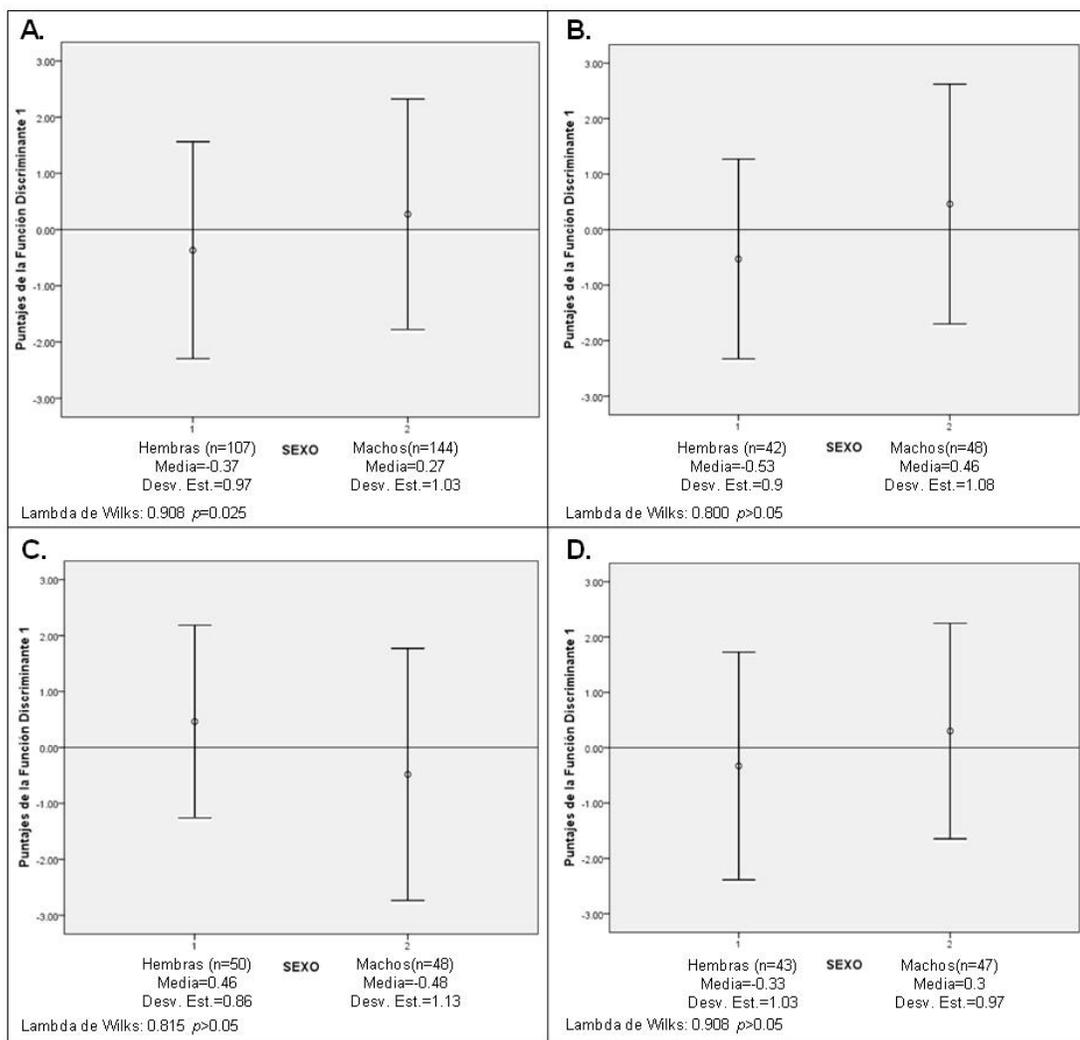


Figura 20. Merística. Gráfica de los centroides y barras de errores que representan la desviación estándar para hembras y machos de las poblaciones de *G. bogotensis* y *G. cochae* para la función discriminante. **A.** Análisis Discriminante para la

población de la cuenca del río Suárez. **B.** Análisis Discriminante para la población del Lago de Tota. **C.** Análisis Discriminante para la población de la cuenca del río Bogotá. **D.** Análisis Discriminante para la población de la Laguna de la Cocha.

El análisis “paso a paso”, seleccionó 2 variables merísticas para discriminar las hembras de los machos de la población de Suárez (Tabla 21). El modelo discriminante clasificó correctamente 58.22% (308/529) de los individuos en los grupos discriminados, de forma similar, la prueba de clasificación por validación cruzada, clasificó correctamente 307 de los 529 ejemplares analizados. El porcentaje de clasificación correcta de las hembras fue del 58.7% mientras que el de los machos fue de 57.5%. (Tabla 22).

Tabla 21. Merística. Variables seleccionadas por el método “paso a paso” para la discriminación entre hembras y machos de la población de *Grundulus* de la cuenca del río Suárez.

Variables Seleccionadas por la Función Canónica Discriminante 1				
Paso	Variable (Sigla)	Lambda de Wilks	Significancia	Coficiente Estandarizado
1	V	0.972	< 0.0001	0.612
2	DM	0.956	< 0.0001	0.841

Tabla 22. Merística. Resultados de la clasificación para cada grupo mediante el análisis discriminante y la validación cruzada.

Resultados de la Clasificación					
		SEXO	Grupo Pronosticado		Total
			Hembras	Machos	
Original	Recuento	Hembras	142	100	242
		Machos	121	166	287
	%	Hembras	58.7	41.3	100
		Machos	42.2	57.8	100
Validación Cruzada	Recuento	Hembras	142	100	242
		Machos	122	165	287
	%	Hembras	58.7	41.3	100
		Machos	42.5	57.5	100

El análisis discriminante mostró diferencias estadísticas significativas entre los sexos de los individuos de la población de Suárez únicamente, pues las poblaciones de Bogotá, Tota y Cocha no presentaron diferencias significativas entre los sexos, sin embargo, el análisis se realizó por sexo independientemente. Para hembras y machos se realizó el conteo de 12 variables merísticas (ANEXO VI y VII), pero para el presente estudio solo se analizaron las variables merísticas utilizadas como caracteres diagnósticos en la descripción de *G. cochae* y la redescrición de *G. bogotensis*, por los cuales se diferencian estas dos especies. Los caracteres analizados fueron: dientes en el dentario (DD), dientes en la maxila (DM), dientes en la premaxila (DPM), radios simples en la aleta anal (NRA), radios ramificados en la aleta anal (A).

Las hembras de las cuatro poblaciones presentaron un rango de DD, cuyas frecuencias variaron entre 6 a 15 dientes. Los DD para las hembras de la población de Suárez la moda se ubicó en 11 dientes, para las hembras de Tota la fue moda en 9 dientes, para los ejemplares de Bogotá la moda fue 10 dientes, mientras que las hembras de la Laguna de la Cocha la moda fue 12 dientes. En el caso de los machos el número de DD estuvo entre 7 y 17 dientes, y el mayor porcentaje de individuos presentaron entre 10 a 12 dientes en el dentario, sin embargo para la Laguna de la Cocha hubo representatividad para 12 y 13 dientes (Figura 21).

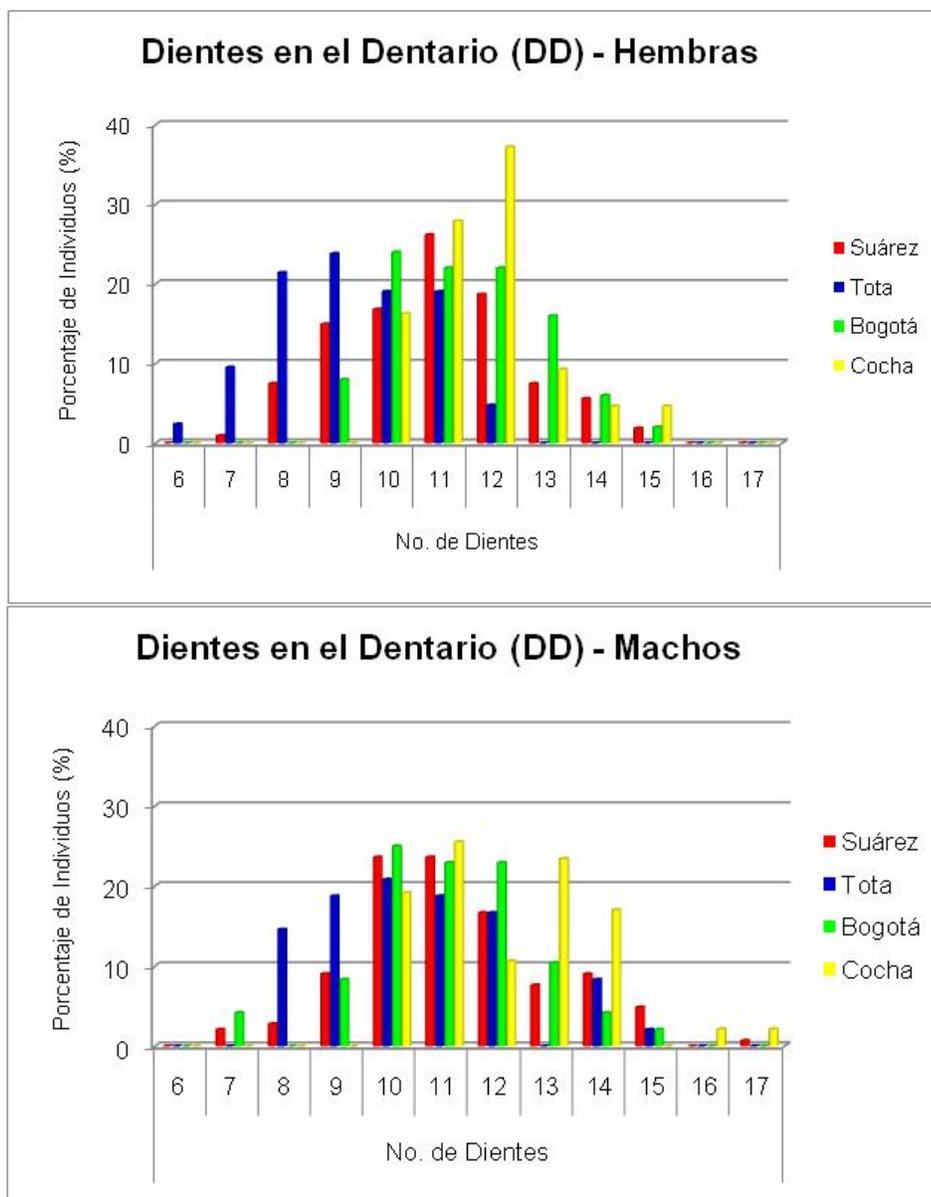


Figura 21. Merística. Dientes en el dentario, porcentaje de individuos que presentan el número del carácter.

Para los dientes en la maxila (DM), el número de dientes de los individuos de las cuatro poblaciones estuvo representado desde un diente hasta 15 dientes, donde las poblaciones de Suárez presentaron los valores mínimos y los

valos máximos. Para las hembras de Suárez, el porcentaje más representativo de individuos se encontró en 7 dientes, mientras que para las hembras de Tota, Bogotá y Cocha, la mayoría de los ejemplares presentaron 8 dientes en la maxila, sin embargo los porcentajes fueron representativos en 7 dientes. Para los machos, la población de Suárez presento en la mayoría de individuos entre 7 a 9 dientes, mientras que para la población de Bogotá, la mayoría de individuos presentaron entre 9 y 10 DM. La población de Tota se distribuyó entre 6 a 9 DM, mientras que los machos de la población de la Cocha en su mayoría presentaron 8 dientes, sin embargo presentaron distribuciones representativas entre 5 y 11 dientes en la maxila (Figura 22).

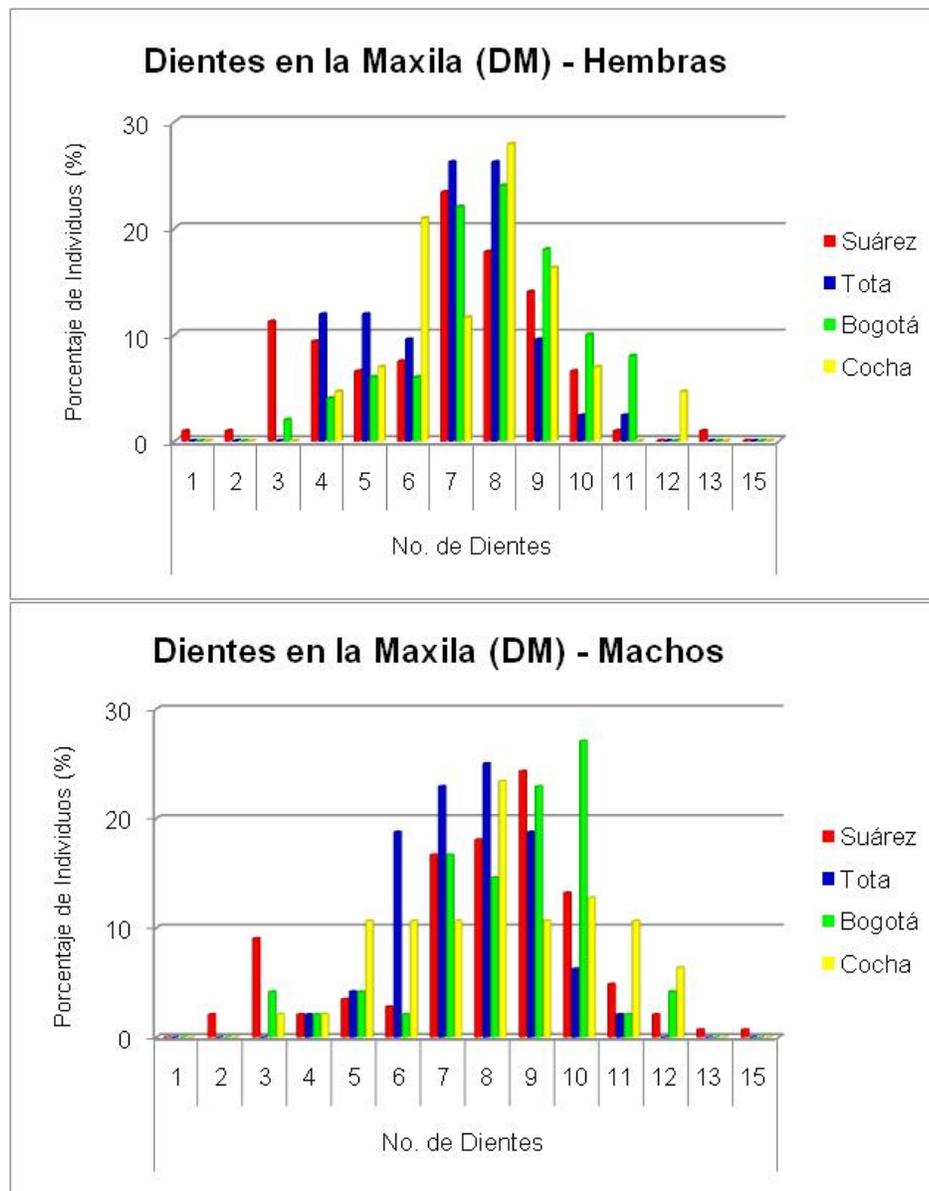


Figura 22. Merística. Dientes en Maxila, porcentaje de individuos que presentan el número del carácter.

Para el carácter DPM, la distribución de los individuos estuvo entre 5 y 11 dientes, y al igual que para el carácter anterior, Suárez presentó los valores mínimos y máximos para el número de DPM. Las poblaciones del altiplano cundiboyacense presentaron la mayor parte de su distribución en 7

DPM, mientras que para la población de la Cocha, la mayoría de sus individuos presentaron 8 DPM, sin embargo un porcentaje representativo presentó 7 deintes (Figura 23).

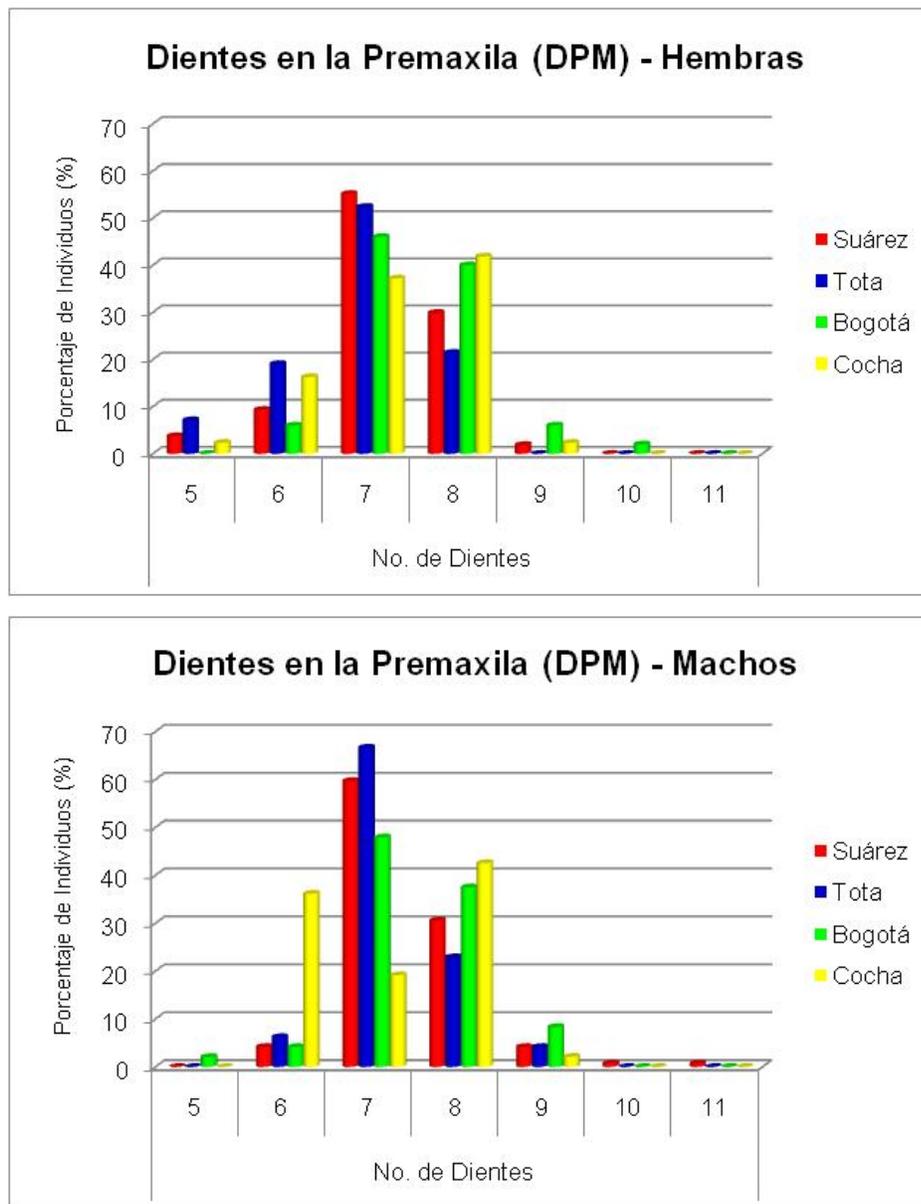


Figura 23. Merística. Dientes en la Premaxila, porcentaje de individuos que presentan el número del carácter.

Para el carácter NRA, el valor mínimo fue 2 radios y el valor máximo 5 radios. Entre hembras y machos no se observaron diferencias en las distribuciones, pues la mayoría de los individuos de las cuatro poblaciones presentaron 4 radios no ramificados en la aleta anal. La población de Tota también presentó porcentajes representativos para 5 NRA (Figura 24).

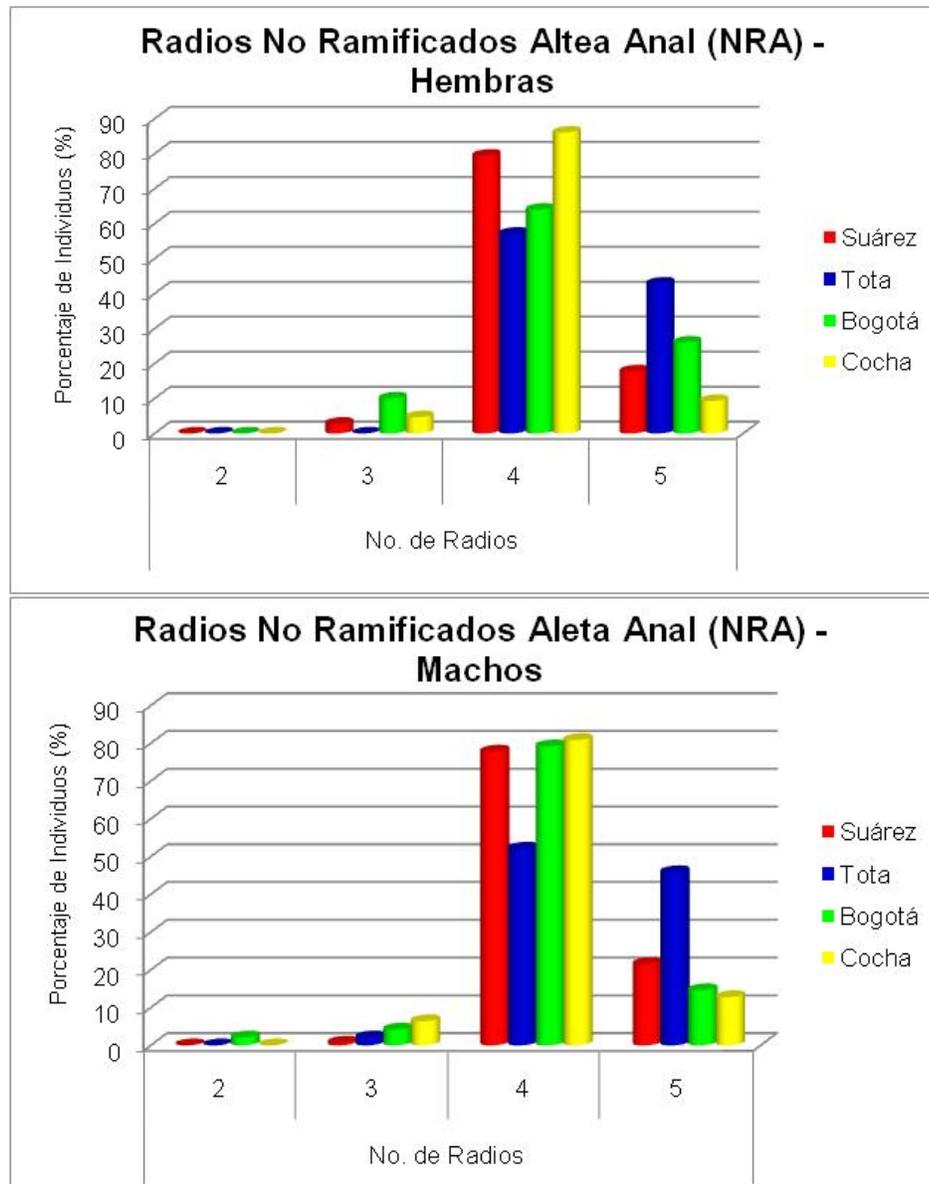


Figura 24. Merística. Radios no Ramificados en aleta anal, porcentaje de individuos que presentan el número del carácter.

Para el carácter A, el número mínimo encontrado 9 radios radios y el valor máximo 16 radios tanto para hembras como para machos. La distribución de las hembras y de lo machos presentó la moda de las cuatro poblaciones en 13 radios en la aleta anal. La población de Tota presentó un porcentaje de distribución importante también para 14 radios, y la población de la Laguna de la Cocha, mostró además un porcentaje de distribución importante para 12 radios (Figura 25).

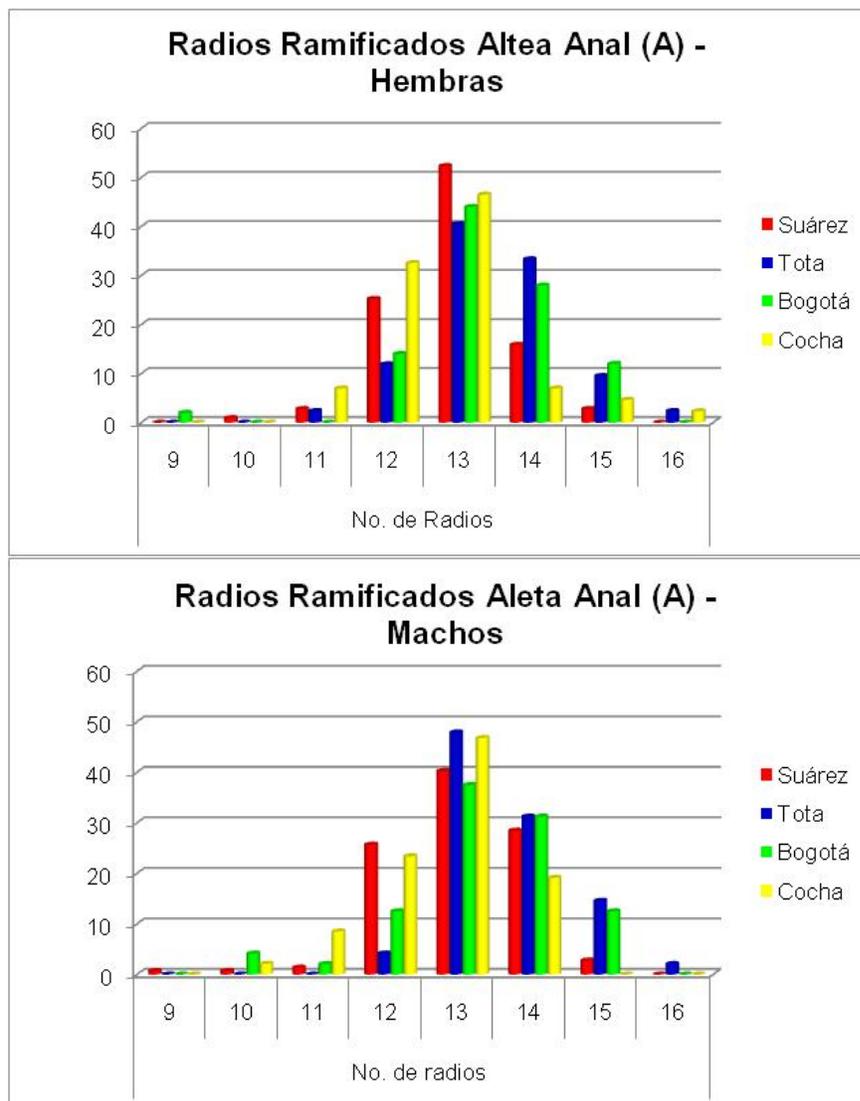


Figura 25. Merística. Radios Ramificados en aleta anal, porcentaje de individuos que presentan el número del carácter.

8. Discusión

La identificación macroscópica externa de los sexos aplicada para las cuatro poblaciones de *Grundulus*, mostró un evidente dimorfismo sexual entre los ejemplares analizados, pues los machos presentaban coloración oscura en la zona del istmo debido a la presencia de melanóforos en esta región del cuerpo, en contraste las hembras no presentaron tal coloración (Figura 26). La exactitud en la identificación del 93% para las poblaciones de *G. bogotensis* coinciden con lo demostrado por Forero y Garzón (1974), quienes aplicando este método, reconocieron entre hembras y machos con una exactitud del 98% en 765 ejemplares analizados, estableciendo que la pigmentación del istmo en el caso de los machos se da en ejemplares con longitud total o superior a 40 mm. Aunque el método de identificación macroscópica fue propuesto para *G. bogotensis*, en el presente trabajo se aplicó a la población de la Laguna de la Cocha, y el resultado fue la presencia de dimorfismo sexual, con una exactitud del 89.8%. Estos resultados contrastan con el estudio de Román-Valencia *et al.* (2003), quienes en la redescrición de *G. bogotensis* y en la descripción de *G. cochae* no observaron dimorfismo sexual en ninguna de las dos especies.



Figura 26. Identificación macroscópica del sexo mediante la coloración del istmo en ejemplares de *Grundulus cochae*. En la parte superior se observa la hembra, en la parte inferior el macho.

8.1. Morfometría Tradicional

El análisis morfométrico en primera instancia encontró diferencias significativas entre los hembras y machos, estas diferencias se evidenciaron en los centroides de los grupos y en los porcentajes de clasificación correcta, que para las hembras fue de 83.4% y para los machos de 78.4%. La variación morfométrica para los sexos estuvo explicada por 14 de las 18 variables, lo cual indica que el dimorfismo sexual es muy marcado, apoyando el estudio de Álvarez (2007), que en su análisis encontró que el dimorfismo sexual en *G. bogotensis* se expresa en el tamaño de la cabeza, en la longitud del pedúnculo caudal y en el tamaño y la posición de las aletas. En el género *Grundulus*, no se conocen las causas del dimorfismo sexual, pero al igual

que muchas otras especies que presentan dimorfismo sexual, esto posiblemente está dado por una presión selectiva para cada sexo. En varias especies de peces el dimorfismo sexual se expresa en el tamaño corporal, longitud de las aletas, coloración, entre otros. Estas características ocurren por diferentes razones, en hembras, un mayor tamaño corporal implica aumentar la cantidad de huevos e incrementa la fecundidad total, y en machos, estas características ocurren por selección sexual, competencia macho-macho por la pareja, competencia espermática y otros factores comportamentales y ambientales (Mollet 2007).

El análisis para las hembras detectó variación morfométrica en las poblaciones estudiadas, donde la población de la Laguna de la Cocha presentó diferencias significativas con las poblaciones de *G. bogotensis* del Altiplano Cundiboyacense; sin embargo, la población de la cuenca de río Bogotá también se discriminó de las poblaciones de Suárez y Tota. Lo anterior se confirmó con la prueba de clasificación cruzada, donde las hembras de la Laguna de la Cocha con una clasificación correcta “Casi perfecta” de 95.8% (Landis & Koch 1977), representan el grupo más homogéneo, indicando poca variación dentro de la población y/o una alta variación entre las poblaciones, mientras que la población de Suárez con 53.3% de los ejemplares clasificados correctamente representa el grupo más heterogéneo con menor variabilidad entre las poblaciones y/o una alta variación dentro de la población (Álvarez 2007).

El análisis morfométrico para los machos, detectó diferencias significativas entre las cuatro poblaciones, donde los machos de la Laguna de la Cocha presentaron mayores diferencias entre los grupos discriminados, sin embargo el porcentaje de reclasificación fue de 81.5% donde el porcentaje de machos restantes fueron clasificados en la población de la cuenca del río Bogotá y viceversa, pues los machos de la población de Bogotá se clasificaron

correctamente en un 64.6%, y el porcentaje restante fue clasificado en la Laguna de la Cocha, presentando características de esta población. La población de Suárez fue la más heterogénea, pues el 39% de los ejemplares presentaron características morfométricas de otros grupos.

La variación morfométrica entre las poblaciones de *G. bogotensis* y la población de la Laguna de la Cocha, probablemente es el resultado del aislamiento geográfico, pues las condiciones locales del ambiente, ya sea por la presencia de predadores, tipo y disponibilidad de alimento o la selección y la genética sobre la ontogenia, pueden provocar la variación morfológica entre los grupos (Cadrin 2000; D'Anatro & Loureiro 2005). Además, las diferencias morfométricas encontradas dentro de las poblaciones de *G. bogotensis*, coinciden con Álvarez (2007), demostrando que el trasplante de la especie, en el caso del Lago de Tota y la Laguna de la Cocha, ha provocado diferencias morfométricas en las poblaciones de estos lugares. Estos resultados son comparables con el estudio de Tobler *et al.* (2007), quien encontró diferenciación morfológica pronunciada en dos poblaciones de *Poecilia mexicana* aisladas geográficamente y cuyos ambientes presentaban condiciones muy diferentes de luz, concentración de sulfatos de hidrogeno e hipoxia.

8.2. Morfometría Geométrica (AGP)

En primera instancia la regresión realizada a los datos transformados a coordenadas, determinaron que no existe una asociación entre el tamaño y la conformación, lo que indica que la conformación no se ve influenciada por el efecto alométrico.

El análisis univariado y el análisis discriminante mostraron diferencias significativas según el sexo, evidenciando dimorfismo sexual en la

conformación de las hembras y los machos, donde la reclasificación para las hembras fue de 91.43% y para los machos de 91.53%, considerada por Landis & Koch (1977) una clasificación “Casi perfecta”.

El análisis para las poblaciones de hembras de *Grundulus* estudiadas, mostró nuevamente que el tamaño no afecta la conformación de los ejemplares, sin embargo el ANOVA mostró que si existen diferencias entre los tamaños de las poblaciones, donde los ejemplares de mayor tamaño pertenecieron a la población de Bogotá. El análisis discriminante detectó diferencias significativas en la conformación de las hembras de las cuatro poblaciones, donde la población de Tota presentó la mayor variación morfométrica entre las poblaciones, seguido de la población de la Laguna de la Cocha, Suárez y Bogotá, estos resultados los confirmó el fenograma UPGMA, que basado en las distancias de Mahalanobis, clasificó a la población de Tota y Cocha como las más separadas. Estos resultados son comparables con los obtenidos por Pardo *et al.* (2005), quienes compararon cinco especies de *Trichomycterus* en territorio chileno en dos zonas hidrográficas separadas, y encontraron que las especies se agruparon, según sus formas, en dos cluster principales, correspondientes a las zonas hidrográficas de donde provienen cada una. Estos resultados se atribuyen a las características de cada una de las zonas donde habitan los peces, pues estas características podrían modificar la forma de cada una de las especies.

Para los machos de las poblaciones de *Grundulus* analizados, a pesar que los tamaños centroide se solapan, existen diferencias significativas entre el tamaño, y al igual que las hembras, los machos de la población de Bogotá presentaron los ejemplares con mayor tamaño. El análisis canónico, discriminó significativamente a las poblaciones y el fenograma UPGMA calculado con las distancias de Mahalanobis, separó la población de Tota de

las demás, seguido de Suárez y por último la población de Cocha y Bogotá fueron las que presentaron menores diferencias en la conformación.

La población de la Laguna de la Cocha, a pesar de estar aislada geográficamente de las poblaciones de *G. bogotensis* de la cuenca de los ríos Bogotá y Suarez, fue más cercana a estas poblaciones que los ejemplares de *G. bogotensis* del Lago de Tota, aunque no se descarta que esta última población también se encuentra en aislamiento geográfico con las poblaciones de Suárez y Bogotá; sin embargo tanto para hembras como para machos, la población del Lago de Tota presentó la mayor diferenciación morfométrica. Los resultados del análisis discriminante y el fenograma UPGMA a pesar de ser significativos en la separación de los grupos, muestran que la población de la Cocha no está separada de las poblaciones de Bogotá y Suárez, y en la prueba de reclasificación, los ejemplares de la Cocha presentan unos porcentajes muy bajos (Hembras 68%; Machos 54%), lo cual indica que dentro de la población, la variación en la conformación es alta, representando un grupo heterogéneo que presenta características morfométricas de otros grupos.

La discriminación entre las cuatro poblaciones fue estadísticamente significativa, además se observó que tanto para las hembras y los machos de las poblaciones de *Grundulus* analizadas, las poblaciones de Suárez, Tota y Cocha presentan diferencias morfométricas que las separan entre sí, pero la población de Bogotá, comparte características morfométricas con estas tres poblaciones, donde se podría interpretar que si la *G. bogotensis* fue introducida en hábitats diferentes al natural, probablemente, los individuos provengan de la cuenca de Río Bogotá, interpretando a esta como la población “madre”. La variación morfométrica encontrada entre las poblaciones se puede atribuir a la plasticidad fenotípica que presentan los peces, definida como la capacidad de un genotipo de generar varios

fenotipos de acuerdo a las condiciones del hábitat en el que se desarrolle el individuo, tales como temperatura, pH, condiciones de luz, presión de predadores, entre otros (D' Anatro y Laureiro 2005; Narváez *et al.* 2005). Otra causa de la variación morfométrica encontrada, se podría atribuir a un efecto de cuello de botella, en donde han ocurrido cambios en las frecuencias alélicas de las poblaciones, donde al haber trasplantado la especie, no se llevaron la totalidad de genes de la población, y los alelos se expresan de diferente forma en los fenotipos de las poblaciones resultantes.

Al comparar los resultados obtenidos por el método de morfometría tradicional y morfometría geométrica, se encontró que el método geométrico es mucho más efectivo comparando grupos, aunque el fundamento matemático usado en los dos métodos es el mismo, el método geométrico analizó la forma a partir de las relaciones geométricas de los PAR o "landmarks" y las distancias lineales entre estos. Además el método de placa delgada (Thin-plate spline) proyectó las configuraciones superpuestas sobre una configuración consenso describiendo la configuración biológica individual con la que se compararon los grupos. Esto se asimila a los resultados del estudio de Parsons *et al.* (2003), quienes aplicaron el método de morfometría geométrica y los métodos tradicionales en dos especies de cíclidos, *Amphilophus citrinellus* y *A. zalius*, y encontraron que la morfometría geométrica puede ser una forma más efectiva para analizar e interpretar la conformación del cuerpo, sin descartar los métodos tradicionales, que pueden ser utilizados para proporcionar evidencia estadística de las diferencias de la forma, aunque puede que no brinde información precisa sobre la naturaleza de la variación de la forma. Rohlf & Marcus (1993) afirman la importancia de emplear morfometría geométrica, debido a la incapacidad que tiene la morfometría tradicional de reconstruir la forma de la conformación original a partir de matrices de distancias y medidas. Por eso los análisis tradicionales pierden poder al no poder incluir toda la información.

8.3. Merística

El análisis discriminante para el sexo, encontró diferencias significativas únicamente para la población de la cuenca del río Suárez, mientras que en las otras poblaciones no hubo diferencias entre hembras y machos. Debido a esto el porcentaje de reclasificación (58.03%) fue relativamente bajo, dando a conocer que existe gran variación merística dentro y entre sexos.

Los conteos merísticos de las poblaciones de *Grundulus* analizadas presentaron rangos muy amplios en el número de estructuras, los cuales no están contemplados en la diagnosis propuesta por Román-Valencia *et al.* (2003) para la descripción de *G. bogotensis* y *G. cochae*. Según los caracteres diagnósticos utilizados por estos autores para diferenciar las dos especies, de los ejemplares del Altiplano Cundiboyacense se identificó el 37.81% como *G. bogotensis*, 30.99% se identificó como *G. cochae*, y los individuos restantes no se incluyeron en la identificación pues la diagnosis no contempló los caracteres de estos ejemplares. Para la población de la Laguna de la Cocha el 40.01% fue identificado como *G. cochae*, el 31.92% como *G. bogotensis* y el resto de la muestra tampoco se pudo identificar en ninguna de las dos especies.

En el caso de los dientes en el dentario, dientes en la premaxila y dientes en la maxila, se observó que el rango en el número de estructuras es muy amplio, en el caso de DD, el rango presentó individuos con 6 dientes hasta 17 dientes, y en la descripción de las especies, Román-Valencia *et al.* (2003) las diferencia por la presencia de 8-9 dientes para *G. bogotensis* y 10 dientes para *G. cochae*, el resto de conteos en la estructura y no se incluyen en la descripción.

Román-Valencia *et al.* (2003) señalan que el primer pterigioforo de la aleta anal asociado a los dos primeros radios, en *G. bogotensis* es delgado y en *G. cochae* es ancho. En contraste a lo anterior, en el presente estudio mediante la técnica de transparentación, registró que todos los ejemplares de *G. bogotensis* presentaron el primer pterigioforo anal ancho, al igual que *G. cochae*, demostrando que este carácter no puede ser utilizado para identificar las especies (Figura 27).

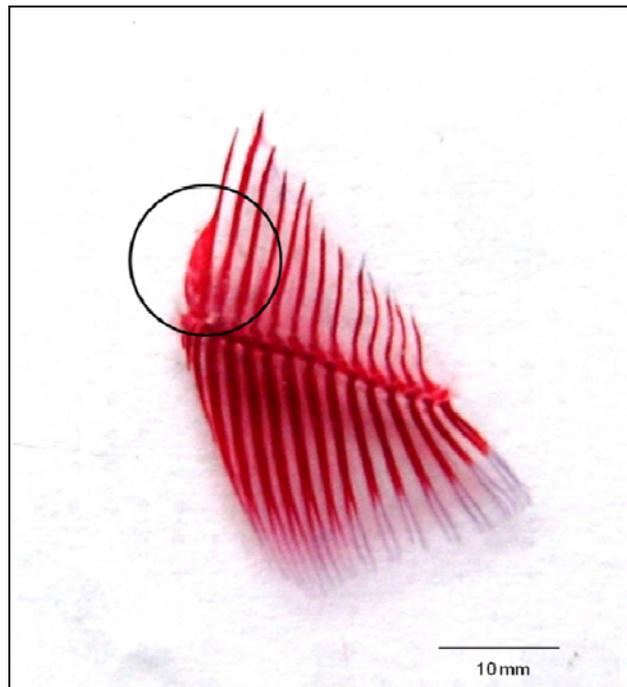


Figura 27. Perfil izquierdo de la aleta anal transparentada de un ejemplar de *G. bogotensis*. En el círculo se señala el primer pterigioforo de la aleta.

Otra estructura presente en la descripción de las especies, es el hueso pélvico, donde en el proceso ísqico se observa una apófisis corta y doblada para *G. bogotensis* mientras que para *G. cochae* la región anterior es puntiaguda y no posee cartilago (Román-Valencia 2003). La observación de las estructuras transparentadas mostró que el 78% de los ejemplares de la Laguna de la Cocha presentaron la apófisis corta y doblada descrita para *G.*

bogotensis, los ejemplares restantes presentaron cartílago, por lo tanto, tampoco es un carácter válido para la diferenciación de las especies (Figura 28).

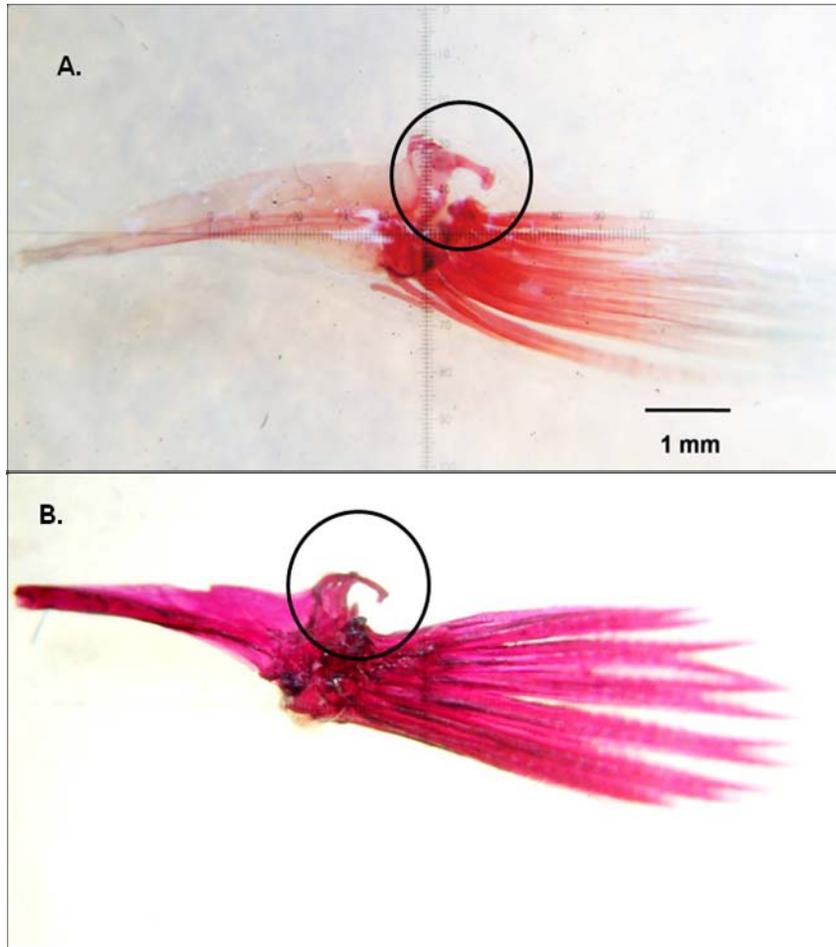


Figura 28. Aleta pélvica izquierda transparentada. **A.** Aleta de un ejemplar de *G. bogotensis*. **B.** Aleta de un ejemplar de *G. cochaе*. En el círculo se señala la apófisis corta y doblada.

Los resultados obtenidos de las observaciones y análisis merísticos, demuestran claramente que las poblaciones de *G. bogotensis* del altiplano Cundiboyacense presentan caracteres diagnósticos de *G. cochaе*, y de igual

forma, la población de la Laguna de la Cocha presentó caracteres diagnósticos de *G. bogotensis*.

9. Conclusiones

El estatus taxonómico de *G. cochae* es incorrecto, debido a que los caracteres diagnósticos propuestos por Román-Valencia et al. 2003 no son válidos para separar *G. bogotensis* de *G. cochae*.

Según los resultados del análisis morfométrico del presente estudio, se sugiere la existencia de cuatro grupos separados.

La morfometría geométrica demostró que las poblaciones de *Grundulus* analizadas, presentan diferencias significativas, siendo que la población del Lago de Tota es la más distante.

10. Recomendaciones

La morfometría es una herramienta útil para la comparación de grupos y clasificación taxonómica, pero no es la única existente y tampoco es la respuesta absoluta. Por lo tanto, para establecer las causas de la variación entre las poblaciones de *Grundulus*, es necesario desarrollar estudios que involucren aspectos moleculares, biogeográficos, y tróficos en las poblaciones

Se recomienda hacer una nueva redescrición de *Grundulus bogotensis* que involucre la totalidad de los caracteres merísticos y reevalúe la distribución de esta especie.

Realizar encuestas con personas de la región de la Laguna de la Cocha sobre el conocimiento de la especie en este lugar.

11. Referencias

Adams, D.C., J.F. Rohlf and D.E. Slice. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the “revolution”. *Italian Journal of Zoology*. 71: 5-16.

Álvarez, R. 2007. Variación Morfológica de las Poblaciones de Guapucha *Grundulus bogotensis* (Humboldt, 1821) (Osteichthyes: Characidae) en el Altiplano Cundiboyacense y Cuenca del Río Upía. Trabajo de grado (Biólogo) Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias, carrera de Biología. Bogotá. 82pp.

Álvarez-León, R., J. A. González y J. Forero 2002. *Grundulus bogotensis*. Páginas 200-202. En: Mojica, J. I., C. Castellanos., S. Usma y R. Álvarez (Eds.). Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia.

Cadrin, S. X. 2000. Advances in morphometric identification of fishery stock. *Reviews in fish biology and fisheries*. 10: 91-112

Cramon-Taubadel, N., B.C. Frazier and M.M. Lahr. 2007. The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: Theory, Methods, and modifications. *American Journal of Physical Anthropology* 134: 24-35.

D'Anatro, A & M. Loureiro. 2005. Geographic variation in *Austrolebias luteoflamulatus* Vaz-Ferreira, Sierra & Scaglia (Cyprinodontiformes, Rivulidae). *Journal of Fish Biology* 67: 849–865.

Dahl, G. 1971. Los peces del Norte de Colombia. Ministerio de Agricultura. INDERENA.

Dingerkus, G. and L.D. Uhler. 1977. Enzyme clearing of alcian blue stained whole small vertebrates for demonstration of cartilage. *Stain Technology*. 52(4):229-232.

Dos Reis, S. F., L. M. Pessoa and R. E. Strauss. 1990. Application of size free canonical discriminant analysis to studies of geographic differentiation. *Brazilian Journal of Genetics*. 13(5):509-520.

Forero, J. E. y M. R. Garzón. 1974. Ciclo biológico de la guapucha *Grundulus bogotensis* (Humboldt, 1821) (Pisces: Characidae), de la Sabana de Bogotá. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 98 pp.

Georgakopoulou, E., D. G. Sfakianakis, S. Kouttouki, P. Divanach, M. Kentouri & G. Koumoundouros. 2007. The influence of temperature during early life on phenotypic expression at later ontogenetic stages in sea bass. *Journal of Fish Biology* 70: 278–291.

IGAC. 1984. Estudio regional integrado del Altiplano Cundiboyacense. Proyecto IGAC-ORSTOM. Bogotá. 498 páginas

Jaramillo N. 2008. Morfometría geométrica aplicada al estudio de insectos Triatominae, vectores de *Trypanosoma cruzi*. Grupo de Biología y Control de Enfermedades Infecciosas. Universidad de Antioquia.

Kassam, D. D., T. Sato & K. Yamaoka. 2002. Landmark-based morphometric analysis of the body shape of two sympatric species, *Ctenopharynx pictus* and *Otopharynx* sp. "*Heterodon nankhumba*" (Teleostei: Cichlidae), from Lake Malawi. *Ichthyol. Res.* 49: 340–345.

Landis, J.R. and G. Koch. 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33 (1): 159-174

Maldonado-Ocampo, J. A., A. Ortega-Lara, J. S. Usma, G. Galvis, G. Vásquez, S. Prada-Pedrerros y R. Ardila, 2005. Peces de los Andes de Colombia. Instituto de Investigación <<Alexander von Humboldt>>. Bogotá D.C. Colombia.

Medina, D. 2008. Morfología de las branquiespinas y la dentición en relación con la dieta y el tamaño de *Grundulus bogotensis* (Humboldt, 1821) (Osteichthyes: Characiformes) en el Altiplano Cundiboyacense, Colombia. Trabajo de grado (Bióloga) Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias, carrera de Biología. Bogotá. 103pp.

Meléndez, C.R. 2002. Morfometría y Merística de *Aplodactylus punctatus* Valenciennes 1832 (Pisces: Aplodactylidae) provenientes de la zona entre Iquique (20° 13's) y Concepcion (36° 47' S), Chile. *Gayana (Concepc.)*. 66 (2): 107-212.

Mojica, J.I., C. Castellanos, J.S. Usma y R. Álvarez (Eds.). 2002. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. La serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia.

Mollet, F. 2007. Fisheries-induced evolution and sexual dimorphism in North Sea plaice. International Institute for Applied Systems Analysis, Annual Report 2007. 16-23.

Narváez B., J.C., A. Acero & J. Blanco. 2005. Variación morfométrica en poblaciones naturalizadas y domesticadas de la tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae) en el norte de Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 29 (112): 383-394.

Ortega-Lara, A., J.A. Maldonado-Ocampo y S. Usma. 2009. Inventario preliminar de la ictiofauna de la cuenca alta de los ríos Mocoa y Putumayo (Piedemonte Amazónico), Colombia. *Actualidades Biológicas.* 31(1):42-43.

Pardo, R., S. Scott y I. Vila. 2005. Análisis de formas en especies chilenas del genero *Trichomycterus* (Osteichthyes: siluriformes) utilizando morfometría geométrica. *Gayana* 69(1): 180-183

Parsons, K.J., B.W. Ronbinson & T. Hrbek. 2003. Getting into shape: An empirical comparison of traditional truss-based morphometric methods with a newer geometric method applied to New World cichlids. *Environmental Biology of Fishes* 67: 417-431.

Rohlf, F.J. and L. F. Marcus. 1993. A revolution in Morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution* 8 (4):129-132

Román-Valencia, C., H. J. Paepke y F. Pantoja. 2003. Una nueva especie de *Grundulus* (Teleostei: Ostariophysii: Characidae) para Colombia y redescrición de *Grundulus bogotensis* (Humboldt y Valenciennes, 1833). *Memorias de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 155: 55-72.

Román-Valencia, C., R. I. Ruiz y R. Barriga. 2005. Una nueva especie ecuatoriana del género de peces andinos *Grundulus* (Characiformes: Characidae). *Rev. Biol. Trop.*, 53 (3-4): 537-544.

Sans, M. A. 2005. Estudio biológico de *Mus domesticus*, Ruttu 1772, en una zona de polimorfismo Robertsoniano. Tesis de Doctorado (Ph.D. Biología Animal). Universitat de Barcelona. Àrea de Ciències Experimentals i Matemàtiques. Departamento de Biología Animal. Barcelona. 277p.

Strauss, R. E. & C. E. Bond. 1990. Taxonomic methods: Morphology. Páginas 109-140. en Schreck C. B. Y P. B. Moyle, (eds). 1990. Methods for fish biology. American Fisheries Society. Bethesda. Maryland, USA.

Swain, D. P. and C. J. Foote. 1999. Stocks and Chameleons: the use of phenotypic variation in stock identification. Fisheries research, 43: 113-128.

Tobler, M., R. Riesch, F.J. García de León, I. Schlupp and M. Plath. 2007. A new and morphologically distinct population of cavernicolous *Poecilia mexicana* (Poeciliidae: Teleostei). Environ. Biol. Fish.

12. ANEXOS

ANEXO I. Técnica de transparentación y tinción de hueso y cartílago

Dingerkus y Lowell 1977

1. Fijar los especímenes en formol 10% de 2 a 3 días.
2. Lavar varias veces con agua destilada durante 2 a 3 días. Escamar y eviscerar los especímenes.
3. Pasar las muestras a una mezcla de 10 mg de azul de alcian, 80 ml de alcohol 96% y 20 ml de ácido acético glacial, esperar de 24 a 48 horas.
4. Transferir a dos cambios de alcohol 96%, esperar de 2 a 3 horas en cada cambio.
5. Transferir a alcohol 75%, 40% y 15%, esperar de 2 a 3 horas en cada cambio.
6. Transferir a agua destilada de 2 a 3 horas.
7. Pasar los peces a la solución enzimática de 30 ml de borato de sodio acuoso saturado, 70 ml de agua destilada y 1 g de tripsina. Cambiar la solución cada 2 o 3 días hasta que los huesos y el cartílago estén claramente visibles. Tomará de 2 a 3 semanas.
8. Transferir a KOH acuoso 0.5%. Agregar rojo de alizarina hasta que la solución torne color púrpura oscuro. Dejar 24 horas.
9. Transferir a glicerina-KOH 0.5% en series de 1:3, 1:1, 3:1 y finalmente glicerina pura. Agregar 3 a 4 gotas de H₂O₂ para blanquear pigmentos oscuros de los especímenes.
10. Almacenar los ejemplares en glicerina pura con algunos cristales de Timol para inhibir el crecimiento de hongos y bacterias.

ANEXO III. Variables de morfometría tradicional de todos los ejemplares de las poblaciones de *Grundulus* estudiadas.

LOCALIDAD			Suárez		Lago de Tota		Bogotá		Laguna de la Cocha	
			n= 251		n= 90		n= 98		n= 137	
No.	Morfometría	Sigla	Mín-Máx (Media)	Desv. Estandar	Mín-Máx (Media)	Desv. Estandar	Mín-Máx (Media)	Desv. Estandar	Mín-Máx (Media)	Desv. Estandar
1	Longitud Total	LT	30.1-74.9 (48.3)	10.91	53.8-77.5 (63.4)	5.13	33.0-86.8 (57.8)	10.78	26.4-76.2 (48.0)	10.15
2	Longitud estándar	LE	23.4-63.9 (40.1)	9.61	45.1-64.8 (53.6)	4.48	26.6-74.0 (48.4)	9.59	23.7-70.4 (40.1)	8.86
3	Longitud predorsal	LPD	13.3-39.2 (23.5)	6.17	26.7-41.5 (32.6)	3.10	15.5-46.0 (29.0)	6.10	14.4-39.0 (23.9)	5.44
4	Longitud prepectoral	LPP	6.7-19.4 (11.9)	2.93	11.7-18.5 (15.0)	1.52	8.1-21.2 (14.0)	2.67	7.6-18.7 (12.2)	2.41
5	Longitud preventral	LPV	11.2-34.1 (21.1)	5.47	24.2-35.8 (29.6)	2.59	14.1-39.8 (25.8)	5.45	12.3-34.3 (21.5)	4.54
6	Longitud preanal	LPA	14.9-44.2 (26.7)	6.86	30.8-43.8 (36.9)	2.98	17.4-50.8 (32.8)	6.83	15.7-43.7 (27.0)	5.95
7	Longitud base aleta dorsal	LBD	2.9-8.2 (4.7)	1.16	4.4-8.3 (6.2)	0.78	3.0-9.1 (5.7)	1.27	2.9-7.9 (4.6)	1.01
8	Longitud aleta dorsal	LD	4.6-14.2 (8.2)	1.83	7.8-14.5 (10.6)	1.18	4.9-15.4 (10.1)	1.98	4.5-14.1 (8.2)	1.75
9	Longitud base anal	LBA	3.7-11.3 (6.5)	1.67	6.0-11.8 (8.6)	1.29	4.2-13.3 (8.0)	1.76	3.7-10.9 (6.1)	1.56
10	Longitud aleta anal	LA	3.4-11.3 (6.6)	1.41	6.5-11.6 (8.5)	0.99	4.2-12.7 (8.0)	1.61	3.3-11.1 (5.4)	1.24
11	Longitud aleta pectoral	LP	2.7-10.6 (5.8)	1.61	5.9-10.1 (7.9)	0.92	3.4-11.6 (7.2)	1.57	3.0-9.0 (5.5)	1.36
12	Longitud aleta pélvica	LV	2.7-9.3 (5.4)	1.33	5.1-9.3 (7.0)	0.85	3.5-10.5 (6.5)	1.35	3.1-8.4 (5.2)	1.18
13	Longitud pedúnculo caudal	LPC	4.0-13.3 (8.2)	1.87	8.7-13.6 (10.3)	0.95	6.1-14.5 (9.5)	1.65	4.9-12.2 (8.6)	1.74
14	Altura pedúnculo caudal	APC	2.7-9.4 (5.4)	1.50	5.9-10.5 (7.5)	0.88	3.6-10.7 (6.4)	1.50	3.7-9.6 (5.8)	1.27
15	Altura cuerpo	AC	6.7-22.5 (12.9)	3.62	14.4-24.1 (18.6)	2.11	8.0-25.5 (15.4)	3.65	7.0-23.2 (12.7)	3.31
16	Longitud cabeza	LC	6.3-19.2 (11.2)	2.86	11.9-18.6 (14.8)	1.50	7.6-20.7 (13.3)	2.73	6.6-19.7 (12.2)	2.70
17	Longitud hocico (rostral)	LH	1.5-4.8 (2.9)	0.81	3.3-5.6 (4.2)	0.43	1.6-6.2 (3.6)	0.83	2.0-6.6 (3.3)	0.86
18	Diámetro del ojo	DO	1.7-4.0 (2.7)	0.48	2.8-4.0 (3.3)	0.23	1.9-4.0 (3.1)	0.42	2.0- 3.8 (2.7)	0.34
19	Ancho interorbital	AIO	1.1-5.9 (3.1)	0.95	3.3-6.6 (4.4)	0.56	2.2-6.7 (4.0)	0.90	3.0-6.9 (4.4)	0.91

ANEXO IV. Variables de morfometría tradicional de las hembras de las poblaciones de *Grundulus* estudiadas.

LOCALIDAD			Suárez		Lago de Tota		Bogotá		Laguna de la Cocha	
			n= 107		n= 42		n= 50		n= 72	
No.	Morfometría	Sigla	Mín-Máx (Media)	Desv. Estandar	Mín-Máx (Media)	Desv. Estandar	Mín-Máx (Media)	Desv. Estandar	Mín-Máx (Media)	Desv. Estandar
1	Longitud Total	LT	30.2-68.9 (46.4)	10.34	53.8-70.8 (61.5)	4.71	33.0-76.1 (57.2)	10.09	32.2-61.5 (45.2)	8.35
2	Longitud estándar	LE	23.4-57.4 (38.3)	9.12	45.1-60.7 (51.8)	4.02	26.6-68.8 (47.9)	9.02	27.1-54.9 (37.7)	7.26
3	Longitud predorsal	LPD	13.6-34.8 (22.2)	5.61	26.7-36.3 (31.1)	2.66	15.5-38.8 (28.4)	5.58	15.9-31.0 (22.2)	4.24
4	Longitud prepectoral	LPP	6.7-16.5 (11.2)	2.67	11.7-16.5 (14.1)	1.13	8.2-17.8 (13.5)	2.35	8.7-15.3 (11.4)	1.85
5	Longitud preventral	LPV	11.2-31.3 (20.2)	5.38	24.2-32.7 (28.8)	2.55	14.1-35.9 (25.9)	5.11	14.2-29.4 (20.4)	4.10
6	Longitud preanal	LPA	14.9-39.4 (25.7)	6.68	30.8-41.6 (36.0)	3.04	17.4-45.5 (32.8)	6.57	18.2-36.4 (25.7)	5.32
7	Longitud base aleta dorsal	LBD	2.9-7.0 (4.4)	0.98	4.4-6.0 (5.7)	0.61	3.3-7.1 (5.4)	1.03	2.9-6.2 (4.2)	0.70
8	Longitud aleta dorsal	LD	4.6-11.5 (7.7)	1.58	8.4-11.6 (10.1)	0.92	4.9-13.4 (9.9)	1.82	5.2-10.4 (7.7)	1.31
9	Longitud base anal	LBA	3.8-9.8 (5.8)	1.28	6.0-10.6 (7.7)	0.82	4.6-11.1 (7.6)	1.51	3.9-8.8 (5.6)	1.05
10	Longitud aleta anal	LA	3.4-9.2 (6.1)	1.18	6.5-9.5 (8.0)	0.76	4.1-10.6 (7.6)	1.38	3.3-7.6 (5.1)	0.88
11	Longitud aleta pectoral	LP	2.8-8.4 (5.3)	1.37	5.9-9.0 (7.4)	0.77	3.4-9.8 (7.0)	1.39	3.0-7.8 (5.1)	1.09
12	Longitud aleta pélvica	LV	2.7-9.3 (5.0)	1.22	5.1-7.9 (6.6)	0.62	3.5-8.6 (6.2)	1.17	3.2-7.1 (4.8)	0.91
13	Longitud pedúnculo caudal	LPC	4.9-12.4 (8.0)	1.75	8.7-12.7 (10.1)	0.88	6.1-12.7 (9.5)	1.53	4.9-11.4 (8.1)	1.60
14	Altura pedúnculo caudal	APC	2.9-8.1 (5.1)	1.30	5.9-8.7 (7.0)	0.67	3.7-9.0 (6.3)	1.35	4.0-7.3 (5.4)	0.83
15	Altura cuerpo	AC	6.7-18.8 (12.0)	3.20	14.4-21.1 (17.6)	1.75	8.1-23.7 (15.4)	3.44	8.0-17.8 (11.7)	2.53
16	Longitud cabeza	LC	6.5-15.6 (10.5)	2.47	11.9-16.1 (13.9)	1.19	7.6-17.4 (13.0)	2.44	6.6-15.4 (11.3)	2.06
17	Longitud hocico (rostral)	LH	1.5-4.4 (2.8)	0.73	3.3-4.5 (3.9)	0.34	1.6-4.9 (3.6)	0.76	2.0-6.6 (3.1)	0.77
18	Diámetro del ojo	DO	1.7-3.5 (2.6)	0.44	2.8-3.8 (3.3)	0.22	2.2-3.9 (3.1)	0.41	2.0-3.8 (2.7)	0.34
19	Ancho interorbital	AIO	1.1-4.7 (2.9)	0.84	3.3-5.1 (4.1)	0.48	2.2-5.2 (3.8)	0.78	3.0-5.7 (4.1)	0.66

ANEXO V. Variables de morfometría tradicional de los machos de las poblaciones de *Grundulus* estudiadas.

LOCALIDAD			Suárez n= 144		Lago de Tota n= 48		Bogotá n= 48		Laguna de la Cocha n= 65	
No.	Morfometría	Sigla	Mín-Máx (Media)	Desv. Estandar	Mín-Máx (Media)	Desv. Estandar	Mín-Máx (Media)	Desv. Estandar	Mín-Máx (Media)	Desv. Estandar
1	Longitud Total	LT	30.1-74.9 (49.7)	11.15	54.7-77.5 (65.1)	4.93	39.5-86.8 (59.4)	11.53	26.4-76.2 (51.0)	11.12
2	Longitud estándar	LE	24.5-63.9 (41.4)	9.78	45.5-64.8 (55.1)	4.32	32.2-74.0 (49.8)	10.22	23.7-70.4 (42.8)	9.71
3	Longitud predorsal	LPD	13.3-39.2 (24.5)	6.40	29.0-41.5 (33.9)	2.86	19.6-46.0 (30.1)	6.61	14.4-39.0 (25.9)	5.97
4	Longitud prepectoral	LPP	7.0-19.4 (12.3)	3.02	13.4-18.5 (15.9)	1.32	10.0-21.2 (14.7)	2.91	7.6-18.7 (13.0)	2.68
5	Longitud preventral	LPV	11.6-34.1 (21.8)	5.46	26.5-35.8 (30.2)	2.46	14.1-39.8 (26.1)	5.83	12.3-34.3 (22.7)	4.74
6	Longitud preanal	LPA	14.9-44.2 (27.5)	6.92	33.4-43.8 (37.6)	2.74	21.3-50.8 (33.4)	7.17	15.7-43.7 (28.5)	6.29
7	Longitud base aleta dorsal	LBD	3.0-8.2 (5.0)	1.22	5.3-8.3 (6.6)	0.68	3.8-9.1 (6.1)	1.42	2.9-7.9 (5.0)	1.14
8	Longitud aleta dorsal	LD	4.9-14.2 (8.5)	1.93	7.8-14.5 (11.0)	1.22	7.0-15.4 (10.5)	2.14	4.5-14.1 (8.8)	1.98
9	Longitud base anal	LBA	3.7-11.3 (6.9)	1.77	7.6-11.8 (9.4)	1.09	5.3-13.3 (8.6)	1.93	3.7-10.9 (6.7)	1.81
10	Longitud aleta anal	LA	3.9-11.3 (7.0)	1.46	7.3-11.6 (9.0)	0.93	5.4-12.7 (8.4)	1.78	3.5-11.1 (5.8)	1.44
11	Longitud aleta pectoral	LP	2.7-10.6 (6.2)	1.69	6.5-10.1 (8.3)	0.86	4.5-11.6 (7.7)	1.71	3.3-9.0 (6.0)	1.48
12	Longitud aleta pélvica	LV	2.8-9.0 (5.7)	1.35	5.7-9.3 (7.4)	0.84	4.4-10.5 (6.9)	1.48	3.1-8.4 (5.5)	1.32
13	Longitud pedúnculo caudal	LPC	4.0-13.3 (8.3)	1.95	9.0-13.6 (10.5)	0.95	6.3-14.5 (9.7)	1.78	5.6-12.2 (9.1)	1.77
14	Altura pedúnculo caudal	APC	2.7-9.4 (5.6)	1.60	6.6-10.5 (7.9)	0.86	4.3-10.7 (6.7)	1.65	3.7-9.6 (6.3)	1.49
15	Altura cuerpo	AC	6.8-22.5 (13.5)	3.79	15.9-24.1 (19.5)	2.03	9.5-25.5 (15.8)	3.90	7.0-23.3 (13.8)	3.72
16	Longitud cabeza	LC	6.3-19.2 (11.8)	3.01	13.5-18.6 (15.6)	1.30	9.2-20.7 (14.0)	2.98	7.0-19.7 (13.1)	3.03
17	Longitud hocico (rostral)	LH	1.5-4.8 (3.1)	0.84	3.7-5.6 (4.4)	0.42	1.7-6.2 (3.7)	0.91	2.0-5.4 (3.6)	0.87
18	Diámetro del ojo	DO	1.8-4.0 (2.8)	0.49	3.0-4.0 (3.4)	0.23	2.3-4.0 (3.2)	0.43	2.2-3.6 (2.8)	0.34
19	Ancho interorbital	AIO	1.6-5.9 (3.3)	1.00	3.8-6.6 (4.7)	0.51	2.7-6.7 (4.2)	1.00	3.0-6.9 (4.7)	1.01

ANEXO VI. Distribución de frecuencias de las variables merísticas para las Hembras de cada grupo.

	Carácter Merístico (sigla)																												
	No. EEL		No. EDL		No. ESL								No. EP							No. D									
Localidad	6	7	5	6	24	30	31	32	33	34	35	36	0	1	2	3	4	5	6	7	10	11	12						
Suárez	9	98	0	107	1	0	3	3	29	70	0	1	1	4	5	14	81	2	0	0	10	90	7						
Tota	4	38	1	41	0	0	1	3	7	31	0	0	1	0	0	4	31	6	0	0	4	34	4						
Bogotá	7	43	4	46	0	0	3	6	22	19	0	0	0	2	1	3	42	1	0	1	2	45	3						
Cocha	1	42	1	42	0	1	3	9	14	14	1	1	0	3	3	5	16	15	1	0	5	40	8						
	Carácter Merístico (sigla)																												
	No. P							No. V					No. A								No. NRA								
Localidad	9	10	11	12	13	14	15	16	17	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	3	4	5						
Suárez	1	0	2	19	42	29	11	2	1	1	45	61	0	1	3	27	56	17	3	0	3	85	19						
Tota	0	0	0	3	9	16	8	6	0	1	34	7	0	0	1	5	17	14	4	1	0	24	18						
Bogotá	0	0	0	2	10	27	8	3	0	1	39	10	1	0	0	7	22	14	6	0	5	32	13						
Cocha	0	2	2	5	11	13	9	1	0	2	25	16	0	0	3	14	20	3	2	1	2	37	4						
	Carácter Merístico (sigla)																												
	No. DPM						No. DM												No. DD										
Localidad	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Suárez	4	10	59	32	2	0	1	1	12	10	7	8	25	19	15	7	1	0	1	0	1	8	16	18	28	20	8	6	2
Tota	3	8	22	9	0	0	0	0	0	5	5	4	11	11	4	1	1	0	0	1	4	9	10	8	8	2	0	0	0
Bogotá	0	3	23	20	3	1	0	0	1	2	3	3	11	12	9	5	4	0	0	0	0	0	4	12	11	11	8	3	1
Cocha	1	7	16	18	1	0	0	0	0	2	3	9	5	12	7	3	0	2	0	0	0	0	0	7	12	16	4	2	2

ANEXO VII. Distribución de frecuencias de las variables merísticas para los Machos de cada grupo.

	Carácter Merístico (sigla)																										
	No. EEL		No. EDL				No. ESL								No. EP							No. D					
Localidad	6	7	4	5	6	7	24	30	31	32	33	34	35	36	0	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13
Suárez	11	133	0	1	143	0	1	0	4	16	59	63	0	1	2	5	6	31	89	10	0	1	1	16	113	13	1
Tota	5	43	2	3	43	0	0	0	0	2	14	32	0	0	2	0	1	8	35	1	1	0	0	0	46	1	1
Bogotá	3	45	0	7	40	1	0	0	0	7	25	15	0	1	2	2	2	5	35	1	1	0	0	2	45	1	0
Cocha	4	43	0	2	44	1	0	2	3	9	19	13	1	0	0	1	4	6	11	15	9	1	0	4	32	11	0

	Carácter Merístico (sigla)																										
	No. P									No. V					No. A							No. NRA					
Localidad	7	10	11	12	13	14	15	16	17	6	7	8	9	10	12	9	10	11	12	13	14	15	16	2	3	4	5
Suárez	0	0	3	22	52	48	17	2	0	1	49	88	6	0	0	1	1	2	37	58	41	4	0	0	1	112	31
Tota	0	0	0	1	6	24	12	5	0	1	35	11	0	1	0	0	0	0	2	23	15	7	1	0	1	25	22
Bogotá	0	0	1	6	15	20	5	1	0	2	32	14	0	0	0	0	2	1	6	18	15	6	0	1	2	38	7
Cocha	1	2	6	4	8	16	6	3	1	2	25	18	1	0	1	0	1	4	11	22	9	0	0	0	3	38	6

	Carácter Merístico (sigla)																														
	No. DPM							No. DM										No. DD													
Localidad	5	6	7	8	9	10	11	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Suárez	0	6	86	44	6	1	1	3	13	3	5	4	24	26	35	19	7	3	1	1	3	4	13	34	34	24	11	13	7	0	1
Tota	0	3	32	11	2	0	0	0	0	1	2	9	11	12	9	3	1	0	0	0	0	7	9	10	9	8	0	4	1	0	0
Bogotá	1	2	23	18	4	0	0	0	2	1	2	1	8	7	11	13	1	2	0	0	2	0	4	12	11	11	5	2	1	0	0
Cocha	0	17	9	20	1	0	0	0	1	1	5	5	5	11	5	6	5	3	0	0	0	0	0	9	12	5	11	8	0	1	1