

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS							
	CARTA DE AUTORIZACIÓN							
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 1	

Neiva, Enero 12 del 2018

Señores
CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
Ciudad

El (Los) suscrito(s):

María Antonieta Salcedo Bahamón, con C.C. No. 53905238 de Bogotá,

Autora de la tesis y/o trabajo de grado

Titulado:

“ASPECTOS DEL CRECIMIENTO DEL BAGRE RAYADO, *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (Buitrago-Suarez y Burr, 2007) EN LA CUENCA DEL MAGDALENA, COMO INSUMOS PARA SU USO Y CONSERVACION”

Presentado y aprobado en el año 7/12/2017 como requisito para optar al título de

MAESTRIA EN ECOLOGIA Y GESTION DE ECOSISTEMAS ESTRATEGICOS;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Ma Antonieta Salcedo Bahamón.

Firma:

cc: 53905238 Btd.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

“ASPECTOS DEL CRECIMIENTO DEL BAGRE RAYADO, *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (Buitrago-Suarez y Burr, 2007) EN LA CUENCA DEL MAGDALENA, COMO INSUMOS PARA SU USO Y CONSERVACION”

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
SALCEDO-BAHAMON	MARIA ANTONIETA

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
ALONSO-GONZALES	JUAN CARLOS

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
CAMACHO-GARCIA	KATTY ALEXANDRA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: MAESTRIA EN ECOLOGIA Y GESTION DE ECOSISTEMAS ESTRATEGICOS

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: MAESTRIA EN ECOLOGIA Y GESTION DE ECOSISTEMAS ESTRATEGICOS

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2017

NÚMERO DE PÁGINAS: 102

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas__X__ Fotografías__X__ Grabaciones en discos__ Ilustraciones en general__X__ Grabados__
Láminas__ Litografías__ Mapas__X__ Música impresa__ Planos__ Retratos__ Sin ilustraciones__
Tablas o Cuadros__X__

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Dinámica poblacional / Population dynamics		6. <i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> / <i>P. magdaleniatum</i> .	
2. Edad / Age		7. Cuenca magdalénica / Magdalenic basin.	
3. Crecimiento / Growth		8. Conservación / Conservation.	
4. Otolitos / Otoliths		9. Otolito <i>Asteriscus</i> / <i>Asteriscus</i> Otolith.	
5. Bagre Rayado / Striped Catfish		10. Patrón de marcación / Marking pattern.	

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

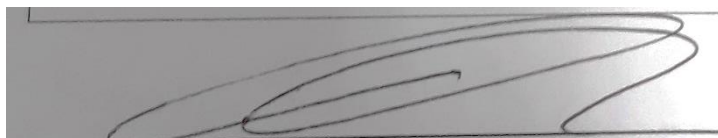
En la actualidad el manejo y la conservación del Bagre Rayado del Magdalena, no relacionan de modo directo la disminución de sus poblaciones con el deterioro ecológico-ambiental que ésta cuenca presenta. La talla promedio de captura entre 1977-1988 era 80 cm de Longitud estándar (Le), valor que ha descendido a 62,5cm Le en toda la cuenca; este escenario preocupa, pues las acciones, en pro de solucionar dicha tendencia han sido escasas y el recurso pesquero sigue vulnerable. Se planteó generar información para: i) conocer si las poblacionales de bagre sujetas a presión pesquera difieren entre las regiones alta, media y baja en cuanto al crecimiento en talla y peso; ii) determinar los criterios del patrón del desarrollo de las marcas crecimiento en los otolitos del bagre rayado del Magdalena. Se analizaron Otolitos *Asteriscus* (n=90) extraídos, preparados, aclarados y fotografiados, digitalizando sus imágenes para caracterización morfométrica de sus marcas de crecimiento por nitidez, fuerza de marcación y patrón esperado de incremento en tamaño por marca con el crecimiento del pez (Lh). Infiriendo que se desarrollaría un anillo por año, se definieron grupos aproximados que se corresponderían entre sus tamaños y sus edades: i) Bagres pequeños (46-69cm): 2 a 3 años; ii) Bagres medianos (70-90cm): 3 a 5 años; i) Bagres grandes (91-112cm): 5 a 8 años. Así, el incremento del tamaño y número de marcas –vs- longitud del bagre permiten proyectar la tendencia por la cual la tasa de crecimiento tiende a disminuir con la edad (cuanto más viejo es el pez).

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO							
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

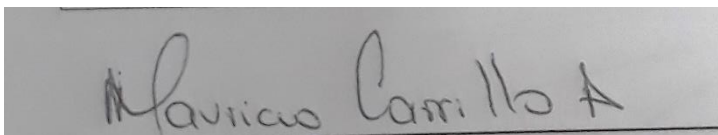
At present, the management and conservation of the Rayado del Magdalena Catfish do not directly relate the decline of their populations to the ecological-environmental deterioration that this basin presents. The average catch size between 1977-1988 was 80 cm of Standard length (Le), which has dropped to 62.5 cm Le throughout the basin; This scenario is worrisome, because the actions in favor of solving this trend have been scarce and the fishing resource remains vulnerable. It was proposed to generate information to: i) know if the population of catfish subject to fishing pressure differ between the high, medium and low regions in terms of growth in size and weight; ii) determine the criteria of the development pattern of the growth marks in the otoliths of the Magdalena striped catfish. Asteriscus Otoliths (n = 90) extracted, prepared, rinsed and photographed were analyzed, digitizing their images for morphometric characterization of their growth marks by sharpness, marking strength and expected pattern of increase in size by mark with the growth of the fish (Lh). Inferring that a ring would be developed per year, approximate groups were defined that would correspond between their sizes and their ages: i) Small catfish (46-69cm): 2 to 3 years; ii) Medium catfish (70-90cm): 3 to 5 years; i) Large catfish (91-112cm): 5 to 8 years. Thus, the increase in the size and number of catfish -v- lengths makes it possible to project the tendency by which the growth rate tends to decrease with age (the older the fish).

APROBACION DE LA TESIS



Nombre Jurado: **RUBEN DARIO VALBUENA**

Firma:



Nombre Jurado: **MAURICIO CARRILLO AVILA**

Firma:

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

**ASPECTOS DEL CRECIMIENTO DEL BAGRE RAYADO, *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (Buitrago-Suarez y Burr, 2007) EN LA CUENCA DEL MAGDALENA,
COMO INSUMOS PARA SU USO Y CONSERVACION**

Tesis de Maestría

MARIA ANTONIETA SALCEDO BAHAMON



**MAESTRIA EN ECOLOGIA Y GESTION
DE ECOSISTEMAS ESTRATEGICOS
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**



Neiva – Huila - 2017

ASPECTOS DEL CRECIMIENTO DEL BAGRE RAYADO, *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (Buitrago-Suarez y Burr, 2007) EN LA CUENCA DEL MAGDALENA, COMO INSUMOS PARA SU USO Y CONSERVACION.

MARIA ANTONIETA SALCEDO BAHAMON

**Trabajo de grado para optar al título de Magister en
Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos**

Director:

JUAN CARLOS ALONSO GONZÁLEZ

Maestría en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos

Asesor:

KATTY ALEXANDRA CAMACHO GARCÍA

Bióloga – Investigadora Dinámica Poblacional en Peces de Agua Dulce

**MAESTRIA EN ECOLOGIA Y GESTION
DE ECOSISTEMAS ESTRATEGICOS
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**



Neiva – Huila - 2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Juan Carlos Alonso

Juan Carlos Alonso González
Director de Tesis

Katty Camacho G.

Katty Alexandra Camacho García
Asesor (a) de Tesis

Jurado 1.

Jurado 2.

DEDICADO A:

**A DIOS, A MI MAMICHA HERMOSA, MI PAPA, A LA VIDA MISMA
CON TODOS LOS APRENDIZAJES QUE ME TRAJÓ MEDIANTE
ESTE PROCESO ACADÉMICO & AL BAGRE RAYADO, SER SU
GUARDIANA A SIDO TODA UNA INSPIRACIÓN PARA MÍ.**

"Cuando tengamos claridad en el corazón y la mente, sólo entonces hallaremos el coraje necesario para remontar el miedo que acosa al mundo."

ALBERT EINSTEIN.

“UNA MENTE QUE SE ABRE A UNA NUEVA IDEA JAMAS VOLVERA A SU TAMAÑO ORIGINAL”

ALBERT EINSTEIN.

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis, como cada aspecto descrito en sus capítulos; son el fruto de un continuado esfuerzo y una alta dosis de lecciones sobre paciencia y tolerancia, las cuales manifestaron en mí, mis más altos niveles de compromiso, disposición e inspiración; siempre dispuesta y con actitud positiva.

Doy gracias principalmente a **Dios Padre Todopoderoso, Dios Hijo y Dios Espíritu Santo**; ¡pues él me mantuvo conectada, constante y consistente en mi proyecto de tesis de maestría y en mi idea de ser una *guardiana del Bagre Rayado del Magdalena*, vinculada con mis otolitos, todo esto gracias a la fuerza poderosa que me diste tu DIOS, MUCHAS GRACIAS!

Infinitas pero infinitas Gracias, considero que verdaderamente no existen magnitudes en este planeta para agradecerles a mi **MAMA EN PRIMER LUGAR**, pues fue quien me trajo a este mundo concreto y a mi **PAPA** por su semilla poderosa; PARA alcanzar este PROPOSITO Y ASI **AGRADECERLES** POR SU PACIENCIA CON ESTE PROCESO. **GRACIAS PADRES MIOS. GRACIAS. Los AMO y Nos AMO.**

Doy gracias unas Pohecuras de mujeres que resalto por encima de muchas que conocí en este camino de *mi amado Rayado*; ellas me ayudaron, me trasmitieron todo su conocimiento, me soportaron, confiaron en mí, yo confié en ellas, las adoro con toda mi alma y mi corazón, las extraño y *ocupan un inmenso lugar en mi Universo*. Gracias **Katty, Katte, Brii, Gloria, Sandrita y Dianita. Pechochas las quiero mucho!**

¡MUCHAS GRACIAS! Profe Juan Carlos por todo el conocimiento que me trasmitiste, gracias a muchas de las vivencias en este proceso del trabajo de tesis adquirí diversas lecciones para la vida; las cuales no se hallan en documentos en pdf, ni en bases de datos y fueron inigualables; eso lo agradeceré para toda la vida. Infinitas bendiciones y toda la gratitud para contigo, Gran director de tesis y maestro. **¡GRACIAS!**

Gracias a todos y cada uno de ustedes, incluidos los que no escritos, **más si recordados**; pues cada ser que me apoyo y me acompaño incondicionalmente en este *camino de mi Rayado* con su Amor y su Pasión, oyéndome **mi cuento de mis otolitos**...que solo me la pasaba “**otolitiando**” o en modo tesista, me colaboro de una forma indispensable en mi proceso y fueron un sostén e inspiración para que continuara. **INEXTINGUIBLES GRACIAS. ¡LOS AMO Y NOS AMO!**

¡AMOR, PAZ, ABUNDANCIA, SALUD, Y MUCHAS BENDICIONES...GRACIAS!

RESUMEN

Los estudios de manejo y conservación en la cuenca del Magdalena hasta ahora desarrollados no relacionan de modo directo la disminución de las poblaciones de *Pseudoplatystoma magdaleniatum* con el deterioro biológico y ambiental que dicha población presenta. Históricamente se ha observado una alta presión sobre esta especie emblemática del río Magdalena, razón por la cual ha sido incluida en el libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia como especie en peligro crítico (CR-A1d). La talla promedio de captura en el periodo comprendido entre 1977 y 1988 era 80 cm de Longitud estándar (Le), valor que ha descendido a 62,5cm Le en toda la cuenca este escenario preocupa, dado que las acciones, en pro de solucionar dicha tendencia han sido escasas y el recurso pesquero sigue vulnerable. Dichos valores están muy por debajo de la talla mínima legal (80cm Le) (MADR-CCI, 2007). Por lo tanto sería, relevante evaluar la explotación del bagre a lo largo del sistema; plateándose solucionar en el desarrollo del presente proyecto algunos vacíos de información en torno a: i) conocer si los grupos poblacionales sobre los que se ejerce presión pesquera en la cuenca son diferentes entre las regiones alta, media y baja; en cuanto al crecimiento en talla y peso (estructura etaria) de la especie; ii) determinar los parámetros de crecimiento para esta especie a lo largo de la cuenca. Se analizaron otolitos *Asteriscus* extraídos, preparados, aclarados y fotografiados, digitalizando sus imágenes para caracterización morfométrica de marcas de crecimiento. Se seleccionaron 90 otolitos colectados en cuatro puertos pesqueros (Neiva=14, Dorada=4, Barrancabermeja=65 y Magangué=7). Se caracterizaron las marcas del otolito por nitidez, fuerza de marcación y correspondiente patrón esperado de incremento en tamaño de cada marca con el crecimiento del pez (Lh). Se obtuvieron bagres pequeños (46-70 cm) con 2-3 marcas, medianos (70-90 cm) 3-5 marcas y grandes (90-112 cm) 5-8 marcas. La medida del foco del otolito a la primera marca fue en promedio 1,18mm ($\pm 0,12$), continuando la progresión positiva hacia las siguientes marcas hasta obtener en la octava marca, promedio de 2,57mm ($\pm 0,18$). Infiriendo que se desarrollaría un anillo por año, se definieron grupos aproximados que se corresponderían entre sus tamaños y sus edades: i) Bagres pequeños (46-69cm): 2 a 3 años; ii) Bagres medianos (70-90cm): 3 a 5 años; i) Bagres grandes (91-112cm): 5 a 8 años. Así, el incremento del tamaño y número de marcas –vs- longitud del bagre permiten proyectar la tendencia por la cual la tasa de crecimiento tiende a disminuir con la edad (cuanto más viejo es el pez).

Palabras claves: *Dinámica poblacional, edad, crecimiento, otolitos, bagre rayado, Pseudoplatystoma magdaleniatum, cuenca magdalénica, conservación, Otolito Asteriscus, Patrón de marcación.*

ABSTRACT

The studies of management and conservation in the Magdalena basin until now developed do not relate in a direct way the decrease of the populations of *Pseudoplatystoma magdaleniatum* with the biological and environmental deterioration that this population presents. Historically, high pressure has been observed on this emblematic species from the Magdalena River, which is why it has been included in the red book of freshwater fish of Colombia as a critically endangered species (CR-A1d). The average size of catch in the period between 1977 and 1988 was 80 cm of Standard Length (Le), a value that has fallen to 62.5 cm Le throughout the basin. This scenario is worrisome, given that the actions in favor of solving this trend have been scarce and the fishing resource remains vulnerable. These values are well below the legal minimum size (80cm Le). Therefore, it would be relevant to evaluate the exploitation of catfish throughout the system; In the development of the present project, some information gaps will be solved in relation to: i) knowing if the population groups on which fishing pressure is exerted in the basin are different between the high, medium and low regions; regarding growth in size and weight (age structure) of the species; ii) determine the growth parameters for this species throughout the basin. *Asteriscus* otoliths extracted, prepared, rinsed and photographed were analyzed, digitizing their images for morphometric characterization of growth marks. We selected 90 otoliths collected in four fishing ports (Neiva = 14, Dorada = 4, Barrancabermeja = 65 and Magangué = 7). The otolith marks were characterized by sharpness, marking strength and corresponding expected pattern of increase in size of each mark with the growth of the fish (Lh). Small catfish (46-70 cm) were obtained with 2-3 marks, medium (70-90 cm) 3-5 marks and large (90-112 cm) 5-8 marks. The measurement of the focus of the otolith to the first mark was on average 1.18mm ($\pm$ 0.12), continuing the positive progression towards the following marks until obtaining in the eighth mark, average of 2.57mm ($\pm$ 0.18). The increase of the size and number of marks in function of the size of the catfish allows to project the tendency of the diminution of the rate of growth of the fish as it reaches its adult state.

Key words: *Population dynamics, age, growth, otoliths, striped catfish, Pseudoplatystoma magdaleniatum, Magdalenic basin, conservation, Asteriscus Otolith, Marking pattern.*

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	13
2. ESTADO DEL ARTE-ANTECEDENTES	14
2.1 Atributos que definen al <i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> (Buitrago y Burr, 2007).....	14
2.2 Estudios biológico-pesqueros.....	14
2.3 Estudios sobre biología reproductiva.....	15
2.4 Instrumentos de manejo y administración para el recurso pesquero Bagre Rayado del Magdalena.....	15
3. MARCO TEORICO.....	18
3.1 Stock pesquero y poblaciones de peces.....	18
3.2 Grupo de peces que conforman una cohorte.....	18
3.3 Otolitos como insumos para definir stocks, edades y crecimiento en peces.....	19
3.3.1 Desarrollo y ciclos metabólicos de los otolitos.....	20
3.3.2 Marcas de crecimiento en los otolitos de peces y su interpretación.....	20
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	21
5. OBJETIVOS.....	22
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
6.1 AREA DE ESTUDIO.....	24
6.2 FASE DE CAMPO.....	24
6.2.1 Muestreo de ejemplares (toma de información de pesos, tamaños y colecta de otolitos).....	24
6.2.2 Procedimiento para la extracción de otolitos.....	25
6.3 FASE DE LABORATORIO.....	26
6.3.1 Caracterización morfológica de otolitos.....	26
6.3.2 Caracterización de la formación de las marcas de crecimiento.....	28
6.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	30
6.4.1 Caracterización morfométrica de los peces muestreados.....	30
6.4.2 Caracterización morfológica de los otolitos.....	31
6.4.3 Patrón de marcación de los anillos de crecimiento.....	34
7. RESULTADOS.....	36
7.1. Caracterización morfométrica de los peces muestreados	
7.1.1. Distribución espacial y temporal de frecuencias de tallas	40
7.1.2 Distribución espacio/temporal de la frecuencia del Peso & Relación Talla/Peso:	43
7.1.3 Factor de Condición (K).....	46
7.2 Caracterización morfológica de los otolitos.....	43
7.2.1 Estructuras de tamaños y pesos de los otolitos	47
7.2.2 Forma y Características Estructurales del Otolito Asteriscus en <i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	50
7.2.3 Relación tamaño otolito – longitud del Bagre	54
7.2.4 Caracterización del Patrón de marcación de los anillos de crecimiento en otolitos Asteriscus	60
7.3 Tendencia del crecimiento del Bagre Rayado.....	62
7.3.1 Secuencia del aumento del tamaño de los anillos de crecimiento en otolitos Asteriscus.....	67
8. DISCUSION.....	67
8.1 Caracterización morfométrica de los peces muestreados.....	67
8.1.1 Distribución espacial y temporal de las frecuencias de tallas.....	71
8.1.2 Relación Talla - Peso.....	73

8.1.3	Factor de Condición (K).....	74
8.2	Caracterización morfológica de los otolitos.....	71
8.2.1	Morfología y morfometría de los otolitos.....	75
8.2.2	Características Estructurales del Otolito Asteriscus en <i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	78
8.2.3	Relación tamaño del otolito - longitud del Bagre	79
8.2.4	Caracterización del Patrón de marcación de los anillos de crecimiento en otolitos Asteriscus	80
8.3	Tendencia del crecimiento del Bagre Rayado.....	78
8.3.1	Secuencia del aumento del tamaño de los anillos de crecimiento en otolitos Asteriscus.....	82
CONCLUSIONES & RECOMENDACIONES.....		83
BIBLIOGRAFÍA.....		84
ANEXOS.....		90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales resultados de estudios biológico-pesqueros para el género <i>Pseudoplatystoma</i> en cuanto a Talla de Primera Maduración gonadal (TPM), Talla Media de Maduración gonadal (TMM) y Talla Promedio de Captura (TPC) o Talla Media de Captura (TCM) (Le: Longitud estándar, Lh: Longitud horquilla).....	17
Tabla 2. Normatividad colombiana para el recurso pesquero <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (léase <i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>).....	18
Tabla 3. Estratificación de la cuenca del Magdalena para el estudio y toma de datos biológicos y muestras de otolitos del bagre rayado.....	25
Tabla 4. Mediciones y proporciones morfométricas para la descripción de forma del otolito de <i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> . Medidas de LM (longitud máxima otolito), AM (ancho máximo), en milímetros mm; las proporciones con su respectiva formula. Modificada de Díaz-Murillo (2010).....	29
Tabla 5. Resultados de los principales estadísticos del tamaño (longitud horquilla, cm) para los especímenes de bagre rayado muestreados durante abril del 2012 a marzo del 2013 en los cuatro principales puertos pesqueros del Rio Magdalena; n= tamaño de la muestra; $\bar{X}$ = promedio; s= desviación estándar. En la segunda columna se exponen los mismos estadísticos desarrollados para el tamaño de los otolitos Asteriscus (ancho máximo, mm).....	39
Tabla 6. Resultados de los principales estadísticos para el peso total (g) para ejemplares de bagre rayado ponderados durante abril del 2012 a marzo del 2013 en los cuatro principales puertos pesqueros del Rio Magdalena; n= tamaño de la muestra; Min= mínimo; Max= máximo; Mo= moda $\bar{X}$ = promedio; s= desviación estándar.....	39
Tabla 7. Resultados de la regresión entre el Peso total (g) – Longitud horquilla (cm), para los especímenes de <i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> muestreados durante abril del 2012 a marzo del 2013 en los cuatro principales puertos pesqueros del Rio Magdalena; n= tamaño de la muestra; b= coeficiente de la regresión; r= coeficiente de correlación.....	43
Tabla 8. Resultados de los principales estadísticos para el peso total (g) de los otolitos Asteriscus del bagre rayado ponderados durante abril del 2012 a marzo del 2013 en los cuatro principales puertos pesqueros del Rio Magdalena; n= tamaño de la muestra; Min= mínimo; Max= máximo; Mo= moda $\bar{X}$ = promedio; s= desviación estándar.....	44
Tabla 9. Ficha descriptiva y resumen de morfometría de los otolitos del Bagre Rayado del Magdalena, incluye material fotográfico de las especies con su talla promedio por lo localidad, muestra la morfología y morfometría de sus otolitos Asteriscus por sector, además se ilustra su distribución a lo largo de la cuenca y la vista de la cara rugosa del otolito.....	49
Tabla 10. Resultados de las regresiones lineales (R2) de Longitud_Pez -vs- A_max_L_max_ en los otolitos Asteriscus derecho del bagre rayado del Magdalena, <i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	53
Tabla 11. Resultados de la estadística descriptiva para la distribución de frecuencia de los tamaños de marcas de crecimiento en los otolitos Asteriscus derecho del bagre rayado del Magdalena; donde se evaluaron máximos (MAX), mínimos (MIN), $\bar{X}$ = promedios; S = desviación estándar, n = número de observaciones.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Ubicación del aparato vestibular y los tres pares de otolitos en peces. Modificado de Tuset et al. (2008) y Assis (2000); Tomado de Callicó-Fortunato, 2017. 2. Esquema del órgano auditivo y del equilibrio en peces óseos (Fuente primaria: Parker y Haswell, 1987, Tomado y modificado de Tuset, 2000). Principales conductos, senos y cavidades en su interior: cus, conducto que une el sáculo con el utrículo; se, conducto endolinfático; l, lagena; rec, fondo utricular, s, sáculo; se, saco endolinfático; sp, seno utricular posterior; ss, seno superior; u, utrículo. 3. Oído interno de peces Siluriformes (Lagler, 1977), ubicación de los otolitos en sus cavidades y canales semicirculares. Cavidades: 1. Utrículo, 2. Sáculo, 3. Lagena; Otolitos: 4. Lapillus, 5. Sagitta, 6. Asteriscus; 7.8. y 9. Canales semicirculares. El sentido de la flecha indica el extremo anterior del pez; Foto tomada de Martínez y Monasterio-Gonzo (1991).....19

Figura 2. Vista de las estructuras óseas u otolitos. Asteriscus y Lapillus. En las fotografías digitales se presenta, vista dorsal y ventral para cada par de otolitos.26

Figura 3. Proceso de extracción de los otolitos paso a paso explicado foto a foto.....27

Figura 4. Imágenes que evidencian como se estandarizaron los criterios de toma y captura de imágenes, así como selección de otolitos Asteriscus en sus vistas dorsales o ventrales.....28

Figura 5. Técnica del proceso de Aclaración paso a paso descrito fotográficamente para otolitos Asteriscus del *Pseudoplatystoma magdaleniatum*.30

Figura 6. Principales medidas morfométricas de talla para un Bagre rayado, también el grafico señala las aletas de dicho espécimen que sirven de carácter de identificación, como la Aleta adiposa (AAD)..... 31

Figura 7. Características morfológicas y caracteres morfométricos de la cara interna del otolito *Asteriscus* derecho de *P. magdaleniatum*; **A_max**: ancho máximo, **L_max**: largo máximo, **Ángulos** 0°, 45°, 90°, 135° y 180° **F**: foco o primordium; el resto de partes del otolito están señaladas y el eje a la derecha inferior de la foto; muestra la posición del otolito **D**: borde dorsal, **V**: borde ventral, **P**: borde posterior, **A**: borde anterior. 34

Figura 9. Distribuciones de frecuencia de los pesos del Bagre Rayado (peso total en gramos): 1. Ejemplares muestreados entre abril del 2012 a marzo del 2013 a lo largo en los principales puertos pesqueros en la cuenca del río Magdalena (1a. Total, 1b. Neiva, 1c. La Dorada, 1d. Barrancabermeja, 1e. Magangué); 2. Relación Talla/Peso (2a. Total, 2b. Neiva, 2c. La Dorada, 2d. Barrancabermeja, 2e. Magangué)..... 41

Figura 10. Gráfico de que muestra la oscilación mensual del índice K o factor de condición; muestra el mes, para cada año y las localidades en los puestos pesqueros del Río Magdalena.43

Figura 11. Distribuciones de frecuencia de tamaño de los otolitos *Asteriscus* del bagre rayado (ancho máximo en milímetros): **1.** Submuestra de 90 otolitos entre abril del 2012 a marzo del 2013 en los principales puertos pesqueros del río Magdalena (**1a.** Total, **1b.** Neiva, **1c.** La Dorada, **1d.** Barrancabermeja, **1e.** Magangué); **2.** Distribuciones de frecuencia para el peso de los otolitos (**2a.** Total, **2b.** Neiva, **2c.** La Dorada, **2d.** Barrancabermeja, **2e.** Magangué)..... 46

Figura 12. Características morfológicas y caracteres morfométricos de la cara interna del otolito *Asteriscus* derecho de *P. magdaleniatum*; **A_max**: ancho máximo, **L_max**: largo máximo, **Ángulos** 0°, 45°, 90°, 135° y 180° **F**: foco o primordium; el resto de partes del otolito están señaladas y el eje a la derecha inferior de la foto; muestra la posición del otolito **D**: borde dorsal, **V**: borde ventral, **P**: borde posterior, **A**: borde anterior.48

Figura 13. Fotografía de los otolitos Lapillus y *Asteriscus* que muestra la posición sus márgenes o bordes externos: **D**: borde dorsal, **V**: borde ventral, **P**: borde posterior, **A**: borde anterior.48

Figura 14. Grupos morfológicos identificados y divididos en las tres categorías (I, II y III) para el otolito <i>Asteriscus</i> de <i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> .	49
Figura 15. Fotografías de dos otolitos <i>Asteriscus</i> derechos, de <i>P. magdaleniatum</i> con las marcas o líneas del ancho máximo (1.) y largo máximo (2.), así como la línea roja trazada a través del foco, luego muestra las sucesivas zonas translúcidas (ZT) y zonas opacas (ZO).	50
Figura 16. Fotografía de un otolito <i>Asteriscus</i> derecho, de <i>P. magdaleniatum</i> en dos vistas, 1.) una con solo la línea roja que atraviesa el foco (F) y 2.) otra imagen presenta todos los ángulos o ejes a medir, se eligió el ángulo de 45°. Luego muestra las sucesivas zonas translúcidas (ZT) y zonas opacas (ZO).	50
Figura 17. Relación del tamaño de los otolitos y longitud horquilla de los bagres rayados en dos individuos en la localidad de Barrancabermeja.	51
Figura 18. Grafica de la curva de distribución o regresión ajustada para los datos de: grafico 1.) A_Max y 2.) L_max contra la LH para toda la cuenca Rio Magdalena.	55
Figura 19. Grafica de la distribución de los datos, del Grafico 1.) Angulo_0°, 2.) Angulo_45°, 3.) Angulo_90°, 4.) Angulo_135°, 5.) Angulo_180° contra la LH para toda la cuenca Rio Magdalena.	56
Figura 20. Grafica de distribución frecuencia, en porcentajes (%) de Nitidez o número de marcas de crecimiento en otolitos <i>Asteriscus</i> , del Bagre rayado del Rio Magdalena; categorizadas en b : buenas, r : regulares y m : malas para. 1.) Nitidez de otolitos del Bagre para todas las tallas, 2.) Nitidez de tallas pequeñas, 3.) Nitidez de tallas medianas y 4.) Nitidez de tallas grandes.	57
Figura 21. Gráficos de Nitidez total (en %) para el número de marcas de crecimiento en otolitos <i>Asteriscus</i> , del Bagre rayado del Magdalena; categorizadas en b : buenas, r : regulares y m : malas. 1.) Nitidez total de otolitos para todas las tallas, 2.) Nitidez total de tallas pequeñas, 3.) Nitidez total de tallas medianas y 4.) Nitidez total de tallas grandes.	59
Figura 22. Gráficos de distribución frecuencia (en %), del Tipo de marca de anillos de crecimiento de los otolitos <i>Asteriscus</i> de <i>P. magdaleniatum</i> , del Rio Magdalena; categorizados en marcas b : bifurcadas, d : dobles y s : simples. 1.) Tipo de marcas en peces de todas las tallas, 2.) Tipo de marcas en tallas pequeñas, 3.) Tipo de marcas en otolitos de tallas medianas, 4.) Tipo de marcas en otolitos de tallas grandes.	60
Figura 23. Gráficos de distribución frecuencia, porcentaje total (%), del Tipo de marca de anillos de crecimiento de los otolitos <i>Asteriscus</i> de <i>P. magdaleniatum</i> , del Rio Magdalena; categorizados en marcas b : bifurcadas, d : dobles y s : simples. 1.) Total, de tipo de marcas para todas las tallas, 2.) Total, de tipo de marcas de tallas pequeñas, 3.) Total, de tipo de marcas de tallas medianas y 4.) Total, de tipo de marcas de tallas grandes.	62
Figura 24. 1. Curva que señala la relación entre el número de anillos de crecimiento examinados en los otolitos <i>Asteriscus</i> del Bagre rayado del Magdalena y su tamaño calculado en (mm), 2. Curva de la relación entre el número de anillos de crecimiento de los otolitos del Bagre y su talla o Longitud horquilla (Lh en cm).	64
Figura 25. Gráfico que confirma consistentemente la posición de los anillos, mediante sus radios individuales de las marcas de crecimiento (Rn) con relación a las diferentes longitudes horquilla en milímetros (Lh).	64
Figura 26. Gráficos de distribución frecuencia relativa, para el tamaño de cada una de las marcas de crecimiento observadas en los otolitos <i>Asteriscus</i> de <i>P. magdaleniatum</i> , del Rio Magdalena.	66

Figura 27. Secuencia histórica de los principales estudios biológico-pesqueros realizados en la cuenca del Magdalena, donde se reportaba la Talla Media de Captura (TMC / Longitud estándar Le, cm.) para el *Pseudoplatystoma magdaleniatum*.69

Figura 28. Reporte espaciotemporal de los coeficientes de regresión **b**, de la relación talla/peso en *Pseudoplatystoma magdaleniatum* para el Río Magdalena. de diferentes autores y para esta investigación.70

Figura 29. Ciclo hidrológico del río Magdalena entre abril de 2012 y marzo de 2013. Óvalos grises corresponden a aguas altas y óvalos naranja a aguas bajas. (Fuente: Hernández et al., 2013, INFORME ECOPETROL: “Estado de conservación de del bagre rayado, Componente REPRODUCTIVO).72

Figura 30. Análisis comparativo entre diferentes especies, su nombre común, la cuenca en la que se encuentran reportada y los tamaños promedio (Le, en mm y cm) y sus tamaños máximos para sus otolitos Asteriscus (editado y modificado de las fuentes: Martínez y Monasterio de Gonzo ,1988 y 1991; Pérez, 2005; FishBase, 2017).74

Figura 31. Ejemplo en *Mugil curema*: (A) Diagrama de dispersión y regresión entre los radios de los otolitos (Ro) y longitud total (LT), indicando proporcionalidad en las lecturas. (B) Gráfico de constancia indicando consistencia en la posición de los anillos (Rn) con relación a las diferentes longitudes totales (LT). (C) Gráfico de caja indicando poca superposición entre las medidas de los radios de los anillos (Rn), que acompañan al crecimiento (Tomado de Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015)..81



**ASPECTOS DEL CRECIMIENTO DEL BAGRE RAYADO,
Pseudoplatystoma magdaleniatum (Buitrago-Suarez y Burr,
2007) EN LA CUENCA DEL MAGDALENA, COMO INSUMOS
PARA SU USO Y CONSERVACION**



ASPECTOS DEL CRECIMIENTO DEL BAGRE RAYADO, *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (Buitrago-Suarez y Burr, 2007) EN LA CUENCA DEL MAGDALENA, COMO INSUMOS PARA SU USO Y CONSERVACION

1. INTRODUCCION

La importancia de la cuenca Magdalena – Cauca como eje socio-ambiental para la República de Colombia, comienza a evidenciarse por abarcar casi una cuarta parte del país (+/- 256.000 km² = 24%), donde se localiza hasta el 80 % de la población total del país, se produce el 95% del total de la energía hidroeléctrica de Colombia y se genera un poco más del 85% del PIB nacional (The Nature Conservancy, Fundación Alma, Fundación Humedales & AUNAP, 2016). En este ámbito de la cuenca, la actividad pesquera ha sido histórica y tradicionalmente la base del sustento de sus pobladores, siendo descritas desde 1.940 147 especies de peces de importancia comercial, donde el bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*) en conjunto con el bocachico (*Prochilodus magdalenae*), se presentan como las especies símbolo de las pesquerías de agua dulce del país (Lasso et al., 2011).

Es por eso que para los conocedores sobre los recursos pesqueros en Colombia, la problemática relacionada con el bagre rayado del Magdalena ha llevado a categorizarla dentro del libro rojo de peces dulceacuícolas como en “Peligro Crítico” [CR (A1d)] debido principalmente a su sobrepesca y a las abundantes capturas por debajo de la talla permitida (80 cm de longitud estándar) (Mojica et al., 2012). Tales situaciones se pueden atribuir, entre otras, al deterioro ambiental generalizado a lo largo de la cuenca, el cual particularmente afecta directamente a la pesca por los procesos de sedimentación acelerado, taponamiento de caños y desecación de ciénagas (pérdida de hábitat para las especies migratorias de peces) (The Nature Conservancy, Fundación Alma, Fundación Humedales & AUNAP, 2016).

Por lo expuesto anteriormente, es evidente que se debe avanzar urgentemente en el mejor entendimiento de la biología y ecología de los recursos pesqueros de la cuenca, para optimizar las medidas de uso, manejo y conservación de las especies comerciales más importantes, así como en el entendimiento de sus relaciones con los ecosistemas acuáticos donde se distribuye la especie. Precisamente a lo largo del presente documento de tesis de maestría, se presentarán los argumentos, metodologías, resultados y discusiones relacionadas con la generación del conocimiento detallado sobre la morfología y morfometría de los otolitos del bagre rayado del Magdalena y sus correspondientes marcas de crecimiento, de tal forma que estos insumos se conviertan en la base fundamental para la futura determinación de los parámetros de crecimiento de esta importante especie pesquera en Colombia.

2. ESTADO DEL ARTE - ANTECEDENTES

2.1. Atributos que definen al *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (Buitrago y Burr, 2007)

Reino: Animalia
Filo: Chordata
Clase: Actinopterygii
Infracase: Teleostei
Orden: Siluriformes
Familia: Pimelodidae
Género: *Pseudoplatystoma*
Especie: *P. magdaleniatum*
Nombre común: Bagre rayado, pintado o pintadillo.
Categoría Libro Rojo: (CR) (A1d), En Peligro Crítico (Mojica *et al.*, 2012).



Esta especie era reconocida como *Pseudoplatystoma fasciatum* hasta que estudio taxonómico de las especies del género *Pseudoplatystoma* y determinaron que los especímenes que se encuentran en la cuenca Magdalénica incluyendo el río Cauca son endémicos para este sistema fluvial (Buitrago-Suarez y Burr, 2007).

Las principales características morfológicas que lo diferencian del bagre rayado amazónico, del Orinoco y en general de las otras cuencas de Suramérica son: i) región posterior dorsal de la cabeza es áspera, cuyos surcos lo diferencian de los otros bagres por su proceso supraoccipital largo con una cresta; ii) fontanela media corta; iii) aleta adiposa con pocas y grandes manchas (Buitrago-Suarez y Burr, 2007).

2.2 Estudios biológico-pesqueros

En la tabla 2. se relacionan los resultados relevantes en cuanto a los tamaños de los bagres rayados reportados por diversos estudios que se han elaborado en torno al género *Pseudoplatystoma* en varias cuencas en países como Colombia, Perú, Venezuela, Brasil y Bolivia. En este sentido, los reportes de las tallas medias de captura (TCM) en la cuenca del Magdalena varían según el lugar y el año del muestreo, siendo reportados para toda la cuenca valores de 92cm (Valderrama *et al.*, 1988), entre los 69 y 70 cm en la cuenca media (Moreno *et al.*, 1993; Valderrama *et al.*, 1993). Posteriormente para la cuenca media (Honda, La Dorada, Puerto Boyacá, Puerto Berrío y Barrancabermeja) las TMC oscilaron ; entre los 48,7 y 66,7 cm (Arce-Hernández, 2008).

En otras cuencas como la Amazónica, Camacho (2006) en sector frontera entre Colombia, Brasil y Perú observa para el bagre rayado amazónico una TCM entre los 69,03 cm Le y 71,24 cm Le, siendo que en general los tamaños de captura en otros países de la Amazonia (Perú y Bolivia), así como en la del Orinoco en Venezuela, donde se estudió la biología pesquera del género *Pseudoplatystoma*, estos oscilaron entre los 60 y 92 cm, siempre bajo la misma tendencia de que una parcela representativa de la población estaba siendo pescada con tamaños inferiores a la talla mínima legal (Tabla 2.).

2.3 Estudios sobre biología reproductiva

Posiblemente el aspecto de la reproducción de las especies de peces que más se capturan con fines comerciales, sea uno de los más relevantes al momento de estudiar las fases de desarrollo y sustentabilidad de las pesquerías, esto debido a que dentro de ciclo de vida de las especies el momento de llegar al peso y tamaño apropiado para poder reproducirse, corresponderá a una edad determinada del pez. En este sentido el género *Pseudoplatystoma* ha sido estudiado ampliamente en sus diferentes cuencas de distribución, por ejemplo, en la Amazonia colombiana su pico reproductivo ocurre entre febrero y abril, coincidiendo cuando el nivel del río está aumentando (Agudelo 1994, Agudelo *et al.*, 2000). Algo similar ocurre en la cuenca del Orinoco y sus afluentes como los ríos Meta y Guaviare (Colombia) y Apure (Venezuela) durante los meses, abril a mayo y septiembre a noviembre en los períodos de aguas ascendentes (Reid, 1983, Agudelo *et al.*, 2000). En cuanto al momento de que una población de peces llegue a reproducirse, se utilizan varios indicadores pesqueros como la talla media de madurez sexual (TMM), siendo que para este mismo género del *Pseudoplatystoma* en la zona de frontera Amazónica entre Colombia, Brasil y Perú, Camacho (2006) revela una TMM de 68,5cm mientras que en la cuenca del Orinoco para se observaron TMM entre 56-65 cm (Pérez, 2005) (Tabla 1).

Para la parte baja de la cuenca del Magdalena, Zárate (1991) vincula el comienzo de la época lluviosa con la madurez gonadal del bagre rayado, reportando la talla media de madurez sexual (TMM) para los dos sexos en 75,5cm Le, mientras que para el Magdalena medio por los alrededores de Barrancabermeja se calcularon TMM de 81cm (Moreno *et al.*, 1993). (Tabla 2.). Posteriormente para todo el sistema del Magdalena se reportó una TMM de 71cm Le (Barreto y Borda, 2008), siendo que uno de los últimos resultados publicados indicó TMM de 52,52 cm para toda la cuenca (Alonso *et al.*, 2014) (Tabla 1).

2.4 Instrumentos de manejo y administración para el recurso pesquero Bagre Rayado del Magdalena

Como en la actualidad la mayor parte de aspectos normativos y legales mediante los cuales se maneja y/o administra el recurso pesquero del bagre rayado para la cuenca del Magdalena-Cauca se relacionan con sus aspectos reproductivos y de tamaños de captura, en la tabla 1. se resumen estos instrumentos, teniendo en cuenta cuando se mencione *P. fasciatum* se debe leer *P. magdaleniatum*. Desde 1987 el antiguo INDERENA estableció las vedas oficiales, siendo actualizadas las resoluciones y acuerdos para cada uno de los momentos en los que se cambió de figura de la autoridad pesquera en Colombia, donde por ejemplo la RESOLUCION No. 57 del 15 abril de 1987- INDERENA, Acuerdo No. 00009 del 8 de marzo de 1996-INPA, diez años después paso a ser la Resolución No. 00242 del 15 abril de 1996-INPA (Lasso *et al.*, 2011) (Tabla 2)

Tabla 1. Principales resultados de estudios biológico-pesqueros para el género *Pseusoplatystoma* en cuanto a Talla de Primera Maduración gonadal (TPM), Talla Media de Maduración gonadal (TMM) y Talla Promedio de Captura (TPC) o Talla Media de Captura (TCM) (Le: Longitud estándar, Lh: Longitud horquilla).

CUENCA	TPM			TMM			TCM			FUENTE
	H	M	H-M	H	M	H-M	H	M	H-M	
Magdalena (toda Cuenca)									92Le	Valderrama <i>et al.</i> , 1988
Magdalena (Cuenca Baja)				83Le	60Le	75,5Le			48,7 - 66,7	Zarate 1991
Magdalena(Media/Barrancabermeja)				89	65Le	81			70Le	Moreno <i>et al.</i> , 1993
Magdalena(Media/ Barrancabermeja)									69Le	Valderrama <i>et al.</i> , 1993
Magdalena (Media/Alta, Honda)									69,62Le	Arce-Hernández, 2008.
Magdalena (toda Cuenca)				53,8Le	76,3Le	71Le				Barreto y Borda, 2008
Magdalena (Bajo/Mompox)									42Le	Fundación Humedales, 2010.
Magdalena (toda Cuenca)									65,7Le 62,5Le**	Ajiaco <i>et al.</i> , 2011. CCI
Amazonas							77,8Le			Pinto, 1998.
Amazonas(Perú)	89,8Lh	82,5Lh		-			80,65Lh	69,48Lh		García <i>et al.</i> , 2001
Amazonas									60,6Le	Roa, 2002
Amazonas-Magdalena (Zona de Frontera)			65,64 [€] 63,12 ^{€€}			68,5			69,03 [€] 71,24 ^{€€}	Camacho, 2006
Caquetá	60Le	70Le	60Le	82,5Le	76Le	86Le				Arboleda, 1986.
Caquetá (La Pedrera)				82,5Le					70Le	Agudelo <i>et al.</i> , 2000
Orinoco			57,5Le							Garzón y Valderrama, 1979.
Orinoco-Rio Guaviare					94Le		77Le		81,7Le	Agudelo <i>et al.</i> , 2000
Mamoré (Bolivia)	73Le	55Le		-			-			Loubens y Panfili, 2000
Putumayo	54Le	44Le	44 Le	69,5 Le	57,9 Le	68 Le	64,5 Le	54,1 Le	61,2 Le	Freitas, 2003
Cuenca Baja Putumayo				73,5Le					65,4Le	Alfonso <i>et al.</i> , 2003
Ucayali (Perú)				93,92Lt	78,49Lt					Deza <i>et al.</i> , 2005.
Apure, Cuenca Rio Orinoco. <i>P. tigrinum</i> **						56-65			62-84	Pérez, 2005.
Magdalena (toda Cuenca)						52,52			63,6 Le	Alonso, 2014

Tabla 2. Normatividad colombiana para el recurso pesquero *Pseudoplatystoma fasciatum* (léase *Pseudoplatystoma magdaleniatum*).

Norma	Especie o recurso	Argumento
• Acuerdo No. 0016 del 25 febrero de 1987-INDERENA • RESOLUCION No. 57 del 15 abril de 1987-INDERENA	BAGRE PINTADO o RAYADO- <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	• “Se establece la veda temporal del bagre pintado o rayado, <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>, en las cuencas de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge”. • VEDA= Prohíbe del 1 de mayo al 1 de junio de cada año la pesca del <i>P. fasciatum</i> en ríos Magdalena, Cauca y San Jorge. La autoridad pesquera NO EXPEDIRA PERMISOS DE PESCA- NI SALVOCONDUCTOS. Se levantará cuando las investigaciones argumenten una recuperación de la especie. • Mediante esta resolución se aprueba el anterior acuerdo, No. 0016 del 25 febrero 1987-INDERENA.
• Acuerdo No. 00005 del 24 de febrero 1993-INPA	BAGRE PINTADO o RAYADO- <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	• “Por el cual se autoriza el uso de algunos artes y aparejos de pesca en las cuencas de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge”.
• Acuerdo No. 00009 del 8 de marzo de 1996-INPA • Resolución No. 00242 del 15 abril de 1996-INPA	BAGRE PINTADO o RAYADO- <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	• “Modifica Veda del bagre rayado en la cuenca magdalénica”. • Según el INPA la especie del bagre rayado, <i>P. fasciatum</i> presenta dos periodos reproductivos: 1) mayo a junio, 2) entre los meses de septiembre y octubre; por lo cual se modifica parcialmente la RESOLUCION No. 057 de 1987, estableciendo dos periodos de veda para la pesca del bagre del 1 al 30 de mayo y del 15 de septiembre al 15 de octubre de cada año. • Se reglamenta el Acuerdo 009 del 8 marzo de 1996-INPA y se establecen las medidas adecuadas para el acatamiento de la veda de <i>P. fasciatum</i> en la cuenca del Magdalena.
• Resolución No. 1350 de 1978-INDERENA	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	• “Por medio de la cual se aplaza la vigencia del artículo 1º de la RESOLUCION No. 0595 de 1978”. • Aplaza por un año la entrada en vigor de la talla minina para pesca y comercialización del bagre rayado o tigre establecida en 100cm incluyendo cabeza y 80cm sin cabeza.
• Resolución No. 0430 de 1982-INDERENA	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	• Modificación del artículo 1º de la RESOLUCIÓN 0595 del 1 de junio de 1978, concerniente al arreglo de la talla mínima para el <i>P. fasciatum</i> en 80cm con cabeza y 60cm sin cabeza.
• Acuerdo 0015 del 25 febrero de 1987	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> Zona: Área de manejo, Cuenca media y baja del río Caquetá y Cuenca del río Amazonas	• Reglamentación y aprovechamiento pesquero en la parte media y baja del rio Caquetá, y las determinaciones para la protección en la cuenca del Amazonas. • Se restringe el uso de ciertos artes de pesca, (ojo de malla permitido según el arte de pesca, así como las tallas mínimas de captura). • Declarada área de reserva para la pesca de subsistencia a las QUEBRADAS, QUEBRADONES y LAGUNAS, en territorios de resguardos indígenas (excepción pesca con fines científicos).

*Información extraída y modificada de (Muñoz-Torres y Sanabria-Ochoa, 2011; En: Lasso *et al.*, 2011).

3. MARCO TEÓRICO

Los estudios relacionados con los peces de importancia comercial se orientan hacia la evaluación de los “stocks” pesqueros, para lo cual es fundamental ir avanzando en el conocimiento sobre la distribución de las poblaciones, la producción pesquera por unidad de área, la modelación de los sistemas (producción vs. mortalidad), las estrategias de vida y la dinámica de poblaciones, siendo clave no perder de vista la interacción de los factores medioambientales (Caddy & Sharp 1988; Hilborn & Walters 1992, King 1995). En este sentido a continuación se incluyen los principales aspectos teóricos que sirvieron de base para el desarrollo del presente estudio.

3.1 Stock pesquero y poblaciones de peces

Es importante reconocer a una población bajo el término de unidad de “stock”, para propósitos de su valoración administrativa y de esta manera definir lo que es “stock”: como una agrupación biológica (especie, población, raza), geográficamente aislada. Para Sparre y Venema (1997), el “stock” será interpretado como una porción de una determinada especie que posee los mismos parámetros de crecimiento y mortalidad, que habitan un área geográfica determinada. De modo que existen diversas definiciones de “stock” pesquero; sin embargo, en la presente investigación cuando se haga alusión a dicho termino se hará referencia a al subconjunto de la población del bagre rayado que posee los mismos parámetros de crecimiento y mortalidad y que habita en un área geográfica en particular (Sparre y Venema, 1997; Camacho, 2006).

En la actualidad cuando se logra establecer el “stock” y delimitar sus áreas de distribución, se acude a la comprobación de su variabilidad genética, no obstante también es fundamental determinar los caracteres morfológicos y fisiológicos de la misma población, especialmente los relacionados con el crecimiento individual de cada individuo de esa población, como por ejemplo el tamaño corporal del pez y cuando adquiere cierta edad para iniciar su ciclo reproductivo; en general, las características poblacionales anteriormente mencionados en un “stock” deberían permanecer constantes en la zona de distribución (King, 1995; Sparre y Venema, 1997).

3.2 Grupo de peces que conforman una cohorte

Un grupo de organismos de la misma especie que posean la misma edad (misma época de nacimiento) y pertenezcan al mismo “stock”, conforman una cohorte (Sparre y Venema, 1997). Un “stock” pesquero puede ser compuesto por diversas cohortes y según Fonteles (1989) una cohorte o clase etaria es un conjunto de organismos que nacen en un mismo momento y que pertenecen a un mismo grupo de peces desovantes, para dicho autor el conjunto de peces que tenga aproximadamente la misma edad.

El conocimiento de la dinámica de la cohorte de una población permite ver cómo se comportan su talla o su peso respecto a la edad del “stock” pesquero y de esta forma saber cuál sería el mejor rendimiento para esa cohorte; es decir a que edad en teoría deberían ser capturados teniendo el mejor aprovechamiento del recurso, siendo ideal no se capturen peces ni muy jóvenes ni muy viejos (Sparre y Venema, 1997). Precisamente para la valoración de la edad de una población de peces se pueden utilizar entre otras, estructuras óseas que poseen los peces y reflejan su crecimiento mediante la periodicidad y sincronía de la formación de su marca de crecimiento tanto en el individuo como en la cohorte, siendo que en “X” lapso de tiempo se deposita o forma una nueva estructura de

crecimiento (Beamish y MacFarland, 1983; En: Morales-Nin, 1991).

3.3 Otolitos como insumos para definir stocks, edades y crecimiento en peces

Investigaciones sobre los caracteres anatómicos y estructurales en estructuras calcificadas de peces teleósteos, como en el caso del presente estudio con los otolitos, aborda áreas del conocimiento relacionadas con la morfología y morfométrica, las cuales pueden permitir la identificación de stocks pesqueros, sus migraciones e historia de vida, siendo que estos métodos se conciben como métodos menos costosos que los relacionados con la identificación genética de stocks o la definición de dinámicas poblacionales por marcado-recaptura con marcas o sensores (Callicó-Fortunato, 2017).

En este sentido, los otolitos se localizan en el aparato vestibular como complejas estructuras policristalinas compuestas en su mayoría por carbonato de calcio (CaCO_3) precipitado en su configuración de aragonita y por bajas concentraciones de otros minerales, inmersos en una matriz orgánica (Figura 1.) (Campana, 1999). El aparato vestibular es un órgano adherido a la capsula ótica, donde se hallan los canales semicirculares y los tres pares de cámaras denominadas sáculo, lagena y utrículo, albergando a cada uno de los otolitos: *Sagitta* (sáculo), *Lapillus* (utrículo) y *Asteriscus* (lagena) (Figura 1). Los tres pares de otolitos están relacionados con las funciones del equilibrio y la audición.

La formación del agregado calcáreo está regulada por procesos hormonales que igualmente lo afectan las variaciones ambientales, sobretudo el clima y la temperatura (Morales-Nin, 1991; Callicó-Fortunato, 2017). Lo más importante de todo lo anterior y que se convierte en la base del presente estudio, es que el otolito es una estructura morfo-específica por especie, siendo estructuras conservativas ya que el material que los componen no se reabsorbe ni altera, por consiguiente, reflejan los procesos de desarrollo de los peces, así como sus momentos de estrés o cambios naturales o influenciados por alteraciones humanas (Morales-Nin, 1991, 1998; Tuset *et al.*, 2008; Callicó-Fortunato, 2017).

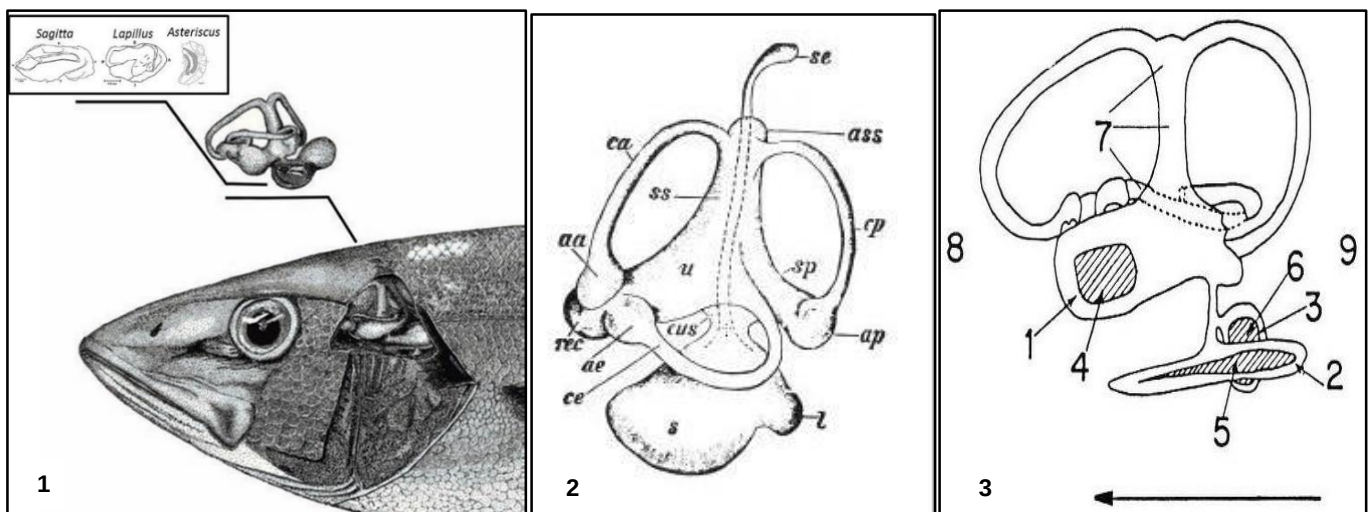


Figura 1. 1. Ubicación del aparato vestibular y los tres pares de otolitos en peces. Modificado de Tuset *et al.* (2008) y Assis (2000); Tomado de Callicó-Fortunato, 2017. 2. Esquema del órgano auditivo y del equilibrio en peces óseos (Fuente primaria: Parker y Haswell, 1987, Tomado y modificado de Tuset, 2000). Principales conductos, senos y cavidades en su interior: *cus*, conducto que une el sáculo con el utrículo; *se*, conducto endolinfático; *l*, lagena; *rec*, fondo utricular, *s*, sáculo; *se*, saco endolinfático; *sp*, seno utricular posterior; *ss*, seno superior; *u*, utrículo. 3. Oído interno de peces Siluriformes (Lagler, 1977), ubicación de los otolitos en sus cavidades y canales semicirculares. Cavidades: 1. Utrículo, 2. Sáculo, 3. Lagena; Otolitos: 4. *Lapillus*, 5. *Sagitta*, 6. *Asteriscus*; 7. 8. y 9. Canales semicirculares. El sentido de la flecha indica el extremo anterior del pez; Foto tomada de Martínez y Monasterio-Gonzo (1991).

3.3.1 Desarrollo y ciclos metabólicos de los otolitos

El otolito crece por deposición de material en su área superficial desde la zona del centro llamada foco o primordium, originándose en las primeras fases de desarrollo del pez, siendo inclusive la primera estructura calcificada en formarse (Campana y Neilson, 1985; En: Tuset, 2000). Desarrollado el primordium, el otolito se define a largo de tres fases: i) tasa de crecimiento *rápida* que no evidencia discontinuidades; ii) la *rapidez* en el desarrollo se *minimiza*, su ancho de bandas es menor y las *irregularidades* en las deposiciones calcáreas son *más frecuentes*; iii) se produce una disminución de la tasa de crecimiento y las discontinuidades en las disposiciones del carbonato de calcio (CaCO₃) son menos perceptibles (Tuset, 2000).

Es por esto que el *crecimiento del otolito* refleja *ciclos periódicos* que siempre estará influenciado por los *cambios metabólicos endógenos* del organismo y *exógenos* dados por los factores ambientales, *por lo que los ciclos anuales* que determinan la formación de *marcas o annuli*¹ se pueden observar con *microscopía óptica*, caracterizadas en los estudios de crecimiento como *anillo opaco* o de *crecimiento rápido* y *anillo transparente*² o de *crecimiento lento* (Morales-Nin, 1991). Algunos de los factores que influyen en el crecimiento anual, descritos para zonas subtropicales y tropicales en donde las variaciones en temperatura son menores y sin estaciones climatológicas marcadas, pueden ser los ciclos reproductivos y sus ritmos fisiológicos influenciados más por la hidrología (variaciones en caudales y nivel del río), por lo tanto, los análisis de marcas de crecimiento en otolitos se deben hacer con criterios propios para cada sistema fluvial (Pérez, 2005).

3.3.2 Marcas de crecimiento en los otolitos de peces y su interpretación

La determinación e interpretación del crecimiento a partir de otolitos³ constituye el método más fiable y aceptado para la definición y caracterización de la edad en peces, procediéndose a enumerar los *annulus o anillos anuales*, cada uno compuesto por un *anillo opaco* y otro *transparente*, exponiendo el otolito a luz incidente o transmitida y observándolo por medio de microscopía óptica (microscopio o estereoscopio) (Morales-Nin, 1991,1998; Tuset, 2000). Cuando los *otolitos son muy densos* (alta cobertura de CaCO₃) o en individuos muy viejos, se dificulta la interpretación de los anillos, por lo que se sugiere preparara secciones o cortes que pasen por el *foco el otolito y/o pulir* los otolitos con el fin de visibilizar el patrón de crecimiento macroestructural (Tuset, 2000).

Como es posible que todavía se presente dificultades den observar las marcas de crecimiento en los otolitos, se utilizan técnicas enfocadas a intensificar esas marcas en el otolito entero seccionado, tales como: *la técnica de tostado, tinción/coloración y/o aclaración o descalcificación* (Valeruz-Rêgo *et al.*, 1998; Tuset, 2000; Pérez, 2005). Con esta diversidad de métodos para la determinación y caracterización de la edad y crecimiento en los peces, el procedimiento a elegir por especie depende de la morfología del otolito y de las edades que alcance el pez, debiéndose ajustar cada técnica o realizar complementos entre ellas acorde a los resultados de su caracterización y visualización (Morales-Nin, 1991,1998; Tuset, 2000).

1. Anillos o marcas estacionales formadas anualmente (Morales-Nin, 1991). 2. Término utilizado para referirse al anillo de crecimiento lento y preferible al empleado por algunos autores como 'hialino' (Francis, 1995). (Fuente: Tuset, 2000). 3. La determinación de la edad a partir de estructuras calcificadas recibe el nombre de oseocronometría (Casselman, 1987) o esquelocronología (Ricqlès, 1992). (Fuente: Tuset, 2000).

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La “Serie de Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia en su II informe sobre Pesquerías Continentales de Colombia” (2011), expone los datos de productividad de la cuenca del Magdalena año tras año desde 1975 hasta 2008, mostrando como se pasó de una producción de 36.158 Ton/año a 7.182Ton/año, alertando sobre su estado de amenaza.

Por estos mismos motivos el bagre rayado es clasificado por la UICN como especie en peligro crítico (CR) (A1d): Criterio A. rápida reducción en tamaño poblacional; Subcriterio 1. Obvia Reducción (observada, estimada o sospechada), en los últimos 10 años ó 3 generaciones*, por causas reversibles y conocidas y ya no operantes; d. Niveles muy altos de explotación reales o potenciales (Valderrama, *et al.*, 2011; Mojica *et al.*, 2012).

Si a lo expuesto anteriormente se le suma el efecto que pueda tener sobre las poblaciones de bagre rayado del Magdalena la intensa pesca que se ejerce sobre individuos por debajo de la talla mínima legal (80 cm) (Tabla 1. y 2) (Mojica *et al.*, 2006; MADR-CCI, 2007; Fundación Humedales, 2010; Valderrama *et al.*, 2011).

Por consiguiente, se cuenta con evidencias históricas sobre la disminución de la producción pesquera a lo largo de la cuenca, así como en la disminución de las tallas medias de captura, con cálculos de tasas de crecimiento y mortalidades (natural y pesquera) por medio de metodologías indirectas de frecuencias de tallas, existiendo todavía el problema de que no se ha abordado la definición directa de las edades y el crecimiento del bagre rayado del Magdalena, de tal forma que sea posible obtener cálculos más confiables para proyectar los futuros rendimientos de la pesquería, facilitando por consiguiente la aplicación de medidas más apropiadas para su uso, manejo y conservación.

Para resolver este planteamiento de problema, el presente trabajo se basó en la siguiente pregunta de investigación: es posible a partir de la observación directa, lectura y análisis de estructuras óseas como los otolitos del *Pseudoplatystoma magdaleniatum*, identificar un patrón de crecimiento y desarrollo en los bagres muestreados a lo largo de la cuenca del río Magdalena.

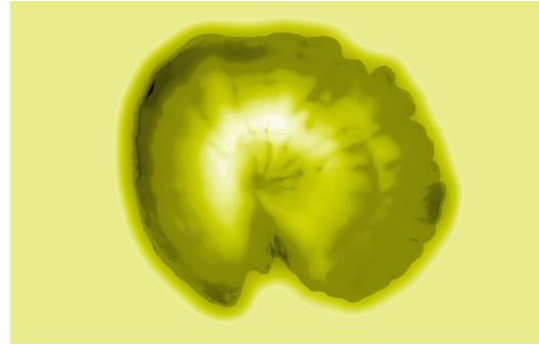
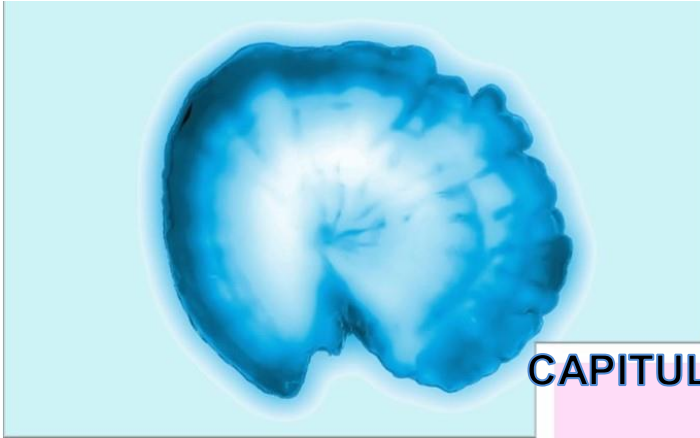
5. OBJETIVOS

Objetivo General:

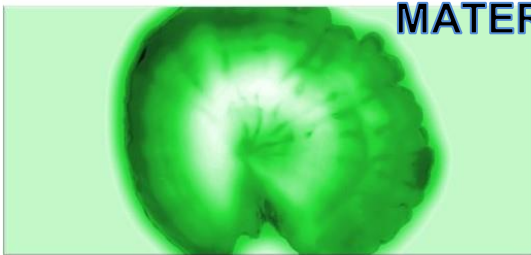
-  Definir los patrones del desarrollo de las marcas crecimiento en los otolitos “*Asteriscus*” del bagre rayado del Magdalena (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*) y su relación con los tamaños de los especímenes capturados comercialmente a lo largo de la cuenca.

Objetivos Específicos:

-  Caracterizar espacial y temporalmente los tamaños y pesos del bagre rayado muestreado a lo largo de la cuenca del río Magdalena como insumo para identificar su patrón de crecimiento.
-  Realizar la caracterización morfológica y morfométrica de los otolitos del bagre rayado pescado en la cuenca del río Magdalena, así como definir el patrón de marcación de sus anillos de crecimiento.
-  Definir la tendencia del crecimiento del bagre rayado del Magdalena en función de las marcas de crecimiento identificadas en sus otolitos “*Asteriscus*”.



CAPITULO VI.



MATERIALES Y METODOS



6 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 AREA DE ESTUDIO

Los muestreos para la toma de información biológica básica del *Pseudoplatystoma magdaleniatum*, así como para la colecta de los otolitos se realizaron en la cuenca del río Magdalena y río Cauca, estratificando los sectores de muestreo con base en dos argumentos: i) la sectorización fisiográfica de la cuenca y ii) la concentración de pescadores bagreros; dando como resultado la tabla 3.

Tabla 3. Estratificación de la cuenca del Magdalena para el estudio y toma de datos biológicos y muestras de otolitos del bagre rayado.

ESTRATO	SUBESTRATO	LOCALIDAD
Río Magdalena	Cuenca Alta	Neiva.
	Cuenca Media	Dorada. Barrancabermeja.
Intersección Río Magdalena - Río Cauca	Cuenca Baja	Magangué.

6.2 FASE DE CAMPO

6.2.1 Muestreo de ejemplares (toma de información de pesos, tamaños y colecta de otolitos).

Los muestreos de campo de esta propuesta se realizaron durante un año a especímenes de bagre rayado colectados en el transcurso del periodo hidrológico entre abril 2012 a marzo 2013 en los principales sectores descritos del río Magdalena. La presente investigación está enmarcada dentro de un macroproyecto denominado: “Estado de conservación de la población del bagre rayado *Pseudoplatystoma magdaleniatum* en la cuenca Magdalénica, valoración de implicaciones ambientales y socioeconómicas y definición de escenarios de ordenación pesquera y sostenibilidad”; financiado por ECOPETROL, Fundación Humedales, Universidad Surcolombiana, la Autoridad de pesca y Acuicultura - AUNAP y Fundación Bosques y Humedales, simultáneamente se ejecutaron otras actividades en diferentes frentes, el genético, reproductivo y trófico. La sección de dinámica poblacional ha extendido la fase de desarrollo y obtención de resultados, hasta lograr la estandarización de la metodología de aclaración de sus otolitos.

Se realizaron muestreos en los departamentos de Huila, Cauca, Santander, Bolívar y Antioquia (municipios de: Neiva, Dorada, Barrancabermeja, Magangué, Caucasia) respectivamente. Durante los monitoreos realizados mensualmente en cada uno de los sectores del área de estudio, se contó con la colaboración de pescadores y técnicos capacitados en la toma y registros de la información biológica pesquera. Se llevaron cabo las mediciones de los tamaños (Longitud total - LT, Longitud horquilla - LH, Longitud Estándar - LE) y los pesos (peso total y peso eviscerado), el sexo y los estadios de madurez gonadal en los especímenes del bagre rayado del Magdalena (Holden y Raitt, 1975; Sparre y Venema, 1997).

Siguiendo la metodología propuesta por Alonso (1998, 2002) y Díaz-Murillo (2010); se obtuvieron las estructuras duras (otolitos), tanto en cada lugar de muestreo, como en las áreas aledañas a Neiva, para ser procesadas en las instalaciones del laboratorio de la Universidad Surcolombiana (USCO).

6.2.2. Procedimiento para la extracción de otolitos

En la presente investigación esencialmente se extrajeron los otolitos *Asteriscus* y *Lapillus* de *P. magdaleniatum* (Figura 2), debido a que estas estructuras por su apropiado tamaño permiten visualizar los anillos de crecimiento (el *Sagittae*, en el bagre rayado es muy pequeño y delgado y por lo regular se fractura) (Alonso, 1998, 2002; Fonteles 1989; King, 1995). A partir de estas estructuras se practicaron los correspondientes análisis de marcas de crecimiento, con el propósito de dilucidar aspectos poblacionales de esta especie como se explicará más adelante.

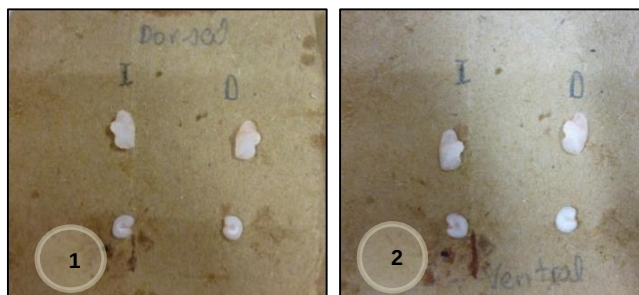


Figura 2. Vista de las estructuras óseas u otolitos. *Asteriscus* y *Lapillus*. En las fotografías digitales se presenta, vista dorsal y ventral para cada par de otolitos.

Para la extracción de los otolitos, los especímenes del bagre rayado son diseccionados, eviscerados, luego se les extraen las branquias para despejar la zona de corte entre las vértebras y el cerebro, accediendo de esta forma a la cámara ótica donde se alojan los otolitos. El ejemplar es ubicado con el vientre arriba y procurando hacer el menor daño posible al tejido muscular, se procede a hacer el corte en la región despejada.

En el punto de unión de la cabeza con la columna vertebral, donde se distingue una estructura ósea alargada, protuberante; que sobresale a modo de muñón, es ahí donde se realizaron los cortes de los bagres diseccionados con ayuda de una segueta y se dispusieron en una estructura de madera elaborada, siguiendo el modelo empírico sugerido por Alonso (*com pers.*) para sostener adecuadamente la cabeza y realizar así correctamente el corte. Posterior a este corte queda separado el cráneo del lomo o tejido muscular viable para el consumo, el cual queda en intactas condiciones (figura 3).

La cabeza se monta en la estructura empírica ya descrita, ahí se sostiene el cráneo para seccionar mediante el serrucho. A partir de la fontanela o división característica que presenta el bagre rayado en su anatomía, situada en la mitad de los hemisferios craneales, se desliza la sección en orientación a la boca, horizontalmente; siguiendo el canal de la medula, pues la cámara ótica es cercana al sistema nervioso y podrían perderse los otolitos si llegasen a ocurrir desvíos en el corte (figura 3).

Luego de cortar aproximadamente 10 cm en línea recta, se abre completamente la cabeza y con ayuda de unas pinzas de punta fina se exploró el interior del cerebro de la cavidad ótica en busca de los otolitos *Lapillus* y *Asteriscus* en harás de verificar su posición (figura 3).

Los otolitos extraídos están ubicados dentro de una bolsa protectora, la cual se retira con sumo cuidado de no partarlos o perderlos. Seguidamente, se lavaron manualmente, con agua y jabón líquido sobre un colador pequeño para retirar los excesos de grasa propios de la

envoltura y de su naturaleza sanguinolenta. Luego se dejaron por 5-10 minutos embebidos en jabón líquido y pasado este tiempo se enjuagaron retirando el excedente de jabón, hasta que quedasen limpios y sin grasa.

El proceso de secado de los otolitos es el siguiente paso que se realizó por un tiempo de 15-20 minutos sobre papel absorbente y después se almacenaron en sobres diseñados manualmente de papel Kraft, rotulados específicamente con el código de la localidad, espécimen, fecha (día/mes/año), longitud del ejemplar y/o sexo (figura 3).



Figura 3. Proceso de extracción de los otolitos paso a paso explicado foto a foto.

6.3 FASE DE LABORATORIO

6.3.1 Caracterización morfológica de otolitos



Observación y captura de imágenes de Otolitos

Con las muestras extraídas y almacenadas, se prosiguió con la observación de los otolitos mediante el estereoscopio *NIKKON DS-U2/L2*, se hicieron la toma y captura del material fotográfico a través de la cámara integrada de alta definición con el software o programa respectivo de la cámara alterna, llamado *NIS-Elements F 3.2*. La base de datos de imágenes fue digitalizada y procesada por medio del programa *COREL Paint PhotoShop X6* y capturadas en el laboratorio de Acuicultura de la Universidad Surcolombiana. Con la ayuda del software *UTHSCSA ImageJ Tool Versión 3.00, 5.0.2 programa libre* de la Universidad de Texas, se realizó la demarcación o determinación de cada una de las marcas de crecimiento del Bagre Rayado.

Los criterios para la toma y captura de imágenes debieron estar claros previamente para lo cual se realizó un protocolo de digitalización de imágenes de los otolitos para el análisis de información de edad y crecimiento. Los otolitos han de estar en una ubicación en el plano de la reglilla micrométrica que permita posteriormente la medida de los ángulos, su largo, su ancho, y sus descripciones morfológicas tanto del otolito *Lapillus* como del *Asteriscus*.

El criterio a comprobar en esta investigación es el siguiente: i) Se ubican los otolitos en el eje central de la reglilla y lo más alineado con respecto a la comisura o punto de inflexión que presenta el otolito y se elige su posición dorsal del *Lapillus*, la que no tiene la acumulación de Calcio (Ca) (el lado “liso”) y la estructura media que sobresale se opone a la posición del par *Asteriscus* que se observa en posición ventral (la que no tiene la acumulación de Ca y es “lisa” permitiendo visualizar los anillos). ii) Tomar las imágenes en la cara del otolito donde no hay acumulaciones de Ca adicional. iii) Para el otolito *Lapillus* capturar las fotografías en el aumento de 8x, dado que esta estructura es de mayor tamaño, y así se logra abarcar toda la gama de tamaños de dicha estructura el foco de este otolito se traspasa a través de la comisura medial del *Lapillus*. iv) Para el otolito *Asteriscus* se toman las imágenes digitales que muestren una tendencia de configuración de Ca algo puntiaguda hacia el costado izquierdo, pues se eligen los del hemisferio derecho de la vista ventral y en el aumento estereoscópico de 12,5x; ya que este otolito tiene un tamaño menor y el campo de observación se amplía pues, para el *Asteriscus* del bagre rayado y se puedan visualizar mejor los anillos de crecimiento. La selección del foco, centro o núcleo del otolito *Asteriscus* se realizó bajo el postulado que, en esta estructura ósea y posterior a la aclaración, dicho centro se hizo más hialino o transparente y justo ahí se posiciono el foco. v) Todas las fotos se realizan con fondo negro con el fin de reducir el brillo (figura 4).

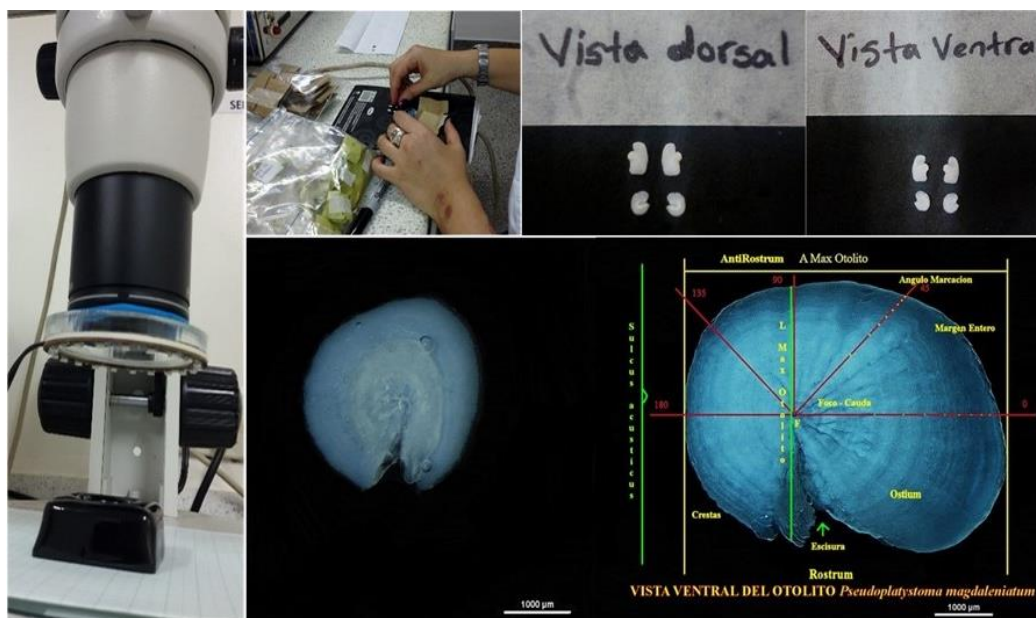


Figura 4. Imágenes que evidencian como se estandarizaron los criterios de toma y captura de imágenes, así como selección de otolitos *Asteriscus* en sus vistas dorsales o ventrales.



Mediciones morfométricas del Otolito

En cuanto a las medidas morfométricas que se realizaron en los otolitos del presente trabajo, se contó con una base de datos de imágenes digitalizadas y procesadas en el programa COREL Paint PhotoShop X6. Con estas imágenes en primer lugar, se realizaron las mediciones de los ángulos sobre los otolitos, los cuales proporcionaron la información de cuál fue el más apropiado para visualizar y marcar los anillos de crecimiento.

El modo en el que se planteó la medición de los ángulos siguió estos criterios: i) El otolito se ubica lo más alineado posible en el eje de la reglilla micrométrica. ii) Se debe calibrar la

medida de la reglilla micrométrica con el plano cartesiano en el Software UTHSCSA ImageJ Tool Versión 3.00, 5.0.2 programa libre de la Universidad de Texas. iii) Las imágenes se trabajan en el programa COREL Paint PhotoShop X6. iv) En el otolito *Lapillus* se mide el ángulo de 90°, luego el ángulo de 180°; y con estos se establece el marco de referencia para pasar los siguientes ángulos de medida; se usan 110° (340° en COREL), 140° (310°), y 220° (230°). v) En el *Asteriscus* se miden igualmente primero el ángulo de 0° y 180° para establecer el marco de referencia y luego se pasan los otros ángulos que son: 0° y 180° (90° COREL), 45° (45°), 90° (180° COREL), y 135° (315°).

Seguidamente se practicaron los cálculos de las proporciones y relaciones entre forma y tamaño, a modo de proporciones o índices (por ejemplo: largo, ancho) descritos según Tombari *et al.*, (2005) y Díaz-Murillo, (2010). En las imágenes de los otolitos se obtuvieron las medidas y variaciones en diferentes aspectos de su estructura ósea, tales como: longitud máxima otolito (LM), ancho máximo (AM) (Tabla 4).

Tabla 4. Mediciones y proporciones morfométricas para la descripción de forma del otolito de *Pseudoplatystoma magdaleniatum*. Medidas de LM (longitud máxima otolito), AM (ancho máximo), en milímetros mm; las proporciones con su respectiva formula. Modificada de Díaz-Murillo (2010).

Medidas	Proporciones
LM	Largo máximo: L_Max
AM	Ancho máximo: A_Max

Posteriormente se continuó con la toma de los pesos de otolitos en la balanza analítica PRECISA XB220A con precisión 0,0001g, para todas las estaciones de muestreo y en todos los meses, con el fin de obtener la información de la evaluación de las relaciones del otolito con el individuo y de esta forma poder determinar la relación existente entre el tamaño y el peso del ejemplar con la de los otolitos.

Las medidas fueron tomadas en milímetros (mm) desde el centro de la estructura, foco o núcleo hasta el borde externo. De igual forma, las mediciones obtenidas de cada marca se procesaron mediante el Software UTHSCSA ImageJ Tool Versión 3.00, 5.0.2 programa libre de la Universidad de Texas.

6.3.2 Caracterización de la formación de las marcas de crecimiento



Procesamiento y aclaración de los otolitos en laboratorio

Para la observación del patrón de marcación y verificación de los anillos de crecimiento del bagre rayado, solo se trabajó con una parte de la muestra de otolitos, es decir se seleccionó una submuestra; la cual corresponde solamente a los *Asteriscus* derechos de las 4 estaciones o principales puertos pesqueros de río Magdalena, pues fueron los utilizados para determinar la mejor técnica de visualización de las marcas de desarrollo. Los otolitos seleccionados se trataron con la técnica de aclaración propuesta por Villacorta-Correa, (1997) y Pérez, (2005); para examinar con mayor nitidez los anillos de crecimiento y poder definir el patrón de marcación en la especie (Figura 5).

La técnica descrita de aclaración para otolitos *Asteriscus* por Pérez (2005); en el Caparari (*P. fasciatum*) se aplicó para el *P. magdaleniatum* y se caracterizó por tres fases: i) fase de

limpieza de los otolitos en agua al baño maría a 50 °C durante 1 minuto aproximadamente. ii) Previa fase experimental de aclaración para determinar las proporciones de la sustancia aclaradora de Glicerina/2 Propanol y sus concentraciones más adecuadas. iii) Fase de aclaración. iv) Fase de conservación en Alcohol etílico (Figura 5).

Las fotos e imágenes de otolitos aclarados también se toman en fondo negro y bajo los criterios de digitalización establecidos (Figura 5).



Figura 5. Técnica del proceso de Aclaración paso a paso descrito fotográficamente para otolitos *Asteriscus* del *Pseudoplatystoma magdaleniatum*.

Patrón de marcación de los anillos de crecimiento

Para la validación de las marcas de crecimiento y la periodicidad de la formación de los anillos, se usaron los otolitos *Asteriscus* colectados en el transcurso del periodo hidrológico entre abril 2012 a marzo 2013 en los principales sectores descritos del río Magdalena.

Para la determinación de la edad se designó una fecha de nacimiento, que por regla no tiene que concordar con la fecha biológica real (Lozano, 2005), por otro lado, es posible asignar a un anillo de un determinado año su relación a una clase anual definida. Se definió un ciclo completo o ciclo anual, cuando se observaron diferencias entre una zona opaca y otra hialina en el otolito examinado, así en cada zona hialina se determinó la marcación de los anillos de crecimiento (Holden y Raitt, 1975).

La caracterización del patrón de marcación en los otolitos se realizó por medio de un análisis cualitativo y cuantitativo.

Análisis Cualitativo:

Las marcas de crecimiento transparentes o hialinas fueron caracterizadas de acuerdo con los criterios usados en estudios previos en determinación de edad y crecimiento por diversos autores (Oliveira, 1997; Fabré & Saint Paul, 1998; Valeruz-Rêgo *et al.*, 1998; Pérez, 1999; Vieira, 1999; Alonso, 2002), considerando solo algunos criterios; i) la fuerza de marcación de los anillos hialinos. ii) La nitidez (buena, regular o mala). iii) Tipo de marca (simple, doble o

bifurcada). iv) El número de marcas donde ocurre el cambio en el patrón de acumulación de Ca. (iii) Patrón de espaciamento entre marcas o proximidad entre marcas hialinas según el patrón esperado de crecimiento (así lo plantean estos diferentes autores en la siguiente sección verán cómo se planteó para el bagre). Se calcularán las distribuciones de frecuencia para los criterios que aplicara.

Análisis Cuantitativo:

La definición del mejor ángulo de medida en los anillos de crecimiento de los otolitos *Asteriscus* se obtuvo a través de la relación de los ángulos 0°, 45°, 90°, 135° y 180°; y la longitud de horquilla (Lh) del ejemplar, calculando su coeficiente de correlación (r) y la distribución de los residuos. Con dicha correlación se estableció la nitidez de las marcas en cada eje, indicando la posición en que se realizaron las mediciones.

Definida entonces la mejor posición, se tomaron las medidas entre el punto inicial y para cada una de las marcas hialinas; de esta forma verificando el patrón de distribución de las marcas en los *Asteriscus*.

Se realizaron las distribuciones de frecuencias del tamaño de las marcas, identificando los valores de moda, la sobreexposición de las distribuciones y el espacio entre las modas. La relación entre el número de cada tipo de marca y la longitud de horquilla del bagre rayado se tuvo en cuenta mediante un análisis exploratorio de los datos mediante su media, moda, desviación estándar y coeficiente de variación (Zar, 1999).

Se recurrió a la información de datos biológicos (tallas y pesos) registrados de abril 2012 a marzo 2013, con los cuales se procedió a hacer la serie de análisis estadísticos descritos en detalle en el siguiente apartado.

6.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.4.1 Caracterización morfométrica de los peces muestreados



Distribución espacial y temporal de las frecuencias de tallas

Con la información biológica obtenida en los monitoreos se obtuvieron datos de tallas de los especímenes, con los cuales se realizaron las tablas de frecuencias de tallas (Lh) de la especie para el total de individuos, por lugar y por mes. Las distribuciones resultantes fueron analizadas mediante estadística básica con su media, moda, desviación estándar y coeficiente de variación (Zar, 1999) (Figura 6).

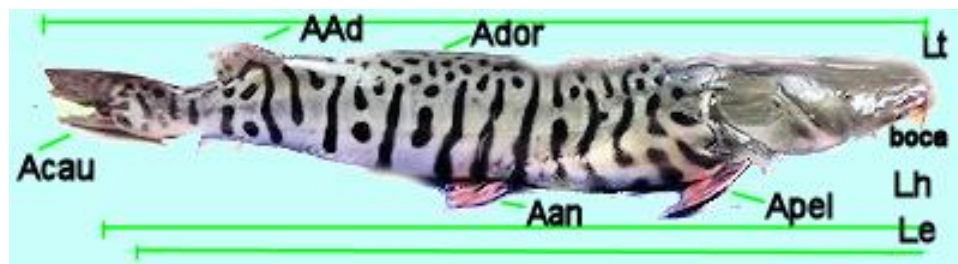


Figura 6. Principales medidas morfométricas de talla para un Bagre rayado, también el grafico señala las aletas de dicho espécimen que sirven de carácter de identificación, como la Aleta adiposa (AAd).



Distribución espacial y temporal de las frecuencias de los pesos

Mediante la información colectada de los pesos totales y eviscerados del bagre rayado para el total de la muestra en la cuenca, mensualmente y para todos los sectores muestreados, se realizó su distribución de frecuencia de los pesos. Se compararon los resultados obtenidos espacial y temporalmente, también se les practicó un análisis exploratorio a los datos con estadística descriptiva, mediante la estimación de algunas de sus medidas de tendencia central, como la media, mediana, moda y desviación estándar (Zar, 1999).



Relación peso-talla

Coeficiente de regresión que fue obtenido por la relación peso-talla, analizada por mes y expresada en función exponencial. Mediante esta fórmula y sus coeficientes se puede inferir si el crecimiento es Isométrico o Alométrico. Fueron descritos para el total de datos y por localidad (King, 1995; Camacho, 2006).

$$W=a*L^b$$

W= peso (g)
a= intercepto

b= coeficiente de variación
L=Longitud de horquilla (cm)



Factor de Condición (K)

El factor de condición (K) es una variable que evalúa o categoriza el estado de bienestar de los peces, considerando las variaciones en el peso observado, en relación con su longitud, esperado para ese peso y refleja las condiciones nutricionales recientes (Pérez, 2005; Camacho; 2006). Se estimó para sexos combinados a partir de la siguiente ecuación:

$$K = W / L^b$$

K = Factor de condición
W = peso eviscerado

L = longitud de horquilla
b = coeficiente b resultado de la regresión peso-talla

6.4.2 Caracterización morfológica de los otolitos



Estructuras de tamaños y pesos de los otolitos

Se realizaron distribuciones de frecuencias para los tamaños y pesos de los otolitos. Posteriormente se llevaron a cabo regresiones lineales con respecto a los tamaños y pesos de los individuos. Estos cálculos permitieron establecer el grado de correlación para el total de los datos, mensualmente y por localidad. La toma de los pesos de otolitos se realizó en la balanza analítica PRECISA XB220A con precisión 0,0001g, para todas las estaciones de muestreo y en todos los meses, con el fin de obtener la información de la evaluación de las relaciones del otolito con el individuo y de esta forma poder determinar la relación existente entre el tamaño y el peso del ejemplar con la de los otolitos.

Forma y Características Estructurales del Otolito *Asteriscus* en *Pseudoplatystoma magdaleniatum*

Se realizaron descripciones detalladas de las características y estructuras de los otolitos de *P. magdaleniatum*, de acuerdo con la terminología propuesta por Volpedo & Echeverría (2000), Tuset *et al.*, (2008) y Volpedo & Vaz-dos-Santos (2015). Dicha descripción morfológica del otolito del bagre rayado del Magdalena, hasta la fecha no había sido descrita en detalle, por lo que se consideró la literatura de Siluriformes, recomendada y descrita por Martínez y Monasterio de Gonzo (1988), así como Martínez y Monasterio de Gonzo (1991); y extracciones que se puedan hacer en Volpedo y Echeverría, (2000); Martínez-Pérez *et al.*, (2007); Tuset *et al.*, (2008); y Díaz-Murillo, (2010); tales como forma geométrica de la estructura ósea (cuadrangular, ovoide, elíptico, romboidal, circular, trapezoidal y/o triangular), forma de los bordes, del rostro, del Antirrostro y de la excisura; además del tipo de sulcus acústico, ostium y cauda, así como la presencia o ausencia de formaciones y concreciones calcáreas en el margen del otolito (que lo caracterizan como: entero, dentado, irregular, lobulado, sinuoso, aserrado) (Figura 7).

La bibliografía disponible sobre caracterización y descripción de otolitos es por lo general fundamentada en el otolito *Sagittae*, y en el caso del bagre rayado, esta estructura se encuentra poco desarrollada. Por lo que se enfocó la identificación a los rasgos principales de los *Asteriscus* y *Lapillus*; de manera que para establecer semejanzas con otros autores se procedió a inferir partes de esta información, extrapolando esto al espécimen estudiado, aunque autores como Tilak (1963) y Martínez y Gonzo (1991), sirven de referente en el grupo de los Siluriformes. Junto a la descripción realizada se incluyen las imágenes de las caras interna y externa del otolito *Asteriscus* y *Lapillus* del bagre rayado, en aras de representar cada una de las partes y características que identifican un otolito de Siluriforme y de la especie en específico de acuerdo con la terminología propuesta (Figura 7).

El objetivo que se plantea en este estudio es contribuir a la descripción morfológica y del incremento en las estructuras de crecimiento de Siluriformes dulceacuícolas, mediante el estudio de las características anatómicas y estructurales del otolito *Asteriscus* a nivel de especie, *Pseudoplatystoma magdaleniatum*.

Además, para la especie de bagre endémica del río Magdalena, se realizó la definición de la representación morfológica del otolito *Asteriscus* de la especie en mención; utilizando claves como herramienta de identificación. Esto resulta de gran importancia para la diferenciación de especies que comparten su área de distribución, alimentación, migración y reproducción; sin embargo, las claves y catálogos para identificar estructuras oseas como los otolitos en Siluriformes de ríos, suelen ser escasas (Martínez y Monasterio de Gonzo, 1988; Martínez y Monasterio de Gonzo, 1991, Volpedo y Echeverría, 2000; Tuset *et al.*, 2008).

Se extrajeron los otolitos *Asteriscus* de la cápsula ótica del bagre rayado para su observación y medición, dichas estructuras fueron fotografiadas en su cara interna y externa con una cámara digital acoplada a un microscopio estereoscópico. Los *Asteriscus* examinados hacen parte de la colección privada de la fundación Humedales, como subproducto de su macroproyecto: “Estado de conservación de la población del bagre rayado *Pseudoplatystoma*

magdaleniatum en la cuenca Magdalénica, valoración de implicaciones ambientales y socioeconómicas y definición de escenarios de ordenación pesquera y sostenibilidad”.

La nomenclatura usada en para descripción de los otolitos *Asteriscus* del bagre rayado fue la propuesta por Volpedo & Echeverría (2000) y la descrita específicamente para el orden de Siluriformes por Martínez y Monasterio-Gonzo (1991). Para esta definición se consideraron los siguientes caracteres morfológicos: forma general del *Asteriscus*, su forma y su grosor, forma de los lados, la forma de los bordes o margen, presencia y características del rostro, antirrostrum y de la excisura (extensiones del otolito), la topografía de la cara superior o vista ventral: presencia y características del ostium y de la cauda, tipo de terminación de la cauda, descripción del colliculum/collum o cuello, abertura, forma y características del hilus (es el mismo sulcus; pero en Siluriformes se denomina así), presencia/ausencia de canaleta perisulcal (Figura 7).

Las características morfológicas analizadas fueron: forma del otolito, regiones anterior y posterior, márgenes dorsal y ventral, características de la cauda y el ostium, descripción del punto culminante, el punto más elevado del borde dorsal (Mollo, 1981; En: Callicó-Fortunato, 2017), presencia/ausencia canaleta perisulcal.

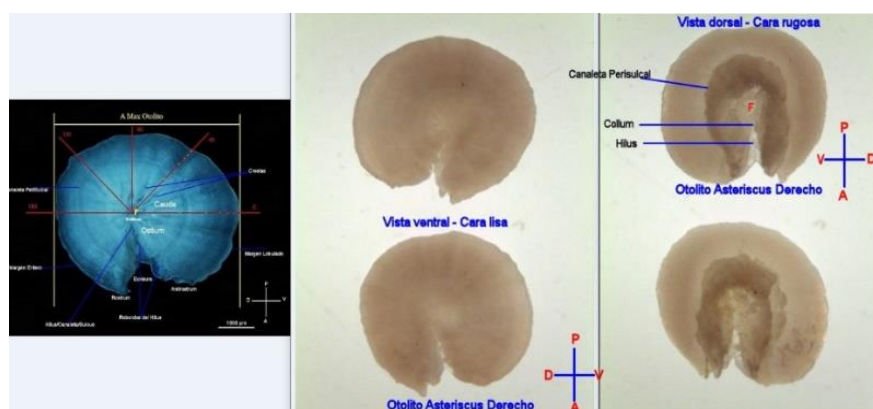


Figura 7. Características morfológicas y caracteres morfométricos de la cara interna del otolito *Asteriscus* derecho de *P. magdaleniatum*; **A_max**: ancho máximo, **L_max**: largo máximo, **Ángulos** 0°, 45°, 90°, 135° y 180° **F**: foco o primordium; el resto de partes del otolito están señaladas y el eje a la derecha inferior de la foto; muestra la posición del otolito **D**: borde dorsal, **V**: borde ventral, **P**: borde posterior, **A**: borde anterior.



Relación tamaño otolito – longitud del Bagre

Para definir el tipo de relación entre los tamaños de los otolitos y la longitud del bagre se probó el siguiente modelo:

LINEAR----- $Cf = a + b$

Cf = Longitud de Horquilla del ejemplar (cm).
 a = constante de regresión (Intercepto).

Rt = Radio total del otolito *Asteriscus* (mm).
 b = constante de regresión (coeficiente de regresión).

El mejor ajuste se define por el que presente *el mejor coeficiente de correlación y determinación*, junto con una distribución de los residuos de los valores predecibles de la variable dependiente.

Luego que se define el mejor modelo de relación, se verifica la existencia de semejanzas entre los sectores estudiados, se compararon sus regresiones para obtener una cohorte de tamaños de peces según su longitud de horquilla. A continuación, las regresiones que representen una baja correlación fueron utilizadas con el peso del otolito que medido con mayor precisión y que presentaron una relación directa con los tamaños de los peces y con los tamaños de otolitos; se definió sus diferencias y semejanzas en las variables del sistema hídrico.

6.4.3 Patrón de marcación de los anillos de crecimiento

Para el análisis de las marcas de crecimiento y el patrón de marcación o de formación de los anillos, se usaron los otolitos *Asteriscus* derechos examinados a través del estereoscopio *NIKKON DS-U2/L2*, las respectivas imágenes fotográficas capturadas a través de la cámara integrada de alta definición con el software *NIS-Elements F 3.2*. La base de imágenes fue digitalizada y procesada por medio del programa *COREL Paint PhotoShop X6* y capturadas en el laboratorio de Acuicultura de la Universidad Surcolombiana. Con el software *UTHSCSA ImageJ Tool Versión 3.00, 5.0.2*, se realizó la demarcación, puntuación o determinación de cada una de las marcas de crecimiento del Bagre Rayado; definiendo un ciclo completo o ciclo anual, o la primera y subsiguientes marcas, cuando se observa una zona opaca y otra hialina en el otolito en observación (Holden y Raitt, 1975). Este programa también colaboro con la medición del largo máximo, ancho máximo y cada uno de los ángulos del otolito *Asteriscus*, hasta definir cuál fue el mejor ángulo para trazar las líneas de marcación de los anillos de crecimiento.

La caracterización del patrón de marcación en los otolitos se realizó por medio de análisis cualitativo y cuantitativo.

Análisis Cualitativo:

Con la información inferida a partir de los estudios previos, se realizó la caracterización de las marcas de crecimiento en el bagre rayado; teniendo en cuenta que para hacer una marcación de un anillo en este espécimen se debieron seguir los criterios tal cual como se plantearon (Alonso, 1998, Pérez, 1999; Vieira, 1999; Oliveira, 1997; Fabré & Saint Paul, 1998; Valeruz-Rêgo *et al.*, 1998, Alonso, 2002).

Los criterios planteados para determinación de edad y crecimiento para *Pseudoplatystoma magdaleniatum* fueron considerados así:

- i) La nitidez (buena, regular o mala).
- ii) Tipo de marca (simple, doble o bifurcada).
- iii) Patrón de espaciamiento entre marcas o proximidad entre marcas hialinas según el patrón esperado de crecimiento (ocurre en el bagre para las marcas finales).

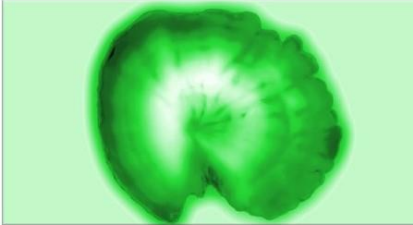
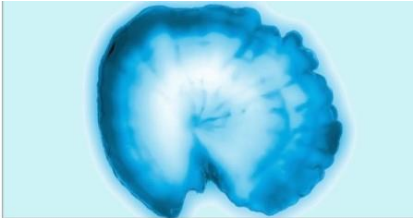
Se calculó su distribución de frecuencia para los criterios que aplicara.

Por lo tanto, los anillos con nitidez buena, con tipo de marca simple y que cumplieran con el patrón de espaciamiento entre las marcas; verificaron el criterio propuesto y esto se explica mediante el proceso de aclaración de los otolitos; así como dependiendo de la configuración calcárea o la cantidad de acumulación de calcio que presente dicho otolito.

Análisis Cuantitativo:

Se definió como el mejor ángulo de medición para los anillos de crecimiento de los otolitos *Asteriscus* del bagre luego de obtener la relación de los ángulos 0° , 45° , 90° , 135° y 180° y la longitud de horquilla del ejemplar, calculando su coeficiente de correlación (r) y la distribución de los residuos. De esta forma el ángulo con la mejor correlación y una buena nitidez fue el de 45° a través del cual se realizaron las mediciones pertinentes y las debidas marcaciones. Definido entonces el mejor enfoque, se tomaron los cálculos entre el punto inicial y cada una de las marcas hialinas para verificar el patrón de distribución de las marcas en los *Asteriscus*. Se realizaron las distribuciones de frecuencias del tamaño de las marcas, de la nitidez, tipo de marcas, la relación en el tamaño entre las marcas y numero de marcas determinadas; así como la relación entre el tamaño del ejemplar y las marcas determinadas para el bagre; identificando los valores de moda, la sobreexposición de las distribuciones y el espacio entre las modas. A la relación entre el número de marcas y la longitud horquilla del bagre rayado se le realizó un análisis exploratorio de los datos mediante su media, moda, desviación estándar y coeficiente de variación (Zar, 1999).

Se realizó un gráfico de constancia indicando la consistencia en la posición de los anillos o confirmando su posición; con sus radios individuales de marcas de crecimiento (R_n); con relación a las diferentes longitudes horquilla del bagre (L_h en mm) (Figura 25).



10/17/2017

7. RESULTADOS

7.1 Caracterización morfométrica de los peces muestreados.

7.1.1. Distribución espacial y temporal de frecuencias de tallas

Los 1905 bagres capturados y medidos a lo largo de toda la cuenca del río Magdalena, entre abril 2012 a marzo 2013, presentaron una talla promedio de $67,5\text{cm} \pm 14,5\text{cm}$. El mayor número de peces (294) se encuentran en las tallas de 61 a 64cm; entre los 57 a 60cm se halló el otro grueso de la población muestreada (292); entre los 65 a 68cm, el rango de talla donde está el tamaño promedio de los bagres del Magdalena (valor promedio de este muestreo), se hallaron 195 especímenes y en la cola de la distribución de frecuencia; los rangos más representativos para peces de grandes tallas (entre 93 a 96cm, 47 peces; entre 97 a 100cm, 38 peces) (ver Tabla 5, Figura 8. 1a).

Para la localidad de Neiva la talla más frecuente (con 17 ejemplares medidos) fue la que estaba entre el rango de 61 a 64cm. Se les midió la longitud horquilla a 97 bagres, obteniendo un promedio de $65\text{cm} \pm 11\text{cm}$, en este sector se tuvo dificultades para tener continuidad en los meses de muestreo, debido a que es una zona con baja producción bagrera lo que dificulta la captura de ejemplares; por lo que el muestreo inicio en mayo 2012 y termino en marzo del 2013 (en diciembre 2012, no se contó con pesca). (ver Tabla 5, Figura 8. 1b).

En Dorada, el tamaño promedio fue de $66\text{cm} \pm 12\text{cm}$ precisado para 409 los Silúridos estudiados en un año exacto, pues fue de marzo a marzo entre los años del 2012 al 2013. De esta forma, en el histograma presentado en la Figura 9. 1c.; la longitud horquilla más frecuente, estuvo en el rango de 57 – 60cm (frecuencia=88) y el tamaño menos recurrente se encontró en peces pequeños (45 – 48cm, 3 bagres); al igual que en peces grandes, fueron muy bajas las capturas de estas tallas (105 -108 cm, frec= 3; 109 – 112cm, frec= 3) para el ultimo intervalo de talla de los peces más grandes en Dorada, acá se encontró *el bagre más grande de toda la cuenca del Magdalena* fue capturado en este sector y midió 112cm.

Los 357 bagres rayados muestreados en Barrancabermeja presentaron $71\text{cm} \pm 15\text{cm}$ de longitud horquilla como talla promedio; este valor es superior a los valores obtenidos para toda la cuenca y para las demás localidades, sin embargo, su desviación estándar también es bastante superior (ver Tabla 5). El intervalo de tallas con las mayores frecuencias (55) se halló entre los 61 a 64 cm, coincide y es similar al valor promedio calculado para toda la cuenca. El rango menos frecuente, un solo bagre, está entre las tallas de 41 - 44cm y el bagre más grande de barranca (rango 109 – 112cm; pescado de 111cm). Barrancabermeja es un puerto que tuvo un gran esfuerzo pesquero y vale la pena resaltar algunas particularidades: los especímenes de tallas medianas estuvieron bien representados (69 – 72cm; 73 – 76cm con 36 y 30 bagres) y otro detalle a resaltar es que la frecuencia de peces disminuyo entre los 89 – 92cm (frec=8) y luego empieza a ascender paulatinamente (frec=17), en los peces de tamaños grandes. Este cambio o descenso en las capturas, reflejadas en las cohortes de tamaño de los bagres, permite evidenciar algunos de los problemas causados por la reducción en el tamaño poblacional causados por la sobrepesca en el tamaño de los individuos o bagres de barranca; estos cambios también se reflejan en las distribuciones de frecuencia de Dorada y la cuenca Total (ver Tabla 5, Figura 8. 1d).

La evaluación de los datos en Magangué (n=356) permitió visualizar al bagre de menor talla (33,2cm), capturado en estas proximidades del Bajo Magdalena y dando indicios de pertenecer a la cohorte más joven de toda la población estudiada. El mayor número de ejemplares (frec=74) que fue verificado durante los monitoreos de Magangué, desarrollaron tallas en el intervalo entre 53 – 56cm, confirmando que en esta zona fueron comunes las capturas de bagres de tallas pequeñas. Para lo cual, se establece el tamaño promedio de los bagres de la zona cenagosa del Bajo Magdalena en 59cm $\pm$ 11cm (n=356 ejemplares medidos), siendo el bagre más pequeño el de 33,2cm y el más grande de 104,3cm; el dato que más común 52,2 cm (es una población joven) (ver Tabla 5, Figura 8. 1e).

Tabla 5. Resultados de los principales estadísticos del tamaño (longitud horquilla, cm) para los especímenes de bagre rayado muestreados durante abril del 2012 a marzo del 2013 en los cuatro principales puertos pesqueros del Río Magdalena; n= tamaño de la muestra; $\bar{X}$ = promedio; s= desviación estándar. En la segunda columna se exponen los mismos estadísticos desarrollados para el tamaño de los otolitos *Asteriscus* (ancho máximo, mm).

Localidad	n		$\bar{X}$		s		Tiempo monitoreo
Total, Cuenca Magdalena	1905	132*	67,5	4,12	14,5	0,68	abril 2012 – marzo 2013
Neiva	97	21	65	3,39	10,9	0,40	mayo 2012– marzo 2013
Dorada	409	16	66,17	3,45	12,2	0,23	marzo 2012 – marzo 2013
Barrancabermeja	357	75	71,3	4,39	14,8	0,72	abril 2012 – marzo 2013
Magangué	356	20	59,3	3,76	11,2	0,40	abril 2012 – marzo 2013

*la Submuestra de otolitos aclarados (90), algunos partidos o no entraron en el conteo por presentar gran contenido de CaCO_3 y no permitir una apropiada visualización de anillos y posterior marcación de estos. Para medición de A_{max} se usó el n muestral expuesto.

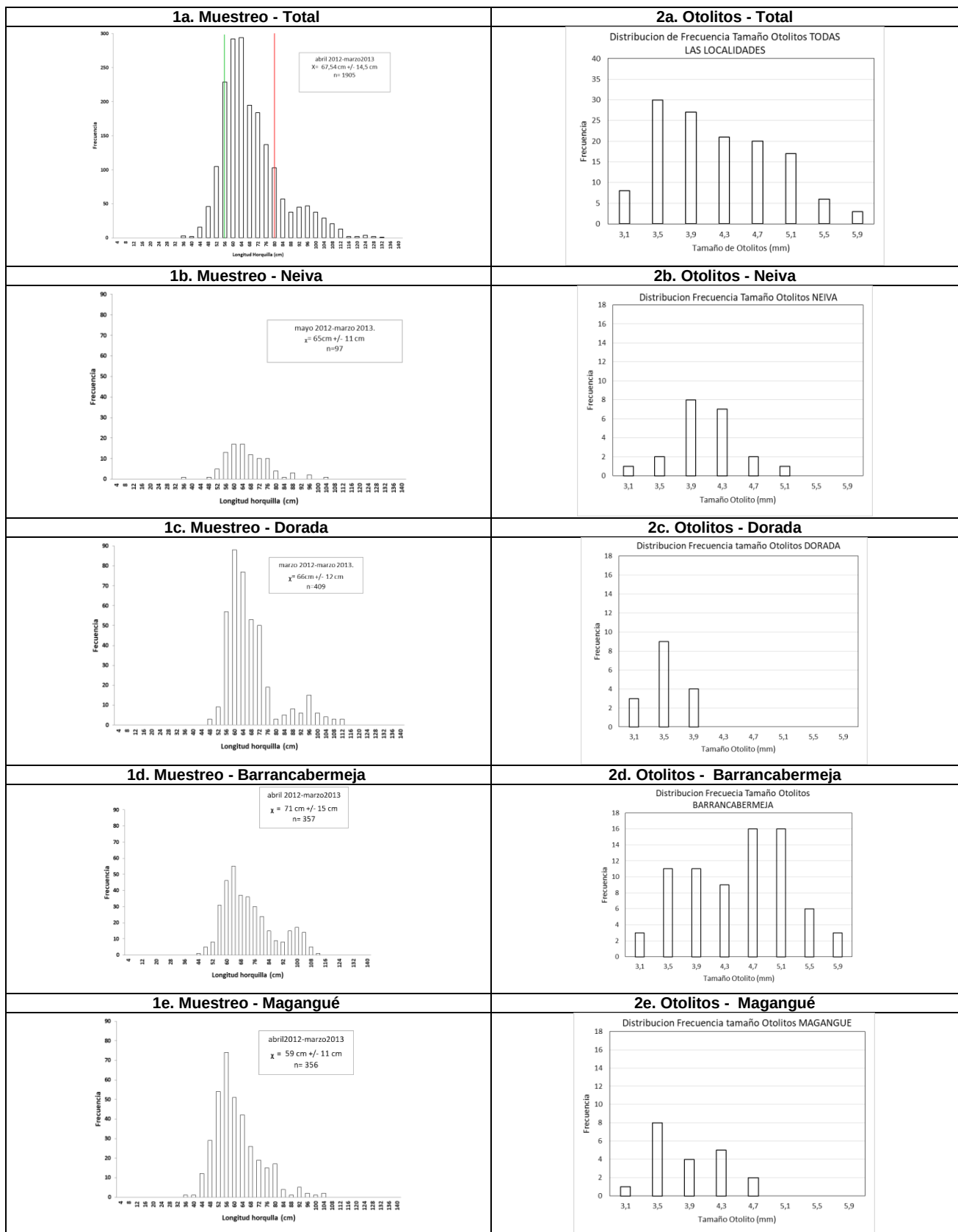


Figura 8. Distribuciones de frecuencia de talla del Bagre (Longitud Horquilla en centímetros): 1. Ejemplares muestreados entre abril del 2012 a marzo del 2013 en los principales puertos pesqueros del río Magdalena (1a. Total, 1b. Neiva, 1c. La Dorada, 1d. Barrancabermeja, 1e. Magangué); 2. Submuestra para muestras de otolitos (2a. Total, 2b. Neiva, 2c. La Dorada, 2d. Barrancabermeja, 2e. Magangué).

7.1.2 Distribución espacio/temporal de la frecuencia del Peso & Relación Talla/Peso:

La evaluación del peso del bagre rayado a lo largo de la cuenca del Magdalena se realizó sobre un total de 1055 peces, las diferencias en el número de muestra entre talla y peso son debidas que algunos peces no pudieron ser pesados por parte de los pescadores bagreros, así como por el personal técnico que asistió en algunas faenas pesqueras. El peso promedio de un *P. magdaleniatum* es $3092g \pm 2678g$. Para el total de la cuenca, el peso que más se capturo entre los bagreros y los técnicos asistentes durante el tiempo de este proyecto, fueron los pescados entre los 1501g -3000g (frec=465); casi la mitad de los bagres. El otro gran volumen de peces (frec=265) está representado en el intervalo de peso entre los 0g – 1500g; de esta manera, los bagres entre los 0g – 3000g alcanzaron un 68,2% del volumen total capturado, tal como se mencionó más de la mitad de la población muestreada. El restante 31,8% (frec=336), pertenecen a especímenes que superan los 4500g. Esto permitirá reconocer, teniendo en cuenta que es la magnitud del peso, al pescador; en algunas de sus estrategias de captura por el producto que vende, el cual podría tender a orientarse por capturar bagres en su mayoría de pesos medianos (el peso más común, moda=3000g) (ver Tabla 6. y Figura 9. 1a.).

Las localidades de Neiva (Frec=31, n=73), Dorada (Frec=157, n=272) y Barrancabermeja (Frec=144, n=354) presentan grandes similitudes con el patrón de captura descrito para la magnitud del peso, lo que cual quiere decir que los pesos más frecuentes se encontraron entre los 1501g – 3000g (ver Tabla 6. y Figura 9. 1b.c.d).

En la cuenca alta del Rio Magdalena, en Neiva, donde se considera que el bagre asciende a alimentarse; se pesaron 73 individuos y la regresión entre la talla y el peso fue menor a 0,95 ($r^2=0,9172$). Se considera una buena correlación entre el peso y el tamaño de los peces, por lo que se debe usar el coeficiente de regresión ($b=3,8$), el cual indica el tipo de crecimiento que presenta es Alométrico positivo; coincidente con peces que se están alimentando y acumulando grasa (ver Tabla 7. y Figura 9. 2b.).

Los peces capturados y pesados de la localidad de Dorada (n=266), la relación talla – peso fue la más baja, menor a 0,90 ($r^2=0,8805$). El coeficiente de correlación (b) para estas dos variables fue de 3,16; indicando un tipo de crecimiento alométrico positivo (ver Tabla 7. y Figura 9. 2c.).

En el ascenso a través de la cuenca a lo largo de los meses del monitoreo (abril 2012 – marzo 2013), llegando al Magdalena Medio; en Barrancabermeja, se evaluaron 354 bagres y el análisis de la regresión entre su talla y su peso fue de los altos ($r^2=0,9486$). El tipo de crecimiento que revelo el valor calculado mediante el coeficiente de correlación ($b=3,35$), es el de un organismo con desarrollo alométrico positivo (ver Tabla 7. y Figura 9. 2d.).

Para los bagres de Magangué el esquema de distribución refleja que los pesos que más se encontraron para esta localidad están entre los 0g – 1500g (Frec=168, n=356); observando los datos de esta zona, el promedio del peso de peces es de $2025g \pm 1590g$ y los ejemplares

mayormente capturados están en pesos de 1054g; esta información para el Bajo Magdalena diferente a los otros sectores tanto en talla como se mencionó previamente y ahora en pesos, confirma que se estaría hablando de pescados de una cohorte joven, dado su menor talla y peso (ver Tabla 6. y Figura 10. 1e.). Para los especímenes examinados en el Bajo Magdalena, en el sector de Magangué (n=356), en el cálculo de su regresión, se alcanzó la más alta correlación ($r^2=0,9523$); con respecto a los otros sectores muestreados y a la totalidad de los datos. El coeficiente de correlación entre la Lh y su peso fue de 3,32, de modo que es posible afirmar que su crecimiento es de tipo alométrico positivo (ver Tabla 7. y Figura 9. 2e.).

Del total de los bagres del Magdalena pesados disponibles en la base de datos (n=1048), se obtuvo la relación talla – peso, con una alta correlación y un tipo de crecimiento alométrico positivo ($r^2=0,9314$ y $b=3,36$) (ver Tabla 7. y Figura 9. 2a.)

Tabla 6. Resultados de los principales estadísticos para el peso total (g) para ejemplares de bagre rayado ponderados durante abril del 2012 a marzo del 2013 en los cuatro principales puertos pesqueros del Río Magdalena; n= tamaño de la muestra; Min= mínimo; Max= máximo; Mo= moda $\bar{X}$ = promedio; s= desviación estándar.

Localidad	n	Min	Max	Mo	$\bar{X}$	s
Total, Cuenca Magdalena	1055	58	19500	3000	3092	2678
Neiva	73	1047	14189	1458	3206	2365
Dorada	272	58	18400	1750	3163	2602
Barrancabermeja	354	630	19500	1700	4086	3209
Magangué	356	239	12600	1054	2025	1590

Tabla 7. Resultados de la regresión entre el Peso total (g) – Longitud horquilla (cm), para los especímenes de *Pseudoplatystoma magdaleniatum* muestreados durante abril del 2012 a marzo del 2013 en los cuatro principales puertos pesqueros del Río Magdalena; n= tamaño de la muestra; b= coeficiente de la regresión; r= coeficiente de correlación.

Localidad	n	b	r	Tipo de crecimiento
Total, Cuenca Magdalena	1048	3,36	0,9314	A+ (alométrico positivo)
Neiva	73	3,80	0,9172	A+
Dorada	266	3,16	0,8805	A+
Barrancabermeja	354	3,35	0,9486	A+
Magangué	356	3,32	0,9523	A+

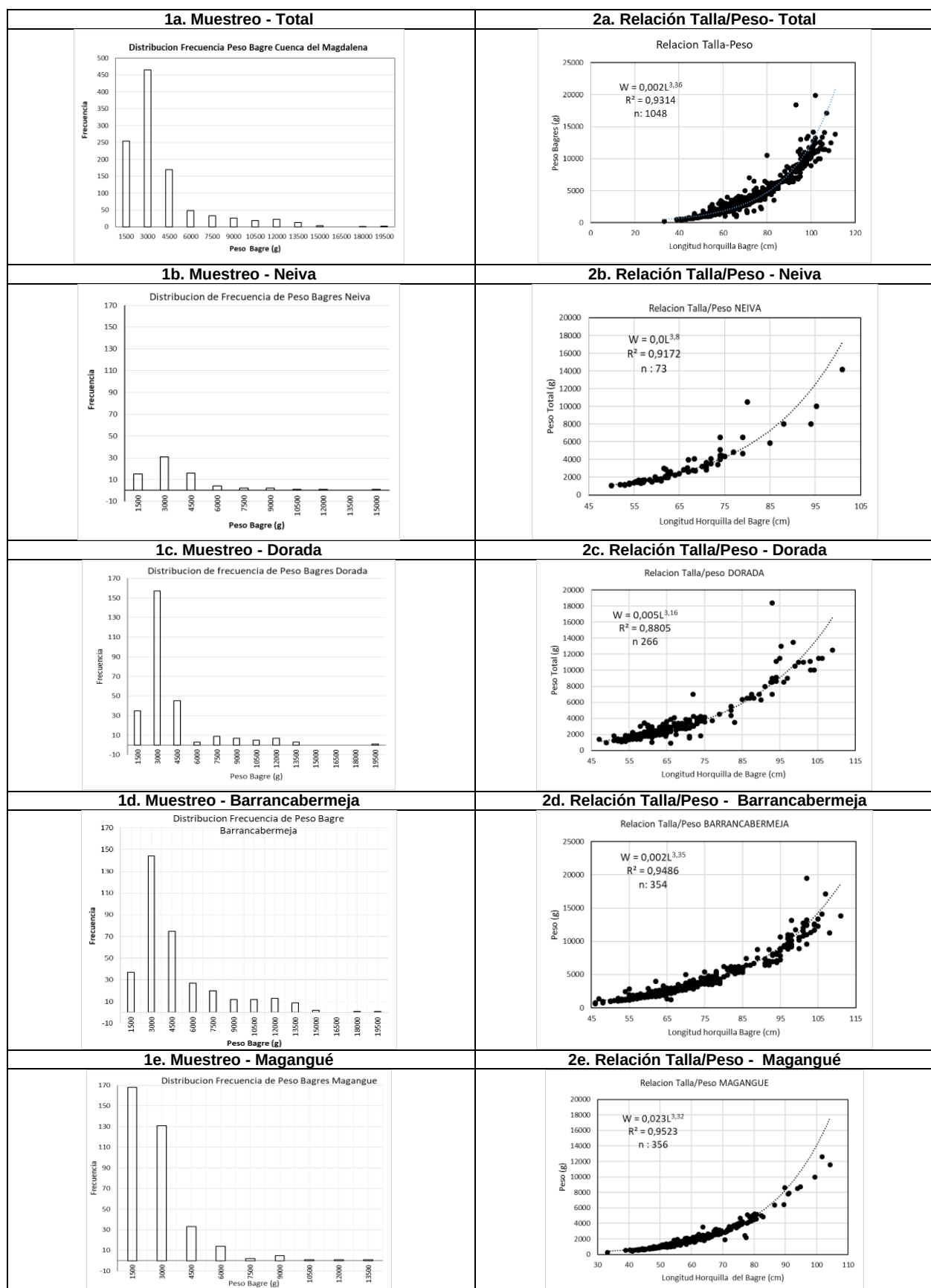


Figura 9. Distribuciones de frecuencia de los pesos del Bagre Rayado (peso total en gramos): 1. Ejemplares muestreados entre abril del 2012 a marzo del 2013 a lo largo en los principales puertos pesqueros en la cuenca del río Magdalena (1a. Total, 1b. Neiva, 1c. La Dorada, 1d. Barrancabermeja, 1e. Magangué); 2. Relación Talla/Peso (2a. Total, 2b. Neiva, 2c. La Dorada, 2d. Barrancabermeja, 2e. Magangué).

7.1.3 Factor de Condición (K)

La figura 10, muestra el comportamiento del índice K o factor de condición de los bagres rayados a lo largo de todo el monitoreo, está calculado mes a mes para cada uno de los puestos pesqueros. Es importante tener en cuenta, que en estas variaciones se debe tener presente no solo el área en la que se encuentran los ejemplares sino el tamaño muestral.

De esta forma, Neiva tuvo los mayores K (Oct2012=2,78, Nov2012=2,46 y Ene2013=2,37); de igual manera tuvo meses en que su factor de condición arrojó valores de 0 puesto que no había datos disponibles, debido a que es una zona con baja producción bagrera lo que dificulta la captura de ejemplares. Por lo que el factor del tamaño muestral acá es preponderante para tener en cuenta (Figura 10).

Se destacan los altos valores obtenidos en la localidad de Barrancabermeja, (May2012=2,32 y Sep2012=2,43), en este sector el esfuerzo pesquero fue superior (Figura 10). Los mayores índices obtenidos tanto en Neiva, como en Barrancabermeja; el primero en el mes de octubre y noviembre; y los del Magdalena Medio en mayo, parecen coincidir con los meses de subienda donde el bagre asciende en búsqueda de alimentación en su etapa pre-reproductiva.

Los menores índices de condición fueron desarrollados por bagres de Magangué, (Abr2012=0,76, Jun2012=0,86), se resalta que tal como se observó en las tallas y pesos de los ejemplares de esta zona, pescados de tallas bajas y de pesos bajos, es coincidente encontrar índices K con magnitudes menores (Figura 10).

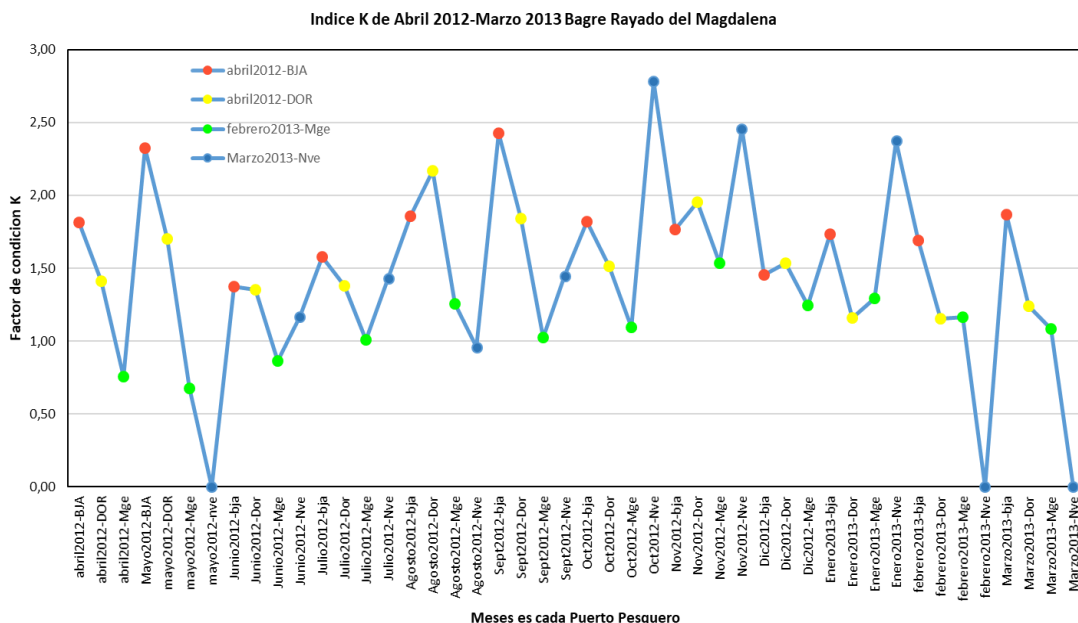


Figura 10. Gráfico de que muestra la oscilación mensual del índice K o factor de condición; muestra el mes, para cada año y las localidades en los puestos pesqueros del Rio Magdalena.

7.2 Caracterización morfológica de los otolitos

7.2.1 Estructuras de tamaños y pesos de los otolitos

La exploración a través del peso de los otolitos *Asteriscus* en la cuenca del Magdalena, así como los demás puertos, permite reconocer que dicha estructura ósea en cuanto a peso se refiere no se diferencia significativamente y por lo general presenta pesos muy cercanos en sus promedios (pesos entre 0,010g – 0,018g), los datos más frecuentes ($M_o = 0,007g - 0,011g$) también los demuestran así. Y esto se vincula de manera natural con la anatomía del pez y su estructura pues esta no crece a grandes dimensiones en peso sino en más talla (ancho o largo) (ver Tabla 8). La descripción para distribución de frecuencias del peso de los otolitos del bagre en la totalidad de la cuenca ($n=127$ *Asteriscus*), evidencio que el peso más frecuente fue en los rangos 0,010g – 0,013g ($fre=34$), así como los que pesaron 0,006g – 0,009g ($fre=27$); es decir, el otolito de *Pseudoplatystoma magdaleniatum* es de bajo peso ($\bar{X}=0,015 \pm 0,007g$), esto en relación con el máximo peso encontrado para toda la población de otolitos examinados (0,04g) (ver Tabla 8. Figura 11. 2a.).

Nuevamente, vale la pena destacar las particularidades de las características de los ejemplares de Magangué; hecho que demuestra el promedio del peso de sus otolitos, el cual fue el más bajo de todo el Magdalena ($0,011g \pm 0,003g$) y el valor máximo calculado del peso para esta misma estructura, el cual tan solo superó por 0,002g al valor promedio general en la cuenca ($Max_{Magangué}=0,017 \pm 0,007g$). Es decir, que Magangué, presenta los otolitos de menos peso, al igual que los de menor talla (A_max). La mayor frecuencia de *Asteriscus* se encontró en el rango de los pesos más bajos, 0,006g – 0,009g ($fre=9$, $n=20$) (ver Tabla 8. Figura 11. 2e.).

En las medidas realizadas a los otolitos del Magdalena, el tamaño de ancho máximo más frecuente (3,2 – 3,5mm) y su promedio de longitud máxima fue de $4,12 \pm 0,68mm$ coincide con el segundo rango de tamaño más usual (58 a 67cm, en este grafico los rangos de talla para los peces están más amplios) (ver Tabla 5, Figura 8 y 11. 2a).

La distribución de tallas de los *Asteriscus* de Neiva, mostraron los anchos máximos más repetidos entre en el rango 3,6 y 3,9mm (correspondiente a ocho otolitos de peces entre 61,6 a 68,5cm); esto es coherente con el tamaño promedio encontrado para los bagres medidos con el sistema tradicional. De igual manera, el otolito promedio de los *P. magdaleniatum* de la cuenca alta; tienen una talla promedio de $3,99mm \pm 0,40mm$, casi 4mm reportado en los 21 otolitos *Asteriscus* derechos (21 bagres) (ver Tabla 5, Figura 8 y 11. 2b).

Los análisis del ancho máximo de los otolitos en Dorada evidencian que la talla más frecuente esta entre 3,2 – 3,5mm ($frec= 9$), los cuales se examinaron en peces entre los 51 – 65cm. Por otro lado, el ancho promedio de otolitos en este sector arroja un valor de $3,45mm \pm 0,23mm$ ($n=16$ otolitos) (ver Tabla 5, Figura 8 y 11. 2c).

La serie de otolitos evaluados en Barrancabermeja mostro a través del gráfico de distribución de frecuencias, que el rango de ancho máximo más recurrente esta entre 4,4 – 4,7mm; dicho intervalo es correspondiente con bagres ($frec=16$) de tamaños superiores (77 – 97cm) a

descritos en las anteriores localidades; dado que Barranca presenta bagres en promedio mucho más grandes. Así, el tamaño promedio de los *Asteriscus* de Barrancabermeja o su ancho máximo promedio fue de 4,39mm $\pm$ 0,72mm (n=72 otolitos derechos), se puede observar que esta desviación estándar está mucho más alta que todas las calculadas en los demás puertos pesqueros (ver Tabla 5, Figura 8 y 11. 2d).

En Magangué la talla media (A_max) a la cual se capturo, observó y examino los otolitos *Asteriscus* derechos del bagre rayado del Magdalena fue de 3,76mm $\pm$ 0,40mm (n=20 otolitos). El rango para el ancho máximo que se presentó con mayor frecuencia en los otolitos de Magangué, está entre los 3,2 – 3,5mm; lo cual es correspondiente y coincidente con peces de longitudes horquilla entre los 51 – 60cm, esto confirmaría lo expuesto mediante la información de las medidas del morfológicas las cuales son similares a lo encontrado en la información que se refleja internamente en la morfometría del otolito; estos anchos máximos coinciden con peces de tallas pequeñas o de poblaciones juveniles como lo establecimos con anterioridad (ver Tabla 5, Figura 8 y 11. 2e).

Tabla 8. Resultados de los principales estadísticos para el peso total (g) de los otolitos *Asteriscus* del bagre rayado ponderados durante abril del 2012 a marzo del 2013 en los cuatro principales puertos pesqueros del Rio Magdalena; n= tamaño de la muestra; Min= mínimo; Max= máximo; Mo= moda $\bar{X}$ = promedio; s= desviación estándar.

Localidad	n	Min	Max	Mo	$\bar{X}$	s
Total, Cuenca Magdalena	127	0,006	0,036	0,011	0,015	0,007
Neiva	17	0,007	0,025	0,010	0,015	0,005
Dorada	16	0,007	0,014	0,009	0,010	0,002
Barrancabermeja	74	0,006	0,036	0,009	0,018	0,008
Magangué	20	0,007	0,017	0,007	0,011	0,003

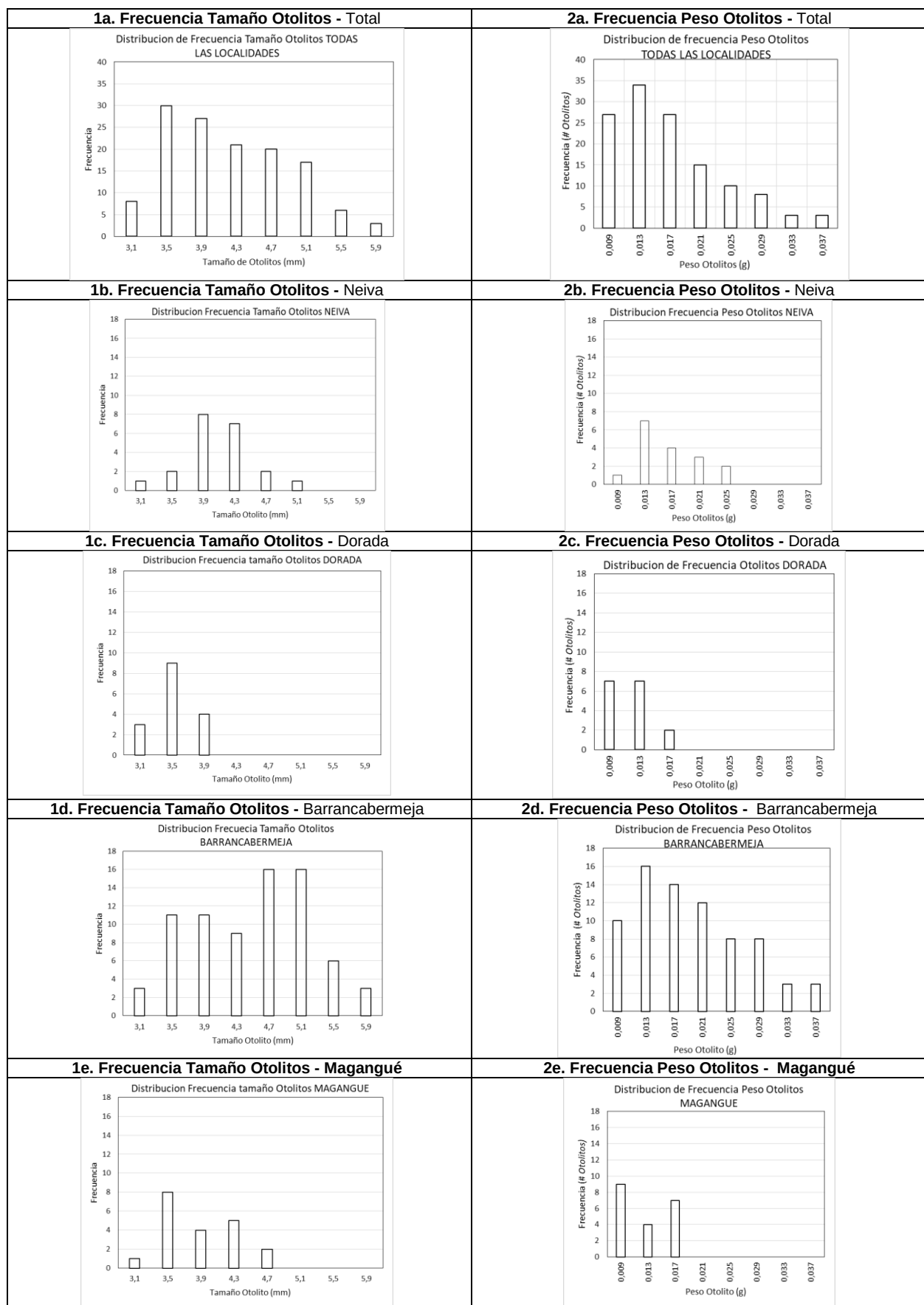


Figura 11. Distribuciones de frecuencia de tamaño de los otolitos *Asteriscus* del bagre rayado (ancho máximo en milímetros): **1.** Submuestra de 90 otolitos entre abril del 2012 a marzo del 2013 en los principales puertos pesqueros del río Magdalena (**1a.** Total, **1b.** Neiva, **1c.** La Dorada, **1d.** Barrancabermeja, **1e.** Magangué); **2.** Distribuciones de frecuencia para el peso de los otolitos (**2a.** Total, **2b.** Neiva, **2c.** La Dorada, **2d.** Barrancabermeja, **2e.** Magangué).

7.2.2 Forma y Características Estructurales del Otolito *Asteriscus* en *Pseudoplatystoma magdaleniatum*

El otolito *Asteriscus* del bagre rayado del Magdalena es una estructura calcárea, que antes y después de la aclaración presenta una *naturaleza traslúcida*, particularmente hacia el margen del otolito; por lo que hay que tener especial cuidado con los protocolos de aclaración que se apliquen para visualizar los anillos concéntricos y de esta forma evitar que se pierda tejido calcáreo en este proceso (Figura 12).

Su forma es *piriforme, ovalada y discoidal*, pues varios especímenes de la cuenca muestran un crecimiento mayor del otolito hacia el *borde ventral* del mismo, por lo que se amplía la zona de la *Cauda* y el *antirrostrum* es corto, pero se ve aparentemente más expandido hacia lo ancho. Entonces en los *Asteriscus* del bagre rayado, no se podría decir que su *borde dorsal* y *borde ventral* sean simétricos. Presenta bordes en el margen del otolito, que varían entre *ondulados* y *lisos* en casi todos los otolitos, solo en el 10% o menos de los ejemplares examinados presentaron *bordes dentados* (Tuset, 2000, Mascareñas *et al.*, 2003; Tuset *et al.*, 2008; Mier-Uco, 2011) (Figura 12).

El *borde anterior* de sus *Asteriscus* es bastante característico y estilizado por un *rostrum* muy afinado y puntiagudo; en algunos ejemplares dicho rostro se proyectaba como una doble elongación, pareciese que fuera un rostro grande y otro más pequeño (este NO se considera como *Pseudorrostrum*, pues este es el que está orientado en el borde contrario, es decir, en el borde posterior; esta no es la situación). Por otro lado, el *antirrostrum* se evidencio de manera menos pronunciada, con los característicos *rebordes del Hilus* dispuestos sinuosamente y en varios ejemplares era muy amplio extendiéndose a lo ancho, desde el ángulo de la *excisura* hacia el *borde ventral*. Siempre entre el *rostrum* y el *antirrostrum* existe la división por parte del ángulo que se genera, en forma de la llamada *excisura* del otolito (Martinez y Monasterio de Gonzo, 1991; Tuset, 2000, Mascareñas *et al.*, 2003; Tuset *et al.*, 2008; Mier-Uco, 2011) (Figura 12 y 13).

El *Hilus*, como accidente característico de los *Asteriscus* y análogo al *Sulcus*; se encuentra en posición *medial o central* en el 50% de los otolitos que se categorizaron en la cohorte de tallas pequeñas (46-69cm, n=30), el otro 50% de los *Asteriscus* pequeños presentaron su *Hilus desplazado* hacia su *borde dorsal*. En los otolitos de categoría II (70-90cm, n=34) el patrón de crecimiento muestra un cambio, el cual es evidente en los *Hilus*, en el 76,5% de los especímenes observados se haya *desplazado* al *borde dorsal* y solo el 23,5% tiene su *Hilus centrado*. En bagres grandes (91-112cm, n=26), el 88,5% presenta esta conspicua estructura *desplazada al borde dorsal* y el 11,5% lo tiene *centrado*. Si observamos todas las cohortes unidas (n=90), el 71% de los otolitos tiene su *Hilus desplazado* y el 29% *centrado*. Es importante ver cómo cambia su configuración según el tamaño del pez y en relación con el tamaño del otolito; siendo más profundo y obtuso al aumentar la talla, puede ser un indicador para los parámetros de crecimiento del bagre según su historia de vida. Al *Hilus* lo conforman a su vez el *Ostium* y la *Cauda*, de aproximadamente longitudes similares, siendo la *Cauda* una zona redondeada y dirigida hacia el *borde ventral* (Martinez y Monasterio de Gonzo, 1991; Tuset, 2000, Mascareñas *et al.*, 2003; Tuset *et al.*, 2008; Mier-Uco, 2011) (Figura 12 y 13).

Entre el *Hilus* y la *canaleta Perisulcal*, evidentemente translúcida, visible en todos los otolitos desde el *rostrum* hasta el *antirrostrum*, de cierto ancho (mayor que el de los anillos o marcas concéntricas de crecimiento) y poco profunda; tiene el destacado *reborde del Hilus* o *crestas*, opaco y liso. Los *bordes* o *crestas* exteriores a la *canaleta Perisulcal* son los que presentan los numerosos *anillos concéntricos* y de contornos levemente ondulados, siendo la región más brillante del *Asteriscus* del bagre rayado (Martínez y Monasterio de Gonzo, 1991; Tuset, 2000, Mascareñas et al., 2003; Tuset et al., 2008; Mier-Uco, 2011) (Figura 12 y 13).

El *perfil del otolito* se considera *plano-convexo* (una cara convexa o rugosa y otra cara lisa o sin accidentes de CaCO_3). En dicha cara plana, lisa o sin accidentes de CaCO_3 , algunos autores la denominan cara inferior y es la que destaca porque posibilita una excelente visualización de los *anillos concéntricos de crecimiento* presentes a partir de la *canaleta Perisulcal* (Martínez y Monasterio de Gonzo, 1991; Tuset, 2000, Mascareñas et al., 2003; Tuset et al., 2008; Mier-Uco, 2011) (Figura 12 y 13).

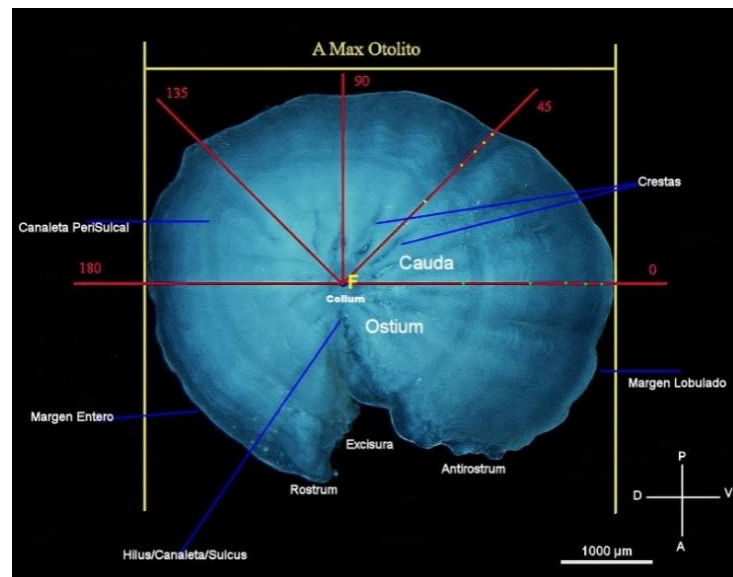


Figura 12. Características morfológicas y caracteres morfométricos de la cara interna del otolito *Asteriscus* derecho de *P. magdaleniatum*; A_max: ancho máximo, L_max: largo máximo, Ángulos 0°, 45°, 90°, 135° y 180° F: foco o primordium; el resto de partes del otolito están señaladas y el eje a la derecha inferior de la foto; muestra la posición del otolito D: borde dorsal, V: borde ventral, P: borde posterior, A: borde anterior.

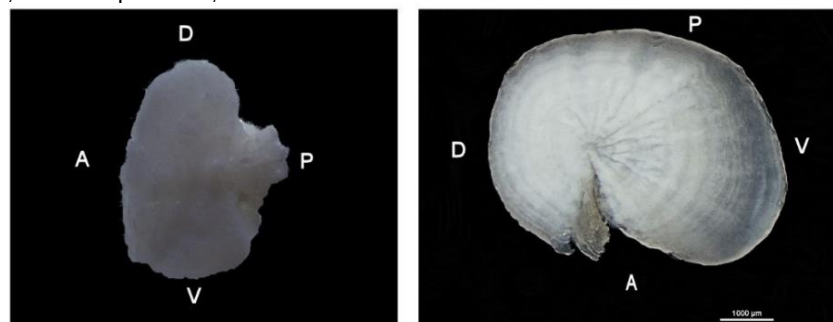


Figura 13. Fotografía de los otolitos *Lapillus* y *Asteriscus* que muestra la posición sus márgenes o bordes externos: D: borde dorsal, V: borde ventral, P: borde posterior, A: borde anterior.

Los caracteres morfológicos del otolito *Asteriscus* de *P. magdaleniatum* permitieron la separación de tres grupos: Categoría (I) Rango de tallas PEQUEÑOS → Lh (46-69cm) (n = 30): *Asteriscus* con forma redondeada e Hilus centrado; Categoría (II) Rango de tallas MEDIANOS → Lh (70-90cm) (n = 34): *Asteriscus* con forma oblonga y la región anterior un

poco más afinada, Hilus desplazado a región dorsal; y Categoría (III) Rango de tallas GRANDES → Lh (91-112cm) (n = 26): *Asteriscus* con forma oblonga, región anterior del rostrum bien conspicuo y puntiagudos en la mayoría de los otolitos de los bagres a irregular, y margen dorsal con mayor altura en la parte anterior, es decir Hilus desplazado al borde dorsal (Figura 14, ver Tabla 1 de ANEXOS).

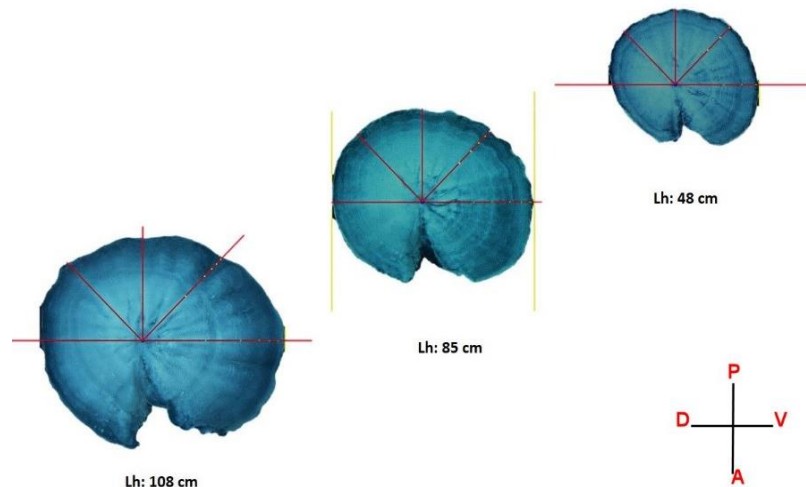


Figura 14. Grupos morfológicos identificados y divididos en las tres categorías (I, II y III) para el otolito *Asteriscus* de *Pseudoplatystoma magdaleniatum*.

Tabla 9. Ficha descriptiva y resumen de morfometría de los otolitos del Bagre Rayado del Magdalena, incluye material fotográfico de las especies con su talla promedio por lo localidad, muestra la morfología y morfometría de sus otolitos *Asteriscus* por sector, además se ilustra su distribución a lo largo de la cuenca y la vista de la cara rugosa del otolito.

Total Bagre (67cm)	Neiva Bagre (65cm)	Dorada Bagre (66cm)	Barrancabermeja Bagre (71cm)	Magangué Bagre (59cm)
Otolito vista ventral (v.v.) En de Bagre (67cm)	Otolito v.v. En de Bagre (65cm)	Otolito v.v. En de Bagre (66cm)	Otolito v.v. En de Bagre (71cm)	Otolito v.v. En de Bagre (59cm)
Distribucion Total	Distribucion Neiva	Distribucion Dorada	Distribucion Barranca	DistribucionMagangue
Vista Dorsal Otolito <i>Asteriscus Pseudoplatystoma magdaneniatum</i>				



Mediciones morfométricas del otolito -Definición de medición de la longitud total, Ancho máximo y Largo máximo de otolito *Asteriscus*-

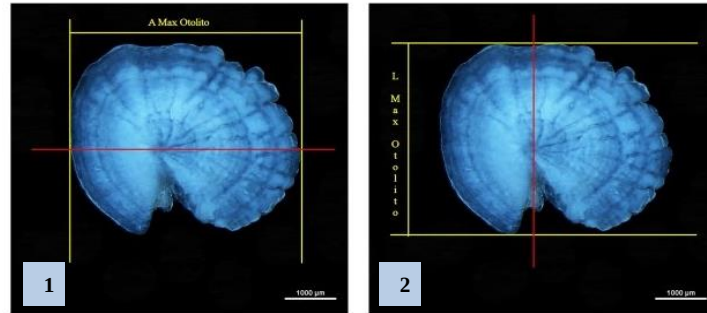


Figura 15. Fotografías de dos otolitos *Asteriscus* derechos, de *P. magdaleniatum* con las marcas o líneas del ancho máximo (1.) y largo máximo (2.), así como la línea roja trazada a través del foco, luego muestra las sucesivas zonas translúcidas (ZT) y zonas opacas (ZO).

Para la medición de la longitud total de los otolitos se editaron todas las imágenes ($n = 316$ otolitos), de los *Asteriscus* derechos con ayuda del programa Corel PaintShop Pro-X6, primero se estableció un protocolo de edición de las fotografías (ver sección 1) y luego se diseñaron las marcas guías. El protocolo de edición de fotos está descrito en la sección de anexos con mayor detalle.

Dichas marcas o líneas guía color amarillo, para el ancho máximo, se ubicaron de forma perpendicular o de 90° con relación a la otra línea guía trazada a través del foco del otolito, la cual se dibujó en color rojo; con el objetivo de asegurar la toma correcta al momento de la medición mediante el software UTHSCSA_ImageTool v 3.00 (Figura 15). Para el largo máximo, las líneas guía se ubicaron de modo paralelo o de 180° con relación a la otra línea guía trazada a lo largo del foco o centro del otolito (Figura 16, siguiente figura).

Luego de tener todas las líneas trazadas, se procedió a hacer las respectivas mediciones de Ancho máximo (A_max) y Largo máximo (L_max) de los otolitos mediante el software UTHSCSA_ImageTool v 3.00. Posteriormente se realizaron los cálculos estadísticos de las regresiones lineales vs las longitudes horquilla de los individuos, en cada localidad para identificar los patrones del desarrollo de dichas estructuras calcáreas (otolitos) en toda la cuenca y entre las localidades (Tabla 10).



Definición de medición de ejes o ángulos de otolito *Asteriscus* (0° , 45° , 90° , 135° y 180°), para la marcación de los anillos de crecimiento

Con la finalidad de encontrar la mejor posición para las futuras lecturas de las marcas de crecimiento en los otolitos, se probaron varios ángulos de medición (0° , 45° , 90° , 135° , 180° para los *Asteriscus*) a partir de un eje central que se identificó para cada tipo de otolito, en los *Asteriscus*, se ubicó el Foco (F) o núcleo del otolito, donde la estructura mostraba su mayor aclaración. También otro modo de ubicar el (F), fue cuando se hacía la edición de las fotos, se traslapaban las líneas L_Max y A_max por un momento, y donde coincidían dichas líneas y conociendo su coordenada en el programa de Corel PaintPhotoshop-X6, se pintaba el núcleo (Figura 16).

Todo lo anterior se realizó a partir de las imágenes digitalizadas (n = 136) para los individuos muestreados, en las localidades de Neiva, Dorada, Barrancabermeja y Magangué.

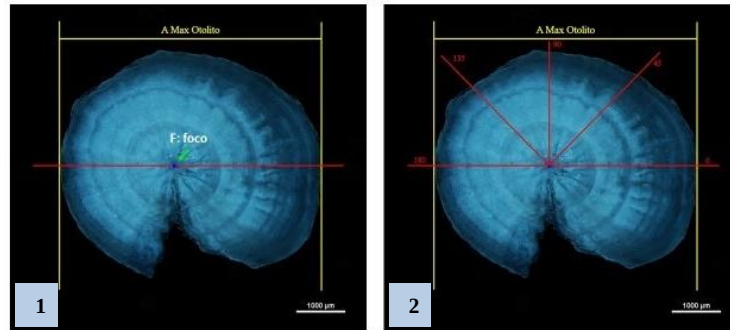


Figura 16. Fotografía de un otolito *Asteriscus* derecho, de *P. magdaleniatum* en dos vistas, 1.) una con solo la línea roja que atraviesa el foco (F) y 2.) otra imagen presenta todos los ángulos o ejes a medir, se eligió el ángulo de 45°. Luego muestra las sucesivas zonas translúcidas (ZT) y zonas opacas (ZO).

7.2.3 Relación tamaño otolito – longitud del Bagre

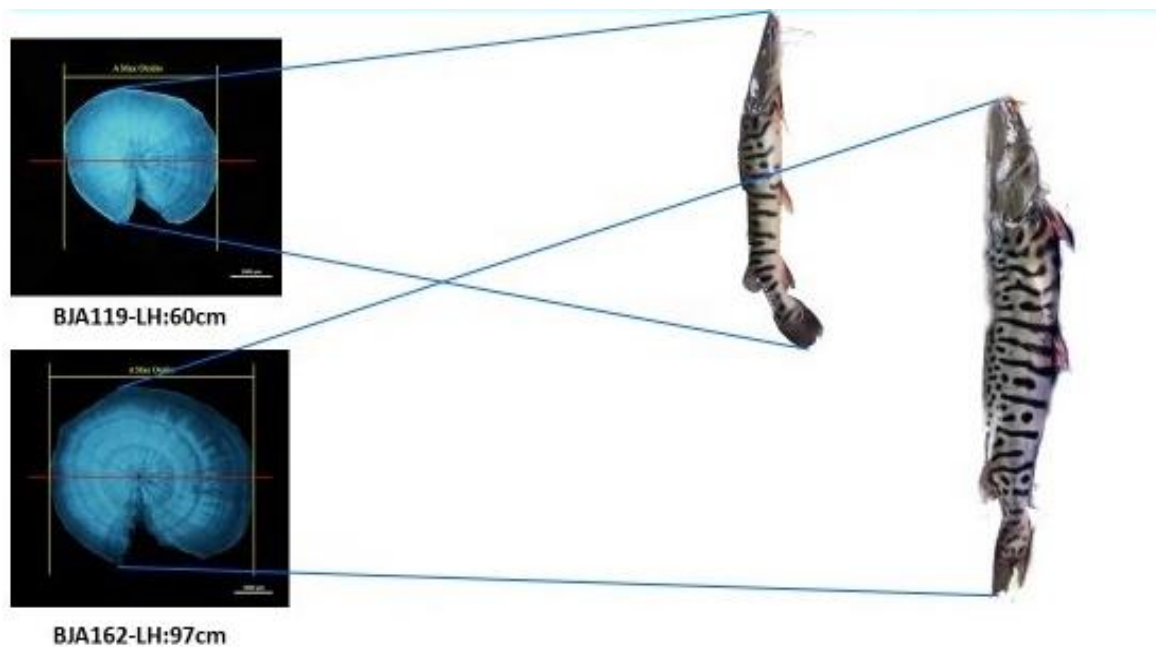


Figura 17. Relación del tamaño de los otolitos y longitud horquilla de los bagres rayados en dos individuos en la localidad de Barrancabermeja.

Luego de los ensayos de aclaración realizado a las muestras de los otolitos de algunos especímenes del bagre. En esta ocasión se demostró que existe una relación uniforme entre las aparentes marcas de crecimiento en los otolitos con respecto al tamaño total del organismo (Lh-Pez). Para visualizar esta relación, en la figura 17, se incluye; el otolito aclarado y el ejemplar de donde se obtuvo dicha estructura, indicando la longitud horquilla (LH) del bagre.

En este punto del estudio, se encontró que la cantidad de marcas de crecimiento que se observaron en los otolitos fuera correspondiente y uniforme en relación a lo observado en el tamaño del pez, por ejemplo: el individuo de Barrancabermeja (BJA) con código 119 y longitud horquilla 60 muestra en su estructura calcárea entre 4 a 5 marcas que posiblemente sean de crecimiento, mientras en el segundo ejemplar (BJA 162 – LH : 97) las marcas del otolito son evidentes, muestra entre 5 y 6 marcas (figura 17). A este tipo de relaciones se

llegó con mayor detalle, durante el análisis de la muestra total de otolitos y sus longitudes correspondientes, con las muestras aclaradas para cada lugar. El cotejo de la información suministrada por los otolitos permitió la comprobación del patrón de crecimiento en los anillos y su identificación para los *Asteriscus* derechos y la posterior estimación de los patrones de crecimiento del bagre rayado. Dichos parámetros de crecimiento y criterios de patrón de marcación serán comparados con los resultados obtenidos en el macroproyecto del Bagre Rayado a partir de las distribuciones totales de frecuencias de tallas y peso.

REGRESION A VALORAR	VARIABLES	VALOR COEFICIENTE R ²
PARA TODA LA CUENCA	Cada una de las variables	
Regresión x toda la cuenca del Magdalena	Ancho_max-vs-LH	R ² → 0,8625
Regresión x toda la cuenca del Magdalena	Largo_max-vs-LH	R ² → 0,8567
Regresión x toda la cuenca del Magdalena	Angulo_0°-vs-LH	R ² → 0,8045
Regresión x toda la cuenca del Magdalena	Angulo_45°-vs-LH	R ² → 0,8373
Regresión x toda la cuenca del Magdalena	Angulo_90°-vs-LH	R ² → 0,7323
Regresión x toda la cuenca del Magdalena	Angulo_135°-vs-LH	R ² → 0,6526
Regresión x toda la cuenca del Magdalena	Angulo_180°-vs-LH	R ² → 0,6611
POR LOCALIDADES O SECTORES	ANCHO_MAX	
Regresión x Localidad, Neiva (NVE)	Ancho_max-vs-LH	R ² → 0,6539
Regresión x Localidad, Dorada (DOR)	Ancho_max-vs-LH	R ² → 0,4014
Regresión x Localidad, Barrancabermeja (BJA)	Ancho_max-vs-LH	R ² → 0,8470
Regresión x Localidad, Magangué (MGE)	Ancho_max-vs-LH	R ² → 0,8592
POR LOCALIDADES O SECTORES	LARGO_MAX	
Regresión x Localidad, Neiva (NVE)	Largo_max-vs-LH	R ² → 0,6142
Regresión x Localidad, Dorada (DOR)	Largo_max-vs-LH	R ² → 0,5458
Regresión x Localidad, Barrancabermeja (BJA)	Largo_max-vs-LH	R ² → 0,8552
Regresión x Localidad, Magangué (MGE)	Largo_max-vs-LH	R ² → 0,7915
POR LOCALIDADES O SECTORES	ANGULO_0°	
Regresión x Localidad, Neiva (NVE)	Angulo_0°-vs-LH	R ² → 0,6896
Regresión x Localidad, Dorada (DOR)	Angulo_0°-vs-LH	R ² → 0,3008
Regresión x Localidad, Barrancabermeja (BJA)	Angulo_0°-vs-LH	R ² → 0,7545
Regresión x Localidad, Magangué (MGE)	Angulo_0°-vs-LH	R ² → 0,7975
POR LOCALIDADES O SECTORES	ANGULO_45°	
Regresión x Localidad, Neiva (NVE)	Angulo_45°-vs-LH	R ² → 0,6342
Regresión x Localidad, Dorada (DOR)	Angulo_45°-vs-LH	R ² → 0,5122
Regresión x Localidad, Barrancabermeja (BJA)	Angulo_45°-vs-LH	R ² → 0,8017
Regresión x Localidad, Magangué (MGE)	Angulo_45°-vs-LH	R ² → 0,7873
POR LOCALIDADES O SECTORES	ANGULO_90°	
Regresión x Localidad, Neiva (NVE)	Angulo_90°-vs-LH	R ² → 0,4097
Regresión x Localidad, Dorada (DOR)	Angulo_90°-vs-LH	R ² → 0,4285
Regresión x Localidad, Barrancabermeja (BJA)	Angulo_90°-vs-LH	R ² → 0,6879
Regresión x Localidad, Magangué (MGE)	Angulo_90°-vs-LH	R ² → 0,7096
POR LOCALIDADES O SECTORES	ANGULO_135°	
Regresión x Localidad, Neiva (NVE)	Angulo_135°-vs-LH	R ² → 0,4052
Regresión x Localidad, Dorada (DOR)	Angulo_135°-vs-LH	R ² → 0,3422
Regresión x Localidad, Barrancabermeja (BJA)	Angulo_135°-vs-LH	R ² → 0,6232
Regresión x Localidad, Magangué (MGE)	Angulo_135°-vs-LH	R ² → 0,7413
POR LOCALIDADES O SECTORES	ANGULO_180°	
Regresión x Localidad, Neiva (NVE)	Angulo_180°-vs-LH	R ² → 0,2803
Regresión x Localidad, Dorada (DOR)	Angulo_180°-vs-LH	R ² → 0,4285
Regresión x Localidad, Barrancabermeja (BJA)	Angulo_180°-vs-LH	R ² → 0,6661
Regresión x Localidad, Magangué (MGE)	Angulo_180°-vs-LH	R ² → 0,6204

Tabla 10. Resultados de las regresiones lineales (R²) de Longitud_Pez -vs- A_max_L_max_ en los otolitos *Asteriscus* derecho del bagre rayado del Magdalena, *Pseudoplatystoma magdaleniatum*.

CUENCA MAGDALENA	TOTAL A_MAX	TOTAL L_MAX	TOTAL Ang_45	TOTAL LH
PROMEDIO	4,13	3,56	2,03	74,46
DESVEst	0,69	0,51	0,34	17,55
Var	0,47	0,26	0,11	308,07
Max	5,77	4,66	2,90	111,00
Min	2,92	2,72	1,51	46,00
Moda	3,68	2,87	1,74	52,00

BARRANCABERMEJA	BJA_A_MAX	BJA_L_MAX	BJA_Ang_45	BJA_LH
PROMEDIO	4,41	3,75	2,18	81,92
DESVEst	0,72	0,52	0,34	17,74
Var	0,52	0,27	0,12	314,70
Max	5,77	4,66	2,90	111,00
Min	2,92	2,76	1,51	46,00
Moda	5,57	3,90	2,19	97,00

MAGANGUE	MGE_A_MAX	MGE_L_MAX	MGE_Ang_45	MGE_LH
PROMEDIO	3,76	3,31	1,82	62,99
DESVEst	0,40	0,32	0,15	9,81
Var	0,16	0,10	0,02	96,17
Max	4,49	3,97	2,07	80,90
Min	3,17	2,86	1,59	51,10
Moda	No se Repite dato	3,49	1,68	No se Repite dato

DORADA	DOR_A_MAX	DOR_L_MAX	DOR_Ang_45	DOR_LH
PROMEDIO	3,45	3,03	1,70	58,19
DESVEst	0,23	0,25	0,15	8,25
Var	0,05	0,06	0,02	68,03
Max	3,91	3,58	2,12	79,00
Min	3,03	2,72	1,51	49,00
Moda	No se Repite dato	2,72	1,64	52,00

NEIVA	NVE_A_MAX	NVE_L_MAX	NVE_Ang_45	NVE_LH
PROMEDIO	3,99	3,47	1,94	70,44
DESVEst	0,40	0,34	0,20	11,65
Var	0,16	0,11	0,04	135,66
Max	4,86	4,19	2,46	101,00
Min	3,18	2,87	1,66	54,00
Moda	4,11	3,15	1,92	74,00

La regresión lineal se realizó entre la longitud del pez y el ancho máximo del otolito, así como entre la longitud del pez y el largo máximo del otolito. Este cálculo estadístico, se hizo con el fin de ver si existían relaciones significativas entre las variables y observar cómo la longitud de *Pseudoplatystoma magdaleniatum*; se vincula estrechamente con el Ancho máximo (A_max) o el Largo máximo (L_max) del otolito del pez, así como visualizar si existe una relación entre la longitud del otolito y la longitud del bagre de algún modo uniforme.

En el manejo estadístico de los datos bajo la regresión lineal, mostro que la cuenca del Rio Magdalena, conformada por las cuatro localidades (Neiva, Dorada, Barrancabermeja y Magangué); la longitud Horquilla (LH) se correlaciona más significativamente con el A_max del otolito, con un $R^2 = 0,8625$. Y de las cuatro localidades, la que mejor correlaciona las variables de A_Max-vs-LH son los peces de Barrancabermeja; con un $R^2 = 0,8470$. (Figura 18)

Solo Dorada, mostro tener la menor correlación con el ancho y Largo máximo.

La regresión lineal más significativa para los datos de toda la cuenca del Rio Magdalena, que correlaciona la LH con el L_max del otolito, con un $R^2 = 0,8567$; un poco por debajo del A_max. Y de las cuatro localidades del Magdalena, la que mejor relaciona las variables de L_Max-vs-LH son los peces de Barrancabermeja; con un $R^2 = 0,8552$.

El sector de Magangué se agregó al Rio Magdalena por determinaciones de los últimos informes de Ecopetrol.

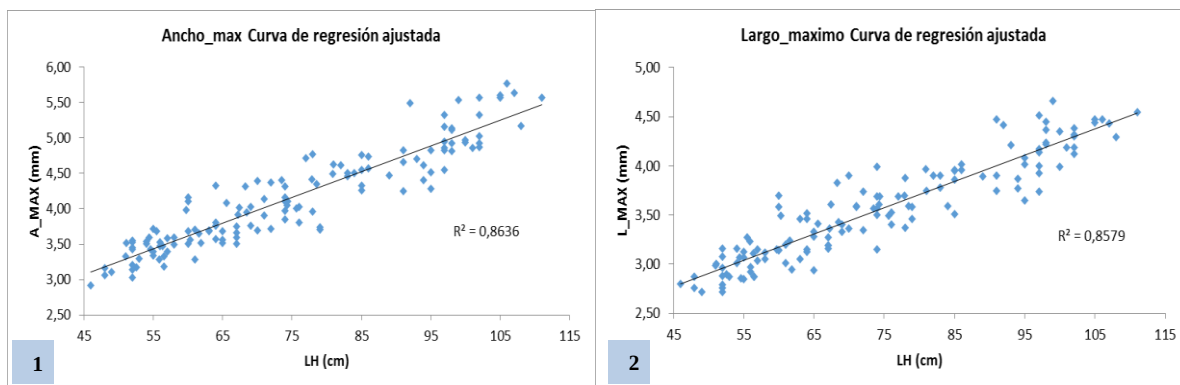


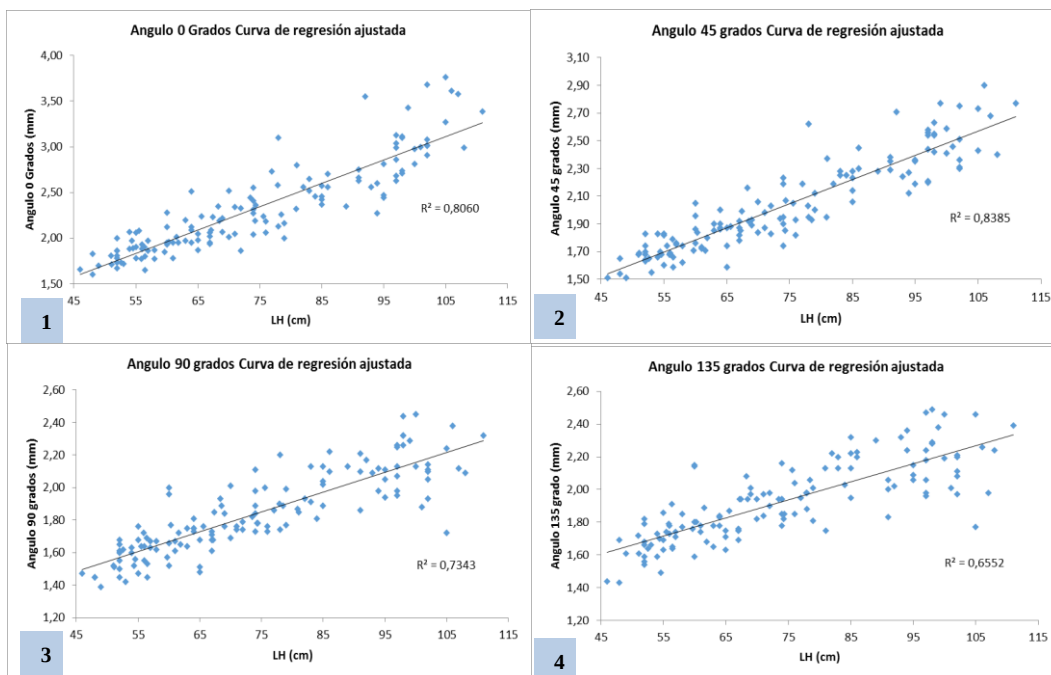
Figura 18. Grafica de la curva de distribución o regresión ajustada para los datos de: grafico 1.) A_Max y 2.) L_max contra la LH para toda la cuenca Rio Magdalena.

Para la Cuenca del Rio Cauca (incluye las localidades de San Jorge y Nechi), el comportamiento de los datos fue muy distinto al Magdalena. Su R^2 se mostró de forma medianamente ajustada, que se distribuye homogéneamente. Esto es posible explicarlo pues la cuenca de Rio Cauca tiene una extensión menor por la cual se dónde distribuirse el Bagre Rayado.

La localidad de Nechi no entro en el análisis, debido a que tan solo tiene un otolito derecho aclarado.

Las mediciones de los Ángulos 0°, 45°, 90°, 135° y 180° y su respectivo manejo estadístico de las relaciones lineales, mostro que para toda la cuenca del Rio Magdalena sectores (Neiva, Dorada, Barrancabermeja y Magangué); la medida del eje de 45° y la LH con un $R^2 = 0,8373$ se correlacionan. Y de las cuatro localidades, la que mejor se vincula con la variable de la magnitud del Angulo_45°-vs-LH son los peces de Barranca; con un $R^2 = 0,8017$. La regresión lineal más significativa para los datos sectorizados por medidas de otros ejes 90° y 135°, se observan de forma evidente en los otolitos de Magangué (MGE), con un $R^2 = 0,7096$ y $R^2 = 0,7413$; respectivamente, un poco por debajo de las medidas del Angulo_45°. De las cuatro localidades del Magdalena, la que podría tener una alta relación entre el Angulo de 180° y la longitud de los peces son los de Barranca; con un $R^2 = 0,6661$. Este es el ángulo que tiene menores correlaciones, sin embargo, Barrancabermeja alcanza buenos índices.

La localidad de Dorada, mostro los menores índices de correlación (R^2) para el ángulo versus longitud del pez. (Figura 19).



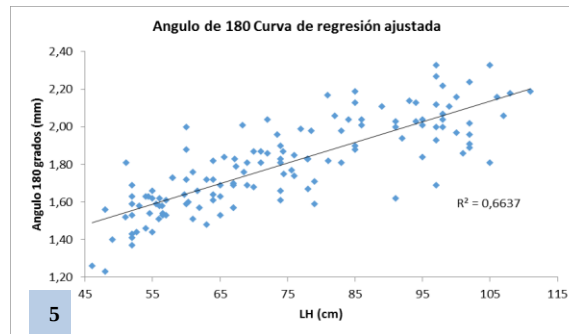


Figura 19. Grafica de la distribución de los datos, del Grafico 1.) Angulo_0°, 2.) Angulo_45°, 3.) Angulo_90°, 4.) Angulo_135°, 5.) Angulo_180° contra la LH para toda la cuenca Río Magdalena.

7.2.4 Caracterización del Patrón de marcación de los anillos de crecimiento en otolitos *Asteriscus*

Las marcas hialinas de los otolitos del Bagre rayado fueron caracterizadas de acuerdo con los criterios utilizados en estudios previos de determinación de edad y crecimiento, realizados por Oliveira, 1997; Fabré & Saint Paul, 1998; Valeruz-Rêgo et al., 1998; Pérez, 1999; Vieira, 1999; Alonso, 2002; teniendo en cuenta:

- (i) Nitidez (buena, regular o mala).
 - (ii) Tipo de marca (bifurcada, doble o simple).
 - (iii) Patrón de espaciamiento entre marcas o proximidad entre marcas hialinas según el patrón esperado de crecimiento (ocurre en el bagre para las marcas finales).
- Para cada uno de estos criterios se calcularon las distribuciones de frecuencia.

En la descripción para todos los otolitos *Asteriscus* que incluyen todas las tallas de peces (pequeños, medianos & grandes), se hace el conteo general de cada una de las marcas encontradas para todos los otolitos aclarados de los peces examinados y así hallar el porcentaje de nitidez total, identificadas en la muestra total de otolitos analizados (n=90 otolitos, 30 pequeños, 30, medianos, 30 grandes). De esta forma, todos los bagres desarrollan en sus estructuras otolíticas ocho marcas de crecimiento y la nitidez en todas las cohortes se mostró de la siguiente manera: en las primeras seis marcas; fue posible ver anillos con nitidez buena, regular y mala con diferentes porcentajes. Siendo particular el incremento que presentó la cuarta marca de crecimiento de edad del este Siluriforme, M4, la cual se reflejó en el 57,14% de los otolitos con una nitidez buena y 42,86% mostró una transparencia o nitidez regular. La M5 fue una marca que conserva el patrón de visualización que se manifiestan en los resultados descritos por cohortes, de igual manera que fusionando todos los datos; revelando la mitad (50%) de otolitos con nitidez buena y la otra mitad (50%) con nitidez regular. Para M6 40% fueron marcas buenas y 60% marcas regulares. En estas tres marcas o anillos de crecimientos se debe hacer un mayor énfasis para la definición de las marcas, pues es evidente la variación y el paso a la séptima y octava marca, ya que denota una incongruencia o error en la marcación; M7, presentó 60% marcas regulares y 40% marcas malas; mientras la M8 indicó nitidez mala en 100% de sus anillos (Ver Figura

20, Grafico 1). La variación o incongruencia en la marcación de los otolitos, será descrita con mayor claridad en discusión, pero podría deberse a error por parte del lector, problemas con las imágenes o captura de fotografías, falta de muestras para tener un adecuado n muestral, otolitos que no hayan quedado correctamente aclarados, entre otros factores que se discutirán luego.

La serie de otolitos *Asteriscus* de peces de tallas pequeñas, se caracterizaron por desarrollar cuatro marcas de crecimiento. Fue notorio ver en el gráfico de distribución de frecuencias de la nitidez, que los anillos o marcas M3; presentaron nitidez buena en el 37,5% de sus otolitos, 50% fueron de nitidez regular y un 12,5% tuvieron una mala visibilidad, es decir su nitidez era mala y no era posible definir con claridad estas marcas por lo cual se categorizaron con este patrón de marcación. La cuarta marca de crecimiento M4 tuvo un 100% de sus otolitos con una nitidez regular (Ver Figura 20, Grafico 2).

Para la cohorte de los otolitos *Asteriscus* de peces de tallas medianas, se encontraron cinco marcas de crecimiento para estas estructuras calcáreas. De los cuales es significativo mencionar, que en la cuarta marca de crecimiento M4 se visualizaron 44,4% de los otolitos con nitidez buena y 55,5% fue posible observarlas de manera regular. En el estudio de esta serie de otolitos medianos, se identificó el desarrollo de una nueva marca, una quinta marca M5; definida 50% marcas buenas y 50% marcas regulares (Ver Figura 20, Grafico 3). Así los datos de nitidez en los Bagres con otolitos medianos; se ajustan y parecen coincidir con los porcentajes totales o para nitidez de las mismas marcas en todos los otolitos, lo cual no ocurre con las otras marcas.

En los otolitos *Asteriscus* de peces de tallas grandes, se describe la lectura de ocho marcas de crecimiento, en donde el mayor porcentaje observado fue de marcas buenas o regulares; desde la M1 hasta la M6. La primera marca (M1) tuvo una excelente nitidez hallada en el 90% de sus anillos. El 10 % restante de otolitos evidencio marcas con nitidez regular. Las M2 y M4 presentaron los mismos porcentajes de nitidez, se visibilizaron en el 80% de los otolitos con nitidez buena y en el 20% adicional, fue posible observarlos con marcas de claridad o nitidez regular. Es posible que *la marca tres y cuatro*, llegase a ser la misma marca, si se pudiesen hacer mayores observaciones y un proceso de aclaración diferencial según la proporción de Carbonato de Calcio de la estructura de los otolitos. Pues los Otolitos pequeños, presentan menor proporción de CaCO_3 que los otolitos grandes (los pequeños son más delgados y los grandes son gruesos), considerando esta premisa, se haría una aclaración diferencial.

La M5 se visualizó en la mitad (50%) de otolitos con nitidez buena y la otra mitad (50%) con nitidez regular. En el estudio de esta tanda de otolitos grandes, se identificaron nuevos anillos o marcas de crecimiento, las marcas M6, M7 & M8; definidos porcentualmente así: M6 40% marcas buenas y 60% marcas regulares; 60% marcas regulares y 40% marcas

malas en la marca de crecimiento identificada como M7; mientras que la última marca reconocida como M8 indicó nitidez mala en 100% de sus anillos, es decir que distinguir esta marca fue un proceso complicado a través de las fotográficas capturadas mediante el estereoscopio. A partir de la quinta marca, M5 a M8, el patrón de marcación de la nitidez en otolitos grandes es similar al descrito en otolitos medianos y en la muestra total (Ver Figura 20, Grafico 4).

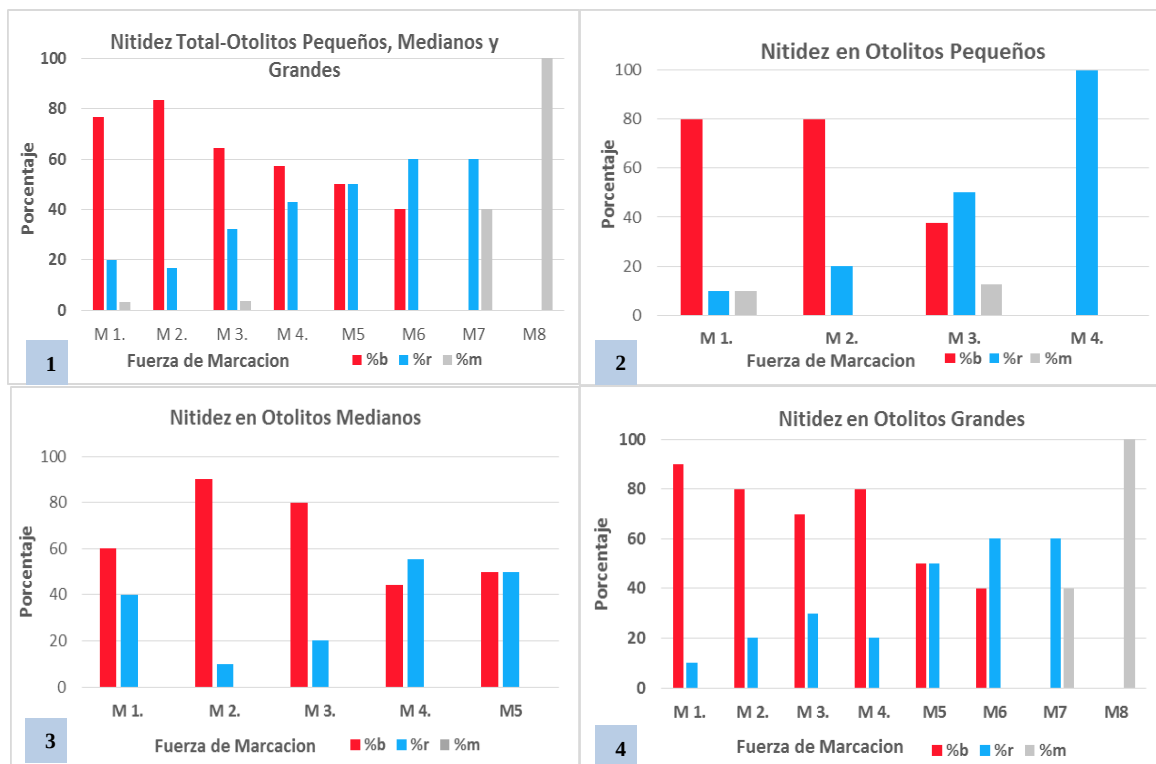


Figura 20. Gráfica de distribución frecuencia, en porcentajes (%) de Nitidez o número de marcas de crecimiento en otolitos *Asteriscus*, del Bagre rayado del Río Magdalena; categorizadas en b: buenas, r: regulares y m: malas para. 1.) Nitidez de otolitos del Bagre para todas las tallas, 2.) Nitidez de tallas pequeñas, 3.) Nitidez de tallas medianas y 4.) Nitidez de tallas grandes.

En la Figura 21, se observa la distribución de frecuencia de la nitidez total (%) categorizada sólo por los tres criterios determinados para el patrón de marcación de la nitidez (marcas= buenas, regulares y malas) de las diferentes cohortes de otolitos (total de todas las cohortes fusionadas, los otolitos pequeños, medianos & grandes). Particularmente, el porcentaje de nitidez total disminuye para marcas malas, fue del 4,3%, con relación a los valores que se describirán por grupos de cohortes o tallas de otolitos. Mientras los porcentajes de marcas regulares se mantienen en los mismos valores del 32,2% de nitidez total (Ver figura 19, grafico 2).

En el grupo coetario de otolitos pequeños se reflejó el mayor porcentaje de anillos con patrón de marcación de condición mala o de desfavorable visualización; alcanzo un valor de 6,6% en este tipo de otolitos (Ver figura 21, grafico 2).

Por su parte los otolitos medianos figuran con un 67,4% de marcas con nitidez de naturaleza buena; % superior al que figura en el grafico para la cohorte de otolitos pequeños, grandes y para la muestra general. Este tipo de otolitos no evidenció ninguna marca con características que presentaran una perspectiva para el lector de patrón de marcación mala (0%) (Ver figura 21, grafico 3).

Junto a los otolitos ya descritos, está la generación de peces con otolitos grandes; caracterizados por tener porcentajes de nitidez cercanos y muy ajustados a los descritos para las otras cohortes. Se reconoce que el 5,9% presenta mala nitidez demostrando, que luego de los procesos de aclaración, análisis de imágenes capturadas mediante el estereoscopio y posterior al protocolo de edición fotográfico; aún puede ocurrir fallas en la visualización de las marcas ya sea por parte del lector o que en realidad sea una estructura que requiera de otro proceso adicional (Ver figura 21, grafico 4).

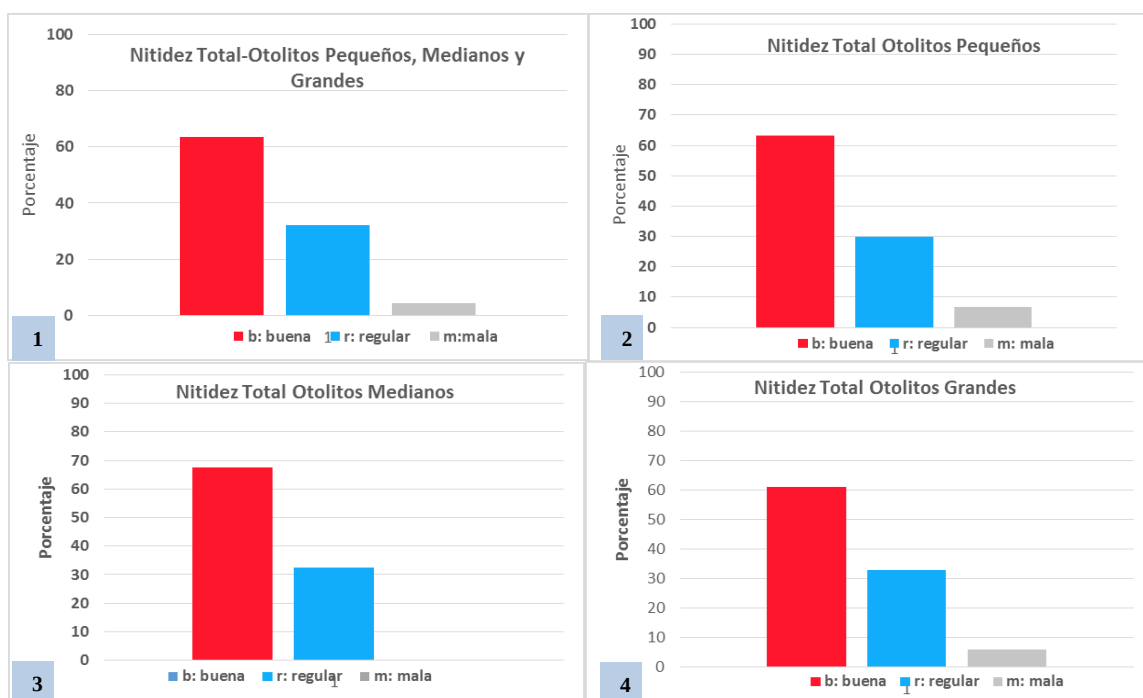


Figura 21. Gráficos de Nitidez total (en %) para el número de marcas de crecimiento en otolitos *Asteriscus*, del Bagre rayado del Magdalena; categorizadas en b: buenas, r: regulares y m: malas. 1.) Nitidez total de otolitos para todas las tallas, 2.) Nitidez total de tallas pequeñas, 3.) Nitidez total de tallas medianas y 4.) Nitidez total de tallas grandes.

En la Figura 22, Grafico 1; se describe el porcentaje del tipo de marca para todos los otolitos *Asteriscus* de todas las tallas de peces (pequeños, medianos & grandes), se hace el conteo general de cada una de las marcas encontradas para todos los otolitos aclarados de los peces estudiados y así hallar el porcentaje para el otro criterio de patrón de marcación, que fue el tipo de marca, identificadas en la muestra total de otolitos analizados (n=90 otolitos, 30 p, 30, m, 30 g). De esta manera, se encontró que todos los bagres desarrollaron en sus estructuras calcáreas ocho marcas de crecimiento y el tipo de marcas valoradas para todos los otolitos, en todas las cohortes fueron marcas bifurcadas (b), dobles (d) y simples (s);

mostrando para la muestra evaluada el siguiente comportamiento según los datos: en las primeras seis marcas; fue posible ver anillos en su mayoría marcas d & s, a partir de la quinta y octava marca se hallaron marcas de los tres tipos (b, d y s) con diferentes porcentajes. Particularmente se ha de mencionar que de las M1 a M4 se evidenciaron los tres tipos de marcas, sin embargo, las marcas bifurcadas tuvieron el menor porcentaje, así 10%, 20%, 7.14%, 4,8%; respectivamente para los anillos mencionados y la mayor dominancia fue de marcas simples; siendo la M3 la que presento el mayor porcentaje de anillos con este criterio (78.6%). De manera coincidente con el patrón observado para la nitidez, en el patrón de marcas se examinó la misma tendencia discrepante para las M7 y M8, el 60% fueron bifurcadas y 40% simples; y el 100% fueron bifurcadas, correspondientemente. Esto coincide con la nitidez y afirmo que es una tendencia inapropiada para el patrón esperado de formación de marcas de crecimiento en el bagre rayado, dado que considero tanto la visibilidad de marcas de naturaleza bifurcada del 100% así como encontrar una mala nitidez en el 100% de los otolitos es muy improbable y esto es porque la octava marca, quedo mal determinada.

La serie de peces de tallas pequeñas, se caracterizaron por tener *Asteriscus* con cuatro marcas de crecimiento, de los tres morfotipos (b, d y s). Fue destacado ver en el gráfico de distribución de frecuencias para el tipo de marca, de los anillos M1 a M3; reflejaron a través de la lectura, porcentajes representativos solo con marcas bifurcadas: 20% (m1), 40%(m2) y 12.5%(m3); dobles: 40%, 40% y 12.5%; y simples: 40%, 20% y 75% convenientemente para lo descrito. La M4 tuvo un 100% de sus otolitos con anillos de clase simple (Ver Figura 22, Grafico 2).

Para los otolitos de peces de tallas medianas, se encontraron cinco marcas de crecimiento, en las cuales es importante valorar que se evaluaron los tres criterios del tipo de marcas, bifurcadas, dobles y simples. Es significativo señalar, que en la cuarta marca de crecimiento M4 se visualizaron 11.11% bifurcadas, 22.2% dobles y 66.6% fue posible observarlas de carácter simple. La M3 tuvo porcentajes más cerrados o absolutos para el mismo tipo de anillos evaluados: 10%, 30%, y 60%; esto se puede relacionar con lo mencionado para las marcas M7 y M8 que están incorrectamente posicionadas (Ver Figura 22, Grafico 3).

En el grupo coetario de otolitos grandes se reflejó el 100% de las M3, que obtuvieron la mayor prevalencia de marcas con patrón de marcación de condición simple. Se puede reconocer que la M4 tiene un 80% de anillos dobles y un 20% simples, seguidamente la M5 50 y 50% de marcas dobles y simples; en la M6 30% dobles y 70% simples. Este seguimiento a lo largo de estas tres últimas marcas es con el objeto de entrever que el tipo de marca que domina en el bagre es la marca simple y además notar que hay una de estas marcas que esta incorrectamente posicionada y esto se insinuará con más énfasis en el ítem que aborda la distancia entre los anillos. La séptima y octava marca se comportan de igual

manera que el comportamiento descrito para la muestra de todos los otolitos (Ver figura 22, grafico 4).

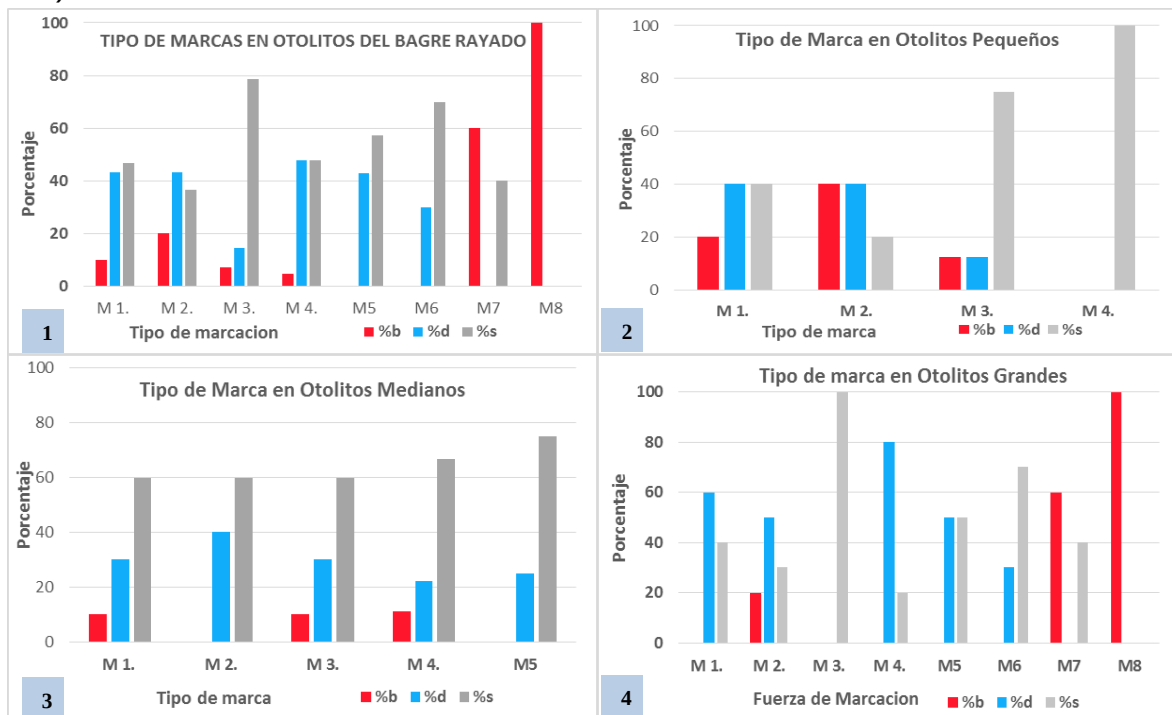


Figura 22. Gráficos de distribución frecuencia (en %), del Tipo de marca de anillos de crecimiento de los otolitos *Asteriscus* de *P. magdaleniatum*, del Rio Magdalena; categorizados en marcas b: bifurcadas, d: dobles y s: simples. 1.) Tipo de marcas en peces de todas las tallas, 2.) Tipo de marcas en tallas pequeñas, 3.) Tipo de marcas en otolitos de tallas medianas, 4.) Tipo de marcas en tallas grandes.

Cuando se distinguieron este tipo de marcas en el otolito del Bagre del Magdalena, estuvieron presentes como simples y dobles, para peces de todas las tallas en su mayoría con frecuencias del 53% y 35%. Excepcionalmente, se observaron marcas bifurcadas para los *Asteriscus* de este Silúrido, con porcentajes de 12% (Ver figura 23, grafico 1).

Es vital dejar claro el aspecto del alto porcentaje de marcas simples reflejadas a lo largo del estudio, tanto en la cohorte de otolitos pequeños, medianos y grandes; el mayor número de marcas simples fue evidente en los otolitos medianos con un 63%. Se puede considerar a una marca simple como un espacio entre dos anillos, que conforme aumenta el número de marcas en el otolito, su distancia varía (Ver figura 23, grafico 2, 3 y 4).

En conclusión, hubo algunas dificultades en la lectura de los otolitos *Asteriscus* para este criterio de marcación (tipo de marca), dado que el proceso de aclaración imposibilitó de alguna manera la visualización de las marcas, ya que la diferencia en cuanto a la proporción y densidad de CaCO_3 ; entre las estructuras pequeñas, medianas y grandes hace que la integración del químico aclarador sea diferencial. En algunos casos, debido a la proximidad de las marcas, principalmente cuando dos marcas surgían juntas (en una serie); en ese momento podría haberse dado prioridad al patrón de crecimiento esperado.

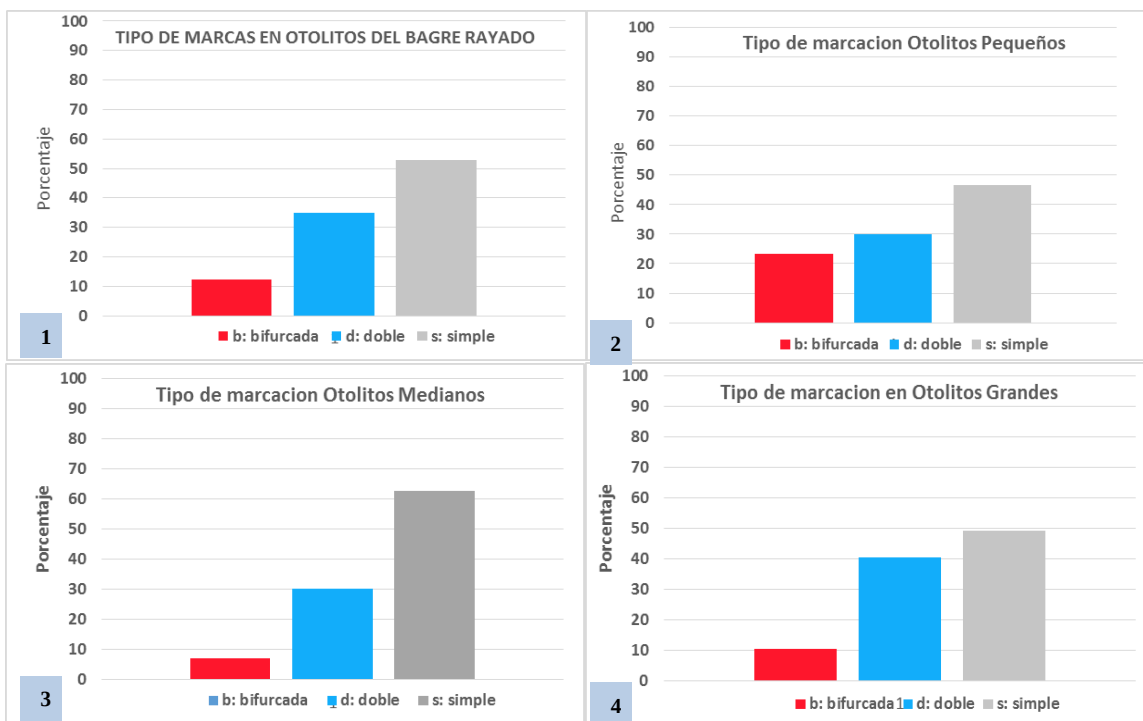


Figura 23. Gráficos de distribución frecuencia, porcentaje total (%), del Tipo de marca de anillos de crecimiento de los otolitos *Asteriscus* de *P. magdaleniatum*, del Rio Magdalena; categorizados en marcas b: bifurcadas, d: dobles y s: simples. 1.) Total, de tipo de marcas para todas las tallas, 2.) Total, de tipo de marcas de tallas pequeñas, 3.) Total, de tipo de marcas de tallas medianas y 4.) Total, de tipo de marcas de tallas grandes.

7.3 Tendencia del crecimiento del Bagre Rayado

7.3.1 Secuencia del aumento del tamaño de los anillos de crecimiento en otolitos *Asteriscus*

En el estudio de distribución de las marcas de crecimiento de los otolitos *Asteriscus* del Bagre, se verificó la conformación de ocho marcas (Figura 25). Según los resultados de la estadística descriptiva (Tabla 11), se registraron los valores para sus desviaciones estándar los cuales fueron bajos.

Tabla 11. Resultados de la estadística descriptiva para la distribución de frecuencia de los tamaños de marcas de crecimiento en los otolitos *Asteriscus* derecho del bagre rayado del Magdalena; donde se evaluaron máximos (MAX), mínimos (MIN), X = promedios; S = desviación estándar, n = número de observaciones.

Marcas	MAX	MIN	X	S	n
I	1,51	0,93	1,18	0,12	89
II	2,00	1,25	1,58	0,14	89
III	2,29	1,49	1,82	0,16	84
IV	2,47	1,60	2,02	0,17	63
V	2,63	1,96	2,21	0,15	38
VI	2,74	2,11	2,37	0,16	24
VII	2,82	2,23	2,49	0,17	13
VIII	2,72	2,37	2,57	0,18	3

La distribución de las marcas de crecimiento manifestó, en general, un desplazamiento de las modas para cada anillo, conforme aumenta el tamaño, indicando que los criterios de lectura se mantuvieron (dos lecturas para un lector) durante el proceso de recuento de anillos (Figura 24). Por otro lado, las marcas I, II, III, IV y V mostraron un buen ajuste según la distribución normal, y su disposición está acorde para el comportamiento de cálculos de otolitos en Siluriformes. Mientras que las marcas VI, VII & VIII no presentaron un ajuste a la curva normal debido al bajo número de observaciones para estas marcas. De las M6 a M8 tal como se mencionó en los criterios de nitidez y tipo de marca, existen varios factores involucrados por los cuales se podría considerar que algunas de estas marcas están mal posicionadas y que se debería tener en cuenta solo hasta el sexto o séptimo anillo, así como prestar mayor atención al momento de hacer el proceso de la aclaración y valorar un mayor número muestral (n) para próximas investigaciones.

Los valores promedios de los tamaños de las marcas transparentes de M1 a M8, mostraron que la distancia entre la M1 y la M2 marca fue mayor que entre la M2 y la M3, por lo que presenta el patrón esperado de crecimiento. A partir de la M3 a la M8, las distancias entre éstas disminuyen progresivamente a medida que se aproximan al borde de la estructura calcárea (Figura 24 y 25).

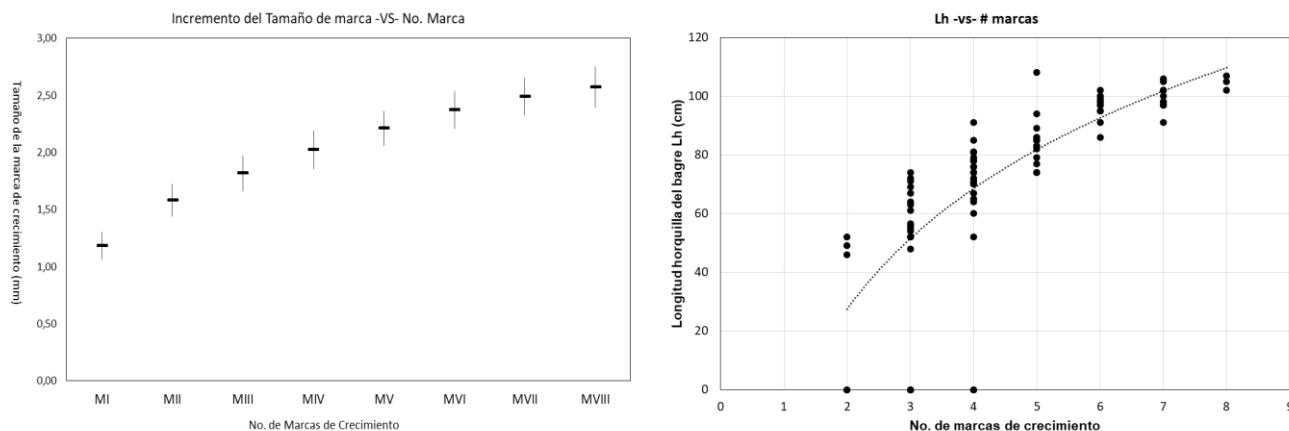


Figura 24. 1. Curva que señala la relación entre el número de anillos de crecimiento examinados en los otolitos *Asteriscus* del Bagre rayado del Magdalena y su tamaño calculado en (mm), 2. Curva de la relación entre el número de anillos de crecimiento de los otolitos del Bagre y su talla o Longitud horquilla (Lh en cm).

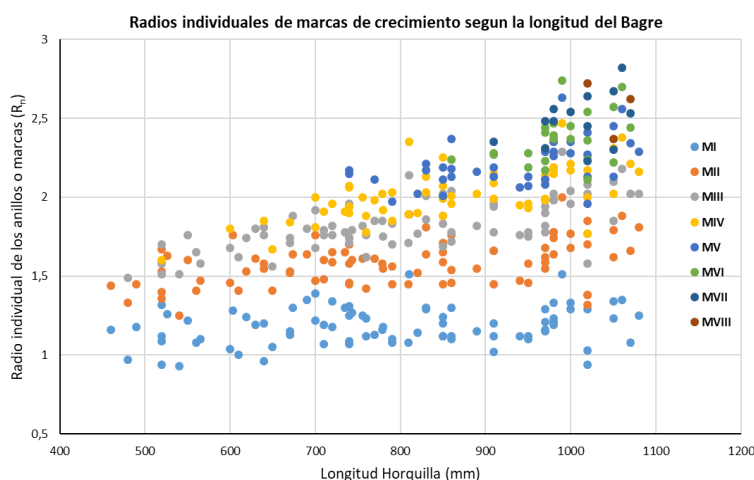


Figura 25. Gráfico que confirma consistentemente la posición de los anillos, mediante sus radios individuales de las marcas de crecimiento (R_n) con relación a las diferentes longitudes horquilla en milímetros (Lh).

Los análisis anexos confirmaron el ajuste esperado de disminución de la tasa de crecimiento a medida que aumenta el tamaño del pescado. Uno se refiere a las distribuciones de frecuencia de los tamaños de cada una de las marcas identificadas, que se presentaron siempre unimodales (con un solo valor modal en la distribución de sus datos categóricos), indicando también estabilidad en la identificación de los anillos, y el otro estudio se refiere al desplazamiento progresivo de los valores modales a la derecha, conforme aumenta el número de marcas (Figura 26).

Valeruz-Rêgo *et al.*, (1998) evaluaron diferentes métodos para la lectura de marcas de crecimiento en otolitos y opérculos del Siluriforme, *Brachyplatystoma flavicans*, de la Amazonía Central e indicaron al Otolito *Lapillus* como la mejor estructura calcárea para interpretar dichos anillos. En ese estudio se identificaron entre 2 y 6 marcas para ejemplares entre 40 y 80 cm (longitud horquilla) capturados en cercanías a Manaus.

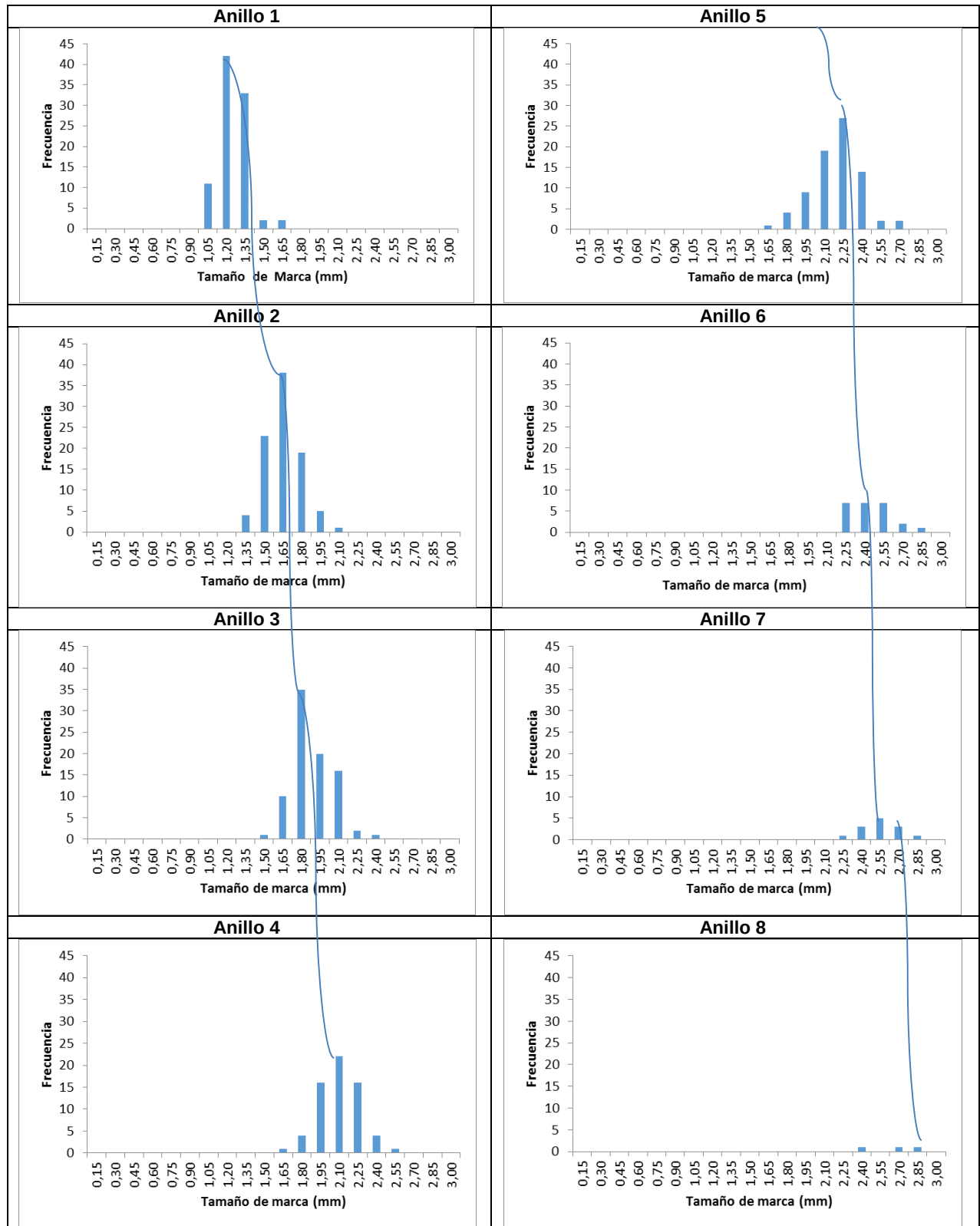
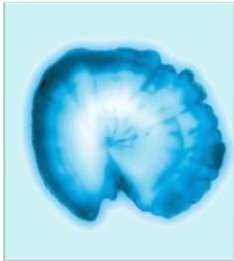
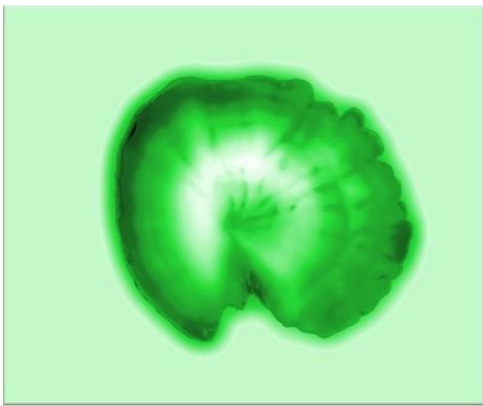


Figura 26. Gráficos de distribución frecuencia relativa, para el tamaño de cada una de las marcas de crecimiento observadas en los otolitos *Asteriscus* de *P. magdaleniatum*, del Rio Magdalena.



**CAPITULO VIII.
DISCUSION**



8. DISCUSION

La mayor parte de las investigaciones llevadas a cabo en Colombia sobre los aspectos poblacionales y de crecimiento en peces teleósteos se han centrado en especies demersales y marinas dado que sus pesquerías proporcionan grandes beneficios económicos y son generadoras de empleo. No obstante información disponible sobre dinámica de crecimiento de especies ícticas en nuestro país llega a ser insuficiente para el control y gestión de las cuencas hidrográficas, principalmente porque en los últimos años se han observado mayores desequilibrios ecológicos y por consiguiente indicadores de un alto grado de sobreexplotación de varias especies amenazadas (Mojica et al. (eds), 2012) (Es así como a lo largo de este último capítulo se discutirán los principales resultado obtenidos sobre las tallas de los peces muestreados para analizar la caracterización morfológica de sus otolitos *Asteriscus* la caracterización del patrón de marcas de crecimiento y su relación con la tendencia del crecimiento del bagre rayado del Magdalena.

8.1 Caracterización morfométrica de los peces muestreados

Un análisis preliminar sobre la composición y los cambios que enfrenta el “stock” pesquero a través del tiempo, consiste en evaluar los tamaños y pesos de la población pesca, los cuales aportan indicios de la selectividad de los artes de pesca, las clases menos representadas y los cambios en su abundancia y composición (King 1995). En este sentido, a continuación, se discuten varios de los aspectos relacionados con esos tamaños y pesos del bagre rayado muestreados durante el presente estudio.

8.1.1 Distribución espacial y temporal de las frecuencias de tallas

Utilizando un compendio histórico sobre reportes de tallas de captura del bagre rayado entre los años 1973 hasta el 2015, de distintas fuentes y en diferentes puntos de la cuenca (Figura 27), donde se ilustran las tallas medias de captura (TMC) por años y el sector de la cuenca al que pertenece ese dato (T_cca: totalidad de la cuenca, Mdio: Magdalena medio, Bajo: Magdalena bajo). En este sentido, los reportes más antiguos de la TMC datan de 1973 y para ese entonces el recurso pesquero por lo menos mostraba signos de dar cumplimiento a las normatividades, pues se capturaban tallas promedio de 87cm, un poco por encima de los 80cm de la Talla Mínima Reglamentaria (TMR). Valderrama *et al.*, (1988) en sus investigaciones pioneras con esta especie revela la misma tendencia a lo largo de la cuenca magdalénica con individuos de 84cm en promedio.

Zarate (1991) indicaba que para los 27.617 bagres muestreados en el Bajo Magdalena entre 1977-1989, su rango de tallas fue entre los 25cm-140cm (TMC osciló entre 48,7cm-66cm) dejando evidente para ese entonces cerca del 97% de la población capturada se encontraba por debajo o cercana a la TMR, donde tan solo el restante 3,4% de dicha población superaba el rango de los 80cm-140cm.

Para los años 2006-2007 la TMC de 58cm es un valor bastante bajo pues más del 85% del recurso estaba siendo capturado por debajo de los 80cm) (Sepec, 2006), mientras que en los años 2008 y 2009 (periodo de Fenómeno del Niño), el Centro Estadístico y Pesquero Colombiano reporto los promedios de TMC más críticos para las ciénagas del Bajo Magdalena en los municipios de Plato y Ayapel con valores de 46,4cm a 53,6cm

Posteriormente la secuencia que se presenta en la figura 27. entre los años 2008 a 2010 muestran valores extremos en la TMC (42 a 75,3cm), muy seguramente porque corresponden a datos colectados en la parte baja de la cuenca, mientras a partir del 2011 hasta el 2015 cuyos datos hacen referencia al consolidado de toda la cuenca, oscilan entre 65,7 a 57 cm, siendo que este último valor corresponde al del presente estudio. Por consiguiente, en el marco de este contexto histórico, queda evidente que la pesquería está actuando durante los últimos años sobre la parcela de la población de bagres de tamaño mediano donde tan solo el 21,1% de la población muestreada supera la TML y el restante 79% está por debajo de los 80cm reglamentarios.

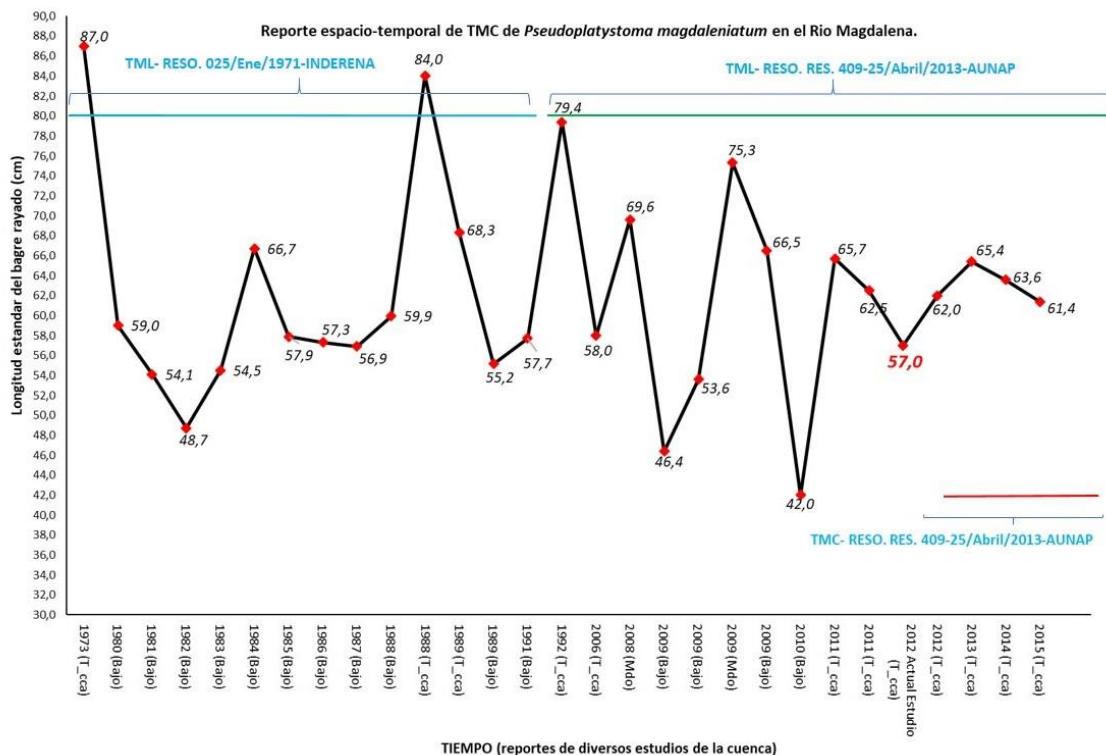


Figura 27. Secuencia histórica de los principales estudios biológico-pesqueros realizados en la cuenca del Magdalena, donde se reportaba la Talla Media de Captura (TMC / Longitud estándar Le, cm.) para el *Pseudoplatystoma magdaleniatum*.

En conclusión, queda claro que se deberá realizar un ajuste radical por parte de la autoridad pesquera a los aspectos normativos relacionados con las tallas medias de captura y de madurez sexual, debido a que en los últimos cinco años donde se cuenta con reportes más constantes y confiables gracias a los trabajos del SEPEC, la TMC no alcanzó a llegar a los 70 cm que es la medida sugerida por Valderrama et al. (2015) para la actualización de la ordenación pesquera de la especie en la cuenca. Por estos mismos motivos, las

metodologías y resultados obtenidos con el presente estudio serán fundamentales para los siguientes estudios que se adelanten para la definición de las edades y tasas de crecimiento acordes a la realidad pesquera y ambiental del río Magdalena.

8.1.2 Relación Talla - Peso

Como el coeficiente de regresión “b” en la relación Talla-Peso es un indicador indirecto del tipo de crecimiento del pez, evidenciando mayores ganancias en la longitud de los organismos que en el peso, cuando los peces son juveniles ($b < 3$) y viceversa cuando los individuos adultos o más viejos aumentan mucho más su peso frente a una mínima proporción en la longitud ($b > 3$) (Fonteles, 1989; King 1995). En este sentido, al observar el reporte histórico de este coeficiente “b” a lo largo de la cuenca se encuentran oscilaciones entre 2,82 – 3,64 (Figura 28), siendo que como la mayoría está por encima de 3,36 se podría entender que una buena porción de los individuos capturados eran adultos.

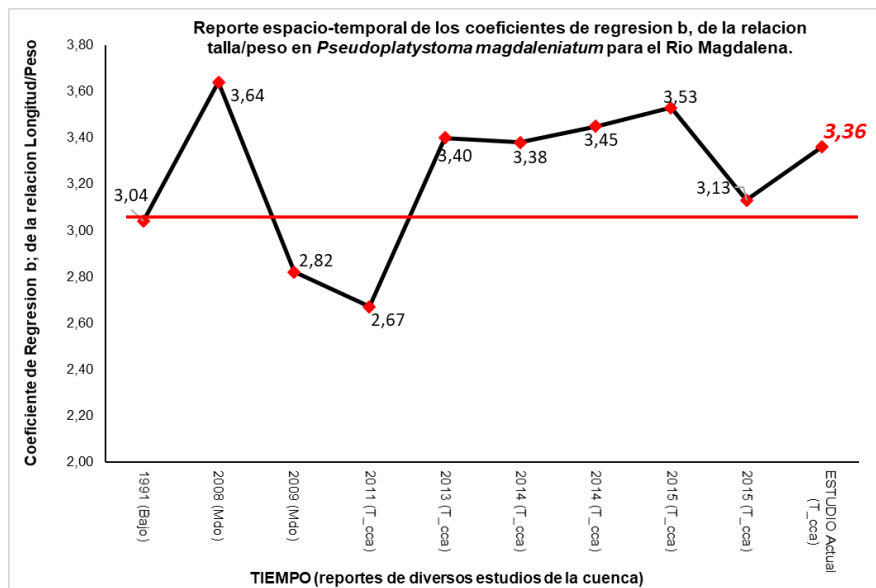


Figura 28. Reporte espaciotemporal de los coeficientes de regresión **b**, de la relación talla/peso en *Pseudoplatystoma magdaleniatum* para el Río Magdalena. de diferentes autores y para esta investigación.

Eventualmente para los dos años que los valores de “b” fueron menores a 3, podría asociarse al fenómeno del Niño por la sequías extremas, lo cual pudo dificultar la migración de algunos organismos e hizo que los bagres alteraran o modificaran en cierta medida su patrón migratorio ante la permanencia del nivel muy bajo del río. Por consiguiente, es posible que los individuos pre-adultos hayan evitado arriesgarse a realizar extensos desplazamientos que les hubiese generado gastos energéticos innecesarios o riesgos para su sobrevivencia (Jiménez-Segura, 2009). Fuera de esta última percepción de anomalía en la tendencia de la relación Talla-Peso, la posibilidad de que la pesca del río Magdalena esté actuando principalmente sobre peces pre-adultos y adultos, es bastante grande. Todo lo anterior también podría estar indicando que la dinámica poblacional de la especie estaría cambiando

y adaptándose a las presiones pesqueras y a los efectos ambientales negativos, mediante una disminución paulatina de las tallas de primera maduración sexual hasta alcanzar el estado adulto a edades más tempranas.

8.1.3 Factor de Condición (K)

Los cambios a nivel fisiológico que se pueden presentar en los peces con relación a su desarrollo metabólico y crecimiento en cuanto a tamaño en longitud y peso, son posibles evidenciarlos mediante variaciones en bio-indicadores, como el coeficiente b (de relación talla-peso, previamente analizado), el factor de condición o índice K , las deposiciones de CaCO_3 manifestadas como marcas de crecimiento o anillos de crecimiento en los otolitos (a analizar en los próximos ítems) entre otros (Vazzoler, 1996; Wootton, 1999; Tuset, 2000; Camacho, 2006; Gil-Manrique, 2008; Morales-Nin, 1991). Para los meses de abril a junio el K fluctuó entre 0,68 -0,86, presentando los valores más bajos durante el periodo en el que el nivel de las aguas son los más bajos (figura 29) y sus índices de madurez gonadal y gonadosomáticos vuelven a los menores valores, lo cual refleja que la población estaría iniciando un proceso de recuperación de su estado fisiológico (Wheatherlay, 1972; Camacho, 2006; Gil-Manrique, 2008; Hernández *et al.*, 2013).

Al respecto se puede inferir que la condición de bienestar de las poblaciones de *P. magdaleniatum* está asociada al periodo hidrológico, siendo que durante las aguas de niveles bajos (junio; $K_{Mg\acute{e}} = 0,86$) el bienestar o equilibrio homeostático entre su peso/tamaño tiende a la reducción, mientras que en aguas altas este bienestar se incrementa. A saber, para los meses de mayo (aguas altas; $K_{Bja} = 2,32$) y en octubre y noviembre; el otro pico de aguas altas con factores de bienestar de 2,78 y 2,46 respectivamente (figura 10 y figura 20).

Para el caso del bagre tigre del Orinoco (*P. tigrinum*) (Pérez, 2005) observo variaciones durante la dispersión de aguas en descenso, aprovechan este periodo para alimentarse de cardúmenes de carácidos como el pacú, sábalo (matrinxa), aracu, curimata (bocachico), sardinas, entre otros; de manera análoga pasa con el bagre rayado del Magdalena el cual presenta un patrón alimenticio en búsqueda de cardúmenes donde bocachico, su presa favorita (Oliveira, 1997; Fabre y Saint-Paul, 1998; Vieira, 2003; Pérez, 2005; Rojas-Muñoz, 2013; Valderrama, 2015). Así los especímenes con el mejor estado de corpulencia revelado se registraron en la cuenca alta del Magdalena, este cambio en su factor de bienestar somático se vincula generalmente a periodos de maduración gonádica o cambios en su intensidad alimenticia, lo cual parece coincidir con los meses donde el bagre asciende en búsqueda de alimentación en su etapa pre-reproductiva (Ricker, 1975; Wootton, 1999; Jiménez-Segura, 2009; Gil-Manrique, 2008).

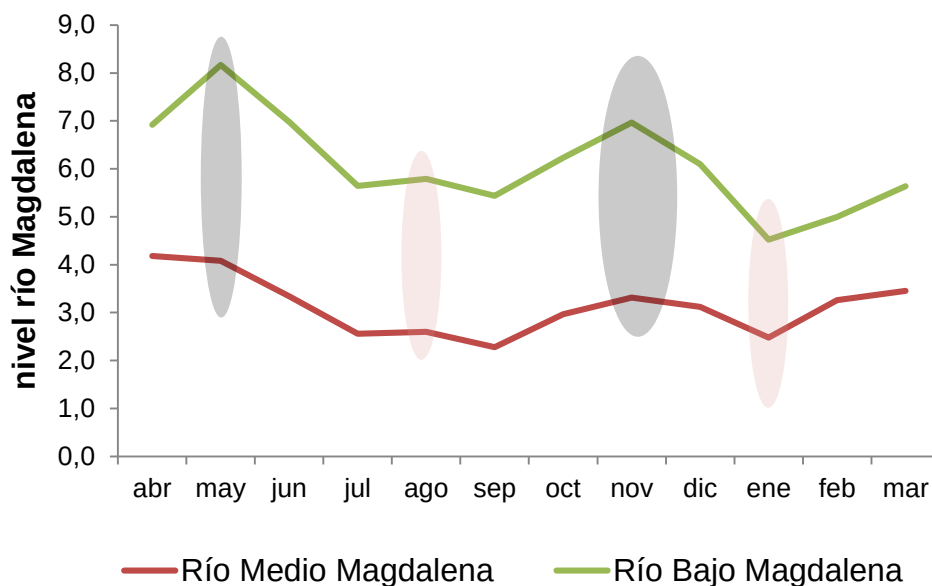


Figura 29. Ciclo hidrológico del río Magdalena entre abril de 2012 y marzo de 2013. Óvalos grises corresponden a aguas altas y óvalos naranja a aguas bajas. (Fuente: Hernández *et al.*, 2013, INFORME ECOPETROL: “Estado de conservación de del bagre rayado, Componente REPRODUCTIVO”).

8.2 Caracterización morfológica de los otolitos

La interpretación de la morfología y las inferencias de la tendencia del crecimiento a partir de otolitos constituye el método más confiable y aceptado para la definición y caracterización de la edad en peces (Beamish y MacFarlane, 1987; Brothers, 1995; En: Tuset, 2000), para lo cual es necesario profundizar en el conocimiento detallado de las formas y métricas de la estructura escogida para los estudios de crecimiento de una determinada especie.

8.2.1 Morfología y morfometría de los otolitos

Martínez y Monasterio de Gonzo (1988), en uno de los estudios pioneros con una especie de Siluriforme: el bagre anguila, *Heptapterus mustelinus*; acerca de la morfología de sus otolitos y su relación con parámetros dimensionales, afirmaron que la forma del *Asteriscus* mostraba mayores variaciones a distintos tamaños del pez. También enfatizaron en que esta peculiaridad aunada a el carácter de una estructura que presentaba múltiples líneas concéntricas hizo difícil la determinación de las verdaderas líneas de crecimiento. Por lo cual concluyen, el *Asteriscus* no representa una estructura calcárea apropiada para la determinación de la edad en el bagre anguila (Figura. 30)

Estos mismos autores realizan en 1991 un gran aporte al estudio de la morfología y morfometría de los otolitos en los bagres a través de la clave de identificación taxonómica de Siluriformes, resaltando que el *Asteriscus* es el más apropiado de los otolitos en las especies consideradas, por presentar un número de caracteres que varían poco en todas ellas. En las mediciones que se destacan, se encontraron las del Surubí (cuencas río Paraná, río

Paraguay, río Uruguay, río la Plata, río Amazonas) con una talla promedio de 77,5cm y longitud máxima en su otolito *Asteriscus* de 3,9mm; el Caparari con tallas de 57.8 cm y *Asteriscus* de 3,4mm; Blanquillo (*S. lima*) longitud de 37,5cm y un otolito de 4,5mm (Figura. 30). Estos valores son cercanos a los ejemplares muestreados en el Bagre del Magdalena con otolitos de longitudes máximas de 4,12mm correspondientes a peces de tamaños promedio 66cm.

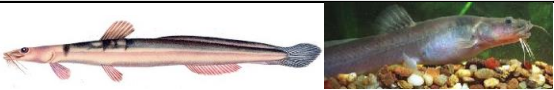
Nombre científico Especies	Foto	Nombre común	Zona	L-Est (mm) (cm)		L_Máx Oto (mm)
<u>Heptapterus mustelinus</u>		Bagre Anguila		104	10,4	1,7
<u>Pimelodus albicans</u>		Bagre Blanco Moncholo		330	33	2,3
<u>Pimelodus argenteus</u>		Bagre endémico de la cca de la Plata.		220	22	2,1
<u>Pimelodus maculatus</u>		Bagre Amarillo Overo		178	17,8	1,7
<u>Pseudopimelodus zungaro</u> Hoy: <u>Zungaro zungaro</u>		Manguruyú Amarillo Bagre sapo		211	21,1	1,8
<u>Pseudoplatystoma corruscans</u>		Surubí Surubí Pintado Caparari		775	77,5	3,9
<u>Sorubim lima</u>		Blanquillo doncella		375	37,5 54,2(LT)	4,5
<u>Pseudoplatystoma tigrinum</u>		Bagre Tigre Caparari		578 (Lh)	57.8 (Lh)	3,4
<u>Pseudoplatystoma magdaleniatum</u>		Bagre Rayado		660 (Le) 570 (Lh)	66 (Le) 57 (Lh)	4,12

Figura 30. Análisis comparativo entre diferentes especies, su nombre común, la cuenca en la que se encuentran reportada y los tamaños promedio (Le, en mm y cm) y sus tamaños máximos para sus otolitos *Asteriscus* (editado y modificado de las fuentes: Martínez y Monasterio de Gonzo ,1988 y 1991; Pérez, 2005; FishBase, 2017).

8.2.2 Características Estructurales del Otolito *Asteriscus* en *Pseudoplatystoma magdaleniatum*

La forma de los otolitos ha demostrado ser específica para las especies, siendo que en algunos casos la morfología de esta estructura puede revelar variaciones geográficas asociadas a diferentes estoques (Campana y Casselman, 1993; Berg y Brown, 2000; Tuset, 2000; Pérez, 2005). Otros trabajos han mostrado que la morfología y características estructurales del otolito son altamente exclusivas para las especies de peces o su forma puede mostrar una variación clinal⁴ por la distancia o ubicación geográfica (Worthman, 1979; Gaemers, 1984; Smith, 1987; Berg y Brown, 2000; Gauldie y Jones, 2000). La variación clinal en las características morfométricas de los otolitos, ha sido investigada como herramienta para la discriminación y análisis que permiten la identificación de stocks de una misma especie habitando diferentes áreas (Tuset *et al.*, 2003b; Pérez, 2005; Vignon, 2012; Sadighzadeh *et al.*, 2014, Callicó-Fortunato, 2017).

La variación observada en la forma de los otolitos *Asteriscus* del Caparari del río Caparo según Pérez (2005), pudo deberse a dos razones: 1). Se asocia con la existencia de un polimorfismo de los otolitos, de igual manera que se observó en otras especies (Gauldier y Crampton, 2000); 2). Se podría vincular a la edad, ya que el borde de los otolitos tiende a ser más irregular conforme los otolitos aumentan de tamaño. La alta frecuencia de bagres tigre (Capararis) con edades mayores encontradas por Pérez (2005) en el río Caparo, confirman el mencionado polimorfismo. Por lo cual, otolitos de peces pequeños tienden a ser circulares que los otolitos de peces más grandes; presentándose estos últimos con forma estrellada e irregular. En el Dorado, *Brachyplatystoma rousseauxii*, el estudio de Feitosa (2004) demostró que existen variadas formas de otolitos para diferentes clases de tallas encontradas en el área del delta del Amazonas, demostrando que estas diferencias pueden estar asociadas a diferentes tasas de crecimiento.

Siguiendo estos hechos en el bagre rayado del Magdalena se puede observar polimorfismo según las clases de tamaños que se determinaron para la población estudiada y por otro también parece que varían con respecto la ubicación en la cuenca: alto Magdalena, medio Magdalena y bajo Magdalena, lo que correspondería a la “variación clinal”. El *Asteriscus* de bagres rayados de mayor tamaño su morfología se hace más discoidal, con un mayor desarrollo de su borde ventral, el rostrum es pronunciadamente puntiagudo y alargado; y en estos especímenes grandes la excisura se organiza mucho más profunda y angulosa. Para esta misma clase de talla de otolitos, incluidos los medianos (categoría II); los bordes tienen la tendencia a ser irregulares y el rostrum es bastante conspicuo en varios especímenes presentando diferentes elongaciones y proyecciones que se manifestó como rostrum bifurcado (tabla 1 de anexos; figuras 12 y 13). Por lo tanto, el crecimiento como actividad fisiológica puede alterar la manera y formas como crecen los otolitos, sus tasas de crecimiento, tanto en tamaño como en polimorfismo como lo observaron otros autores (Smith, 1987; Campana y Casselman, 1993; Feitosa, 2004; Alonso, 2002; Pérez, 2005).

4. Cambio gradual de rasgos fenotípicos de una misma especie por influjos y condiciones ambientales, palabra acuñada por biólogo Julián Huxley.

8.2.3 Relación tamaño del otolito - longitud del Bagre

Mediante el estudio de “Morfología del otolito *Sagitta* y determinación del crecimiento en especies del género *Serranus* (Osteichthyes, Serranidae)” de Tuset (2000); se resalta que para hacer unas inferencias más claras sobre las variaciones entre el tamaño de los otolitos y el tamaño de los bagres lo más indicado sería aplicar una combinación de la morfología descriptiva (ítem anterior), con parámetros de forma o descriptores de forma de otolitos (circularidad, elíptica, excentricidad, factor de forma, rectangularidad, redondez) y la aplicación de las armónicas de Fourier con el fin de mejorar la efectividad para reconocer y establecer con claridad los planes de ordenación de los stocks pesqueros del *Pseudoplatystoma magdaleniatum*.

A pesar de que esté presente trabajo no realizó un estudio mediante los descriptores de forma ni armónicas de Fourier; los resultados ponen de manifiesto que las variables morfológicas descritas en el otolito *Asteriscus* del bagre rayado, pueden estar relacionadas con cambios de hábitat a lo largo de su ciclo de vida, evidenciado por sus marcados movimientos migratorios. En este mismo sentido por ser una especie de hábitos alimenticios ictiófagos y carnívoros, más somera (entre los 0-10m), presento los Hilus (Sulcus) estrechos y el rostrum y ostium puntiagudo y ancho respectivamente a medida que los peces eran de medianos a grandes y se hallaban en sectores de la cuenca media y alta del Magdalena. Los individuos del bajo Magdalena se caracterizaron por ser los de menor tamaño, por lo que sus otolitos también presentaron polimorfismo (Figuras 12 y 13).

Si existen estudios morfológicos, morfométricos y taxonómicos tanto cualitativos como cuantitativos más complejos, que aportan información objetiva con relación a otras especies y regularmente de otolitos *Sagittae* (Lombarte *et al.*, 1991; Tuset, 2000). En este sentido, esta tesis es un gran aporte mediante la morfología del *Asteriscus* y permitió detectar los cambios que ocurrieron de manera significativa a lo largo de la historia de vida de la población en espacio-tiempo monitoreado. De igual manera que fue evidente en el género *Serranus* por Tuset (2000).

Para el bagre rayado del Magdalena en sus tres grupos de tamaños analizados, conforme aumenta la talla de la estructura calcárea, los otolitos de tallas pequeñas son estructuras bien ovaladas o discoidales y su Hilus (Sulcus, en los otros otolitos) está en la mitad de su *Asteriscus*; mientras que cuando la talla del mismo aumenta y en consecuencia la longitud del bagre también, en el 88.5% tiene otolitos con hilus desplazado al borde dorsal y solo el 11.5% lo presenta centrado como los pequeños. De manera que este es un carácter distintivo donde se ve reflejado los cambios en el aumento de talla del otolito y es directamente proporcional al aumento de la talla de los bagres. No obstante, estos caracteres sumados a otros permiten establecer que el crecimiento del otolito durante gran parte de su ciclo de vida presenta cambios más significativos que se generan a partir de tallas en las cuales los ejemplares ya son adultos o maduros sexualmente. Para dicho momento o tamaño, el metabolismo del pez sufre cambios que suelen ser provocados por

variaciones en su tasa de crecimiento, lo cual seguramente también afecta a la morfología del otolito (Bouain, 1981; Härkönen, 1986; García-Díaz et al., 1997; En: Tuset, 2000).

Estas observaciones y planeamientos se confirman con los recientes estudios, a partir del análisis local de contornos de otolitos *sagittae* en distintos grupos de Perciformes, donde se asocia la variabilidad de la *zona dorso-rostral*, relacionada con el desarrollo del ostium, con la variabilidad ambiental y funcional, similar a como se observó en el presente trabajo en el *Asteriscus* del bagre rayado, con su variabilidad del hilus y desplazamiento de la *zona dorso-ventral* (Sadigzadeh et al. 2014, Tuset et al. 2015b; En: Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015).

8.2.4 Caracterización del Patrón de marcación de los anillos de crecimiento en otolitos *Asteriscus*

Las marcas hialinas de los otolitos del Bagre rayado fueron caracterizadas de acuerdo con tres criterios: (i) Nitidez (buena, regular o mala), (ii) Tipo de marca (bifurcada, doble o simple), (iii) Patrón de espaciamiento entre marcas hialinas según el patrón esperado de crecimiento. El transcurso de un ciclo de crecimiento somático del individuo se basa en el principio de que, hay etapas con mayor o menor deposición de CaCO_3 , materia orgánica y otros elementos constituyentes de los otolitos (Oliveira, 1997; Fabré & Saint Paul, 1998; Valeruz-Rêgo et al., 1998; Pérez, 1999; Vieira, 1999; Morales-Nin 2000; Alonso, 2002).

Asumiendo ciclos “anuales”, el análisis macroestructural del crecimiento como el realizado en el presente trabajo, se puede inferir que las variaciones del crecimiento somático pueden ser causadas por diferentes eventos como la reproducción (focalización de la energía para el desarrollo gonadal), la migración (gastos por desplazamiento), la disminución de la disponibilidad de alimento (condiciones climáticas extremas, lluvias; en zonas tropicales), entre otros (Wheatherlay y Gill 1987, Busacker et al., 1990, Wootton, 1999, Saborido-Rey y Kjesbu, 2005). Estos factores alteran el esfuerzo fisiológico y la energía dirigida al crecimiento somático y, en efecto, cambian la tasa de deposición en los otolitos, promoviendo la formación de zonas más calcificadas (zonas opacas, ZO; relacionadas con mayor acreción de material) y otras menos calcificadas (zonas translúcidas, ZT; resultantes de una menor calcificación) (Figura 16) (Secor et al. 1991).

Esta terminología está relacionada con la naturaleza física y morfológica de la estructura y no con los aspectos directamente involucrados de su visualización en el estereomicroscopio. Si se logra determinar la periodicidad de la formación de estas marcas (*patrón de marcación*) y relacionarlas a fenómenos biológicos, se podrá obtener éxito en la asignación de edad y, en consecuencia, en la estimación del crecimiento. De esta manera, la caracterización y patrones de visualización de los anillos de los otolitos se convierte en uno de los principales aportes del presente estudio para los futuros trabajos de estimación las tasas de crecimiento para bragre rayado.

Como ya se mencionó, existen algunas características que hacen que las estructuras de los otolitos generen gran interés, en primer lugar, ellos crecen produciendo un *patrón de anillos concéntricos* de crecimiento (Reibish 1899), que, dependiendo de la especie y el tamaño, pueden ser observados por su transparencia o nitidez (Figura 21 y 22, *Asteriscus* del bagre) y así mismo se hace posible determinar su patrón de crecimiento y su edad en peces. Otra característica importante es que son inertes químicamente, es decir, una vez que se depositan los elementos químicos, estos no son reabsorbidos y se unen a la estructura cristalina prácticamente para siempre (Campana 1999). Por lo tanto, si los otolitos presentan anillos de crecimiento, reciben información ambiental a través de *elementos químicos y son químicamente inertes*, es razonable suponer que pueden contener toda la historia de vida de los peces en forma de información química, funcionando como verdaderas “cajas negras”.

Considerando a los otolitos como las "cajas negras" que albergan los testimonios del ciclo de vida de los peces, se podría llegar a la comprensión de aspectos bioecológicos poblacionales y de stocks pesqueros. El patrón de anillos y la composición química de los otolitos es influenciada de manera predecible por factores ambientales como la temperatura, la salinidad, la disponibilidad de oxígeno y la composición química del agua. Esto significa que, toda esa información ambiental que se registra en el interior de su estructura, a medida que su influencia se entienda mejor, se podría estimar más certeramente su variabilidad ambiental experimentada a lo largo de su vida, lo que los posiciona como potenciales herramientas de monitoreo ambientales (Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015).

En general los *Asteriscus* del bagre (Figura 21 y 22) presentaron una excelente visualización del patrón de marcación, donde la nitidez en los otolitos pequeños del bagre exhibe menor proporción de CaCO_3 que los otolitos grandes (los pequeños son más delgados y los grandes son gruesos), considerando esta premisa, los pequeños tuvieron mejor nitidez y transparencia que los otolitos grandes, por cual se propone hacer una aclaración diferencial por grupos de tamaños. Esta diferenciación en los depósitos de CaCO_3 relacionada con el tamaño del otolito y por ende con el tamaño del bagre, se conectaría con las temáticas ya tratadas de forma y características estructurales del otolito y relación tamaño del otolito - longitud del bagre, con las variables ambientales, variación clinal, por variaciones en la tasa de crecimiento, inducidas por migraciones alimenticias o reproductivas, entre otras.

Según los estudios de química y composición de otolitos en peces, este autor explica como ocurre la mineralización y cristalización de los distintos polimorfismos de otolitos, lo cual explica los diferentes caminos de aplicación y mecanismos empleo y manejo que se le puede dar a la información proporcionada a partir de estas estructuras. Por lo cual, sus resultados suministran la mejor evidencia hasta la fecha sobre el control orgánico de la formación de cristales en peces y sugieren que tanto la tasa y el tipo de cristales de CaCO_3 formado en otolitos está regulado por proteínas. Particularmente, diferentes polimorfismos de CaCO_3 parecen estar conectados con los diferentes órganos otolíticos. La aragonita que se relaciona por norma con las estructuras *Sagittae* y *Lapilli*; en los *Asteriscii* o *Asteriscus*,

Campana encontró que la mayoría están hechos de vaterita, lo que representa su aspecto vidrioso y transparente (Lowenstam y Weiner, 1989; Oliveira et al., 1996; En: Campana, 1999).

La vaterita es también el principal polimorfismo en muchos otolitos que se desvían o apartan de su configuración normal, los denominados por Campana (1999), como otolitos aberrantes y con apariencia cristalina. Este postulado permite corroborar los resultados obtenidos con respecto a la nitidez y transparencia de los otolitos *Asteriscus* del bagre rayado, dado que más del 60% tuvieron una excelente nitidez (propiedad que le confiere la vaterita y hace *Asteriscus* más transparentes) y más del 50% de sus estructuras presento sus marcas bien definidas con tipo de anillos simples, pues los dobles y bifurcados generalmente no se visualizaban bien.

8.3 Tendencia del crecimiento del Bagre Rayado

La interpretación de la tendencia como se desarrollan las marcas de crecimiento en los *Asteriscus* comienza fundamentalmente en el *primordium*, el cual determina el punto de partida de la formación del otolito y en efecto de las primeras deposiciones de gránulos de CaCO_3 , cuando aún el pez se encontraba en fase de larva (Wright et al., 2002; figura 13 y figura 16).

Los análisis macroestructurales como los del presente estudio, generalmente no permiten una adecuada visualización del primordio, pero si del núcleo, a manera de una gran región central opaca usada como referencia para lecturas de los anillos o marcas (figura 13 y figura 16). Fundamentalmente, es necesario establecer y tener bien claro cuál será el punto de referencia considerado como inicio de la formación del otolito y mantener este criterio en el material examinado; es lo sugerido por Volpedo y Vaz-dos-Santos (2015). Cuando no es posible establecer con claridad el primordio/núcleo, se podría recurrir a otros puntos de referencia, como la posición del *Sulcus acusticus* y definirlo como punto de inicio. En algunas especies como Clupeidos es común que el núcleo sea opaco o traslucido, lo cual revela la condición inicial del crecimiento de este grupo de individuos (Rossi y Wongtschowski et al., 1982; En: Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015).

También se debe definir el eje de lectura, donde los sucesivos anillos son contados y medidos hasta el borde. La elección del eje de lectura en la especie objeto de estudio de esta investigación, fue bien importante y finalmente se eligió el ángulo de 45° (figura 16); según la perspectiva, visualización de los anillos concéntricos de crecimiento y buscando la mejor representación la estructura del *Asteriscus* (Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015).

8.3.1 Secuencia del aumento del tamaño de los anillos de crecimiento en otolitos *Asteriscus*

La observación de los otolitos implica definir lo que es un anillo de crecimiento. Varios autores conceptualizan de forma diferente lo que es un anillo de crecimiento y, por esta razón, es esencial aclarar en cada estudio lo que se considera como anillo. El anillo representa el **ciclo** que se está evaluando. Usualmente se considera el conjunto de una zona opaca (ZO) y otra translúcida (ZT), como un anillo (Morales-Nin 1992). En *Cathorops spixii*, cuyo otolito *Lapillus* es el otolito más utilizado, la zona opaca es estrecha y la zona translúcida es más amplia (Figura 15 y 16 en el bagre rayado). En los otolitos *sagittae* ocurre generalmente lo contrario, con zonas translúcidas estrechas y zonas opacas amplias, como en *Mugil curema* y *Haemulopsis corvinaeformis* (Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015).

A lo largo del eje de lectura (45° en *Asteriscus* del bagre rayado), los radios de los anillos (R_n) son medidos al inicio de la ZT, siendo registrado también el radio del otolito (R_o). La naturaleza del borde también debe indicarse – si hay una ZT en el borde del otolito, el pez fue capturado en una época de menor crecimiento, cuando se estaba formando el anillo. Si el borde presenta una ZO, la captura fue en un momento de rápido crecimiento (Figura 15 y 16 en el bagre rayado) (Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015).

En algunos lectores dependiendo de su experiencia, es común usar la cuantificación de ZT y ZO estrechas y amplias (ICSEAF 1983). Cuando se hace la interpretación de anillos, se debe recordar que el crecimiento individual disminuye a lo largo del tiempo/edad. Luego, la distancia entre los anillos de crecimiento tiende a disminuir con la edad (cuanto más viejo es el pez), aunque esto no siempre puede ser observado. Además, a pesar de la variabilidad individual, se espera que en una misma población los eventos relacionados al crecimiento se procesen de modo semejante en los diferentes individuos (Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015).

En las observaciones realizadas en los otolitos del bagre rayado de sus zonas traslucidas (ZT) y opacas (ZO), se encontró la tendencia a conservar el patrón esperado de espaciamiento entre marcas hialinas según el patrón de crecimiento (ocurre en el bagre para las marcas finales) y cuando la distancia entre los anillos concéntricos tiende a disminuir con la edad (cuanto más viejo es el pez). Para comparar la exactitud de las lecturas se usó como herramienta el gráfico de desviación de edades (Figura 24.1) (Campana *et al.*, 1995). El cual, en nuestro caso, dado que no se hizo asignación de edad, se basa en el ploteo de las marcas de crecimiento encontradas (eje x), atribuidas a una medida de radio entre marca y marca (eje y) (Figura 24.1) (Campana *et al.*, 1995; En: Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015).

El gráfico de la constancia (propuesto por Vaz-dos-Santos y Rossi-Wongtschowski, 2007) consta de un ploteo individual del valor del radio de los anillos (R_n), por grupo de anillo, dependiendo de la longitud total (Figura 24). Permite averiguar si los radios de los anillos presentan la misma posición a lo largo de las marcas desarrolladas (cuando hay asignación de edad, de las edades), que es inherente a las propiedades de los otolitos, que una vez formados no son reabsorbidos (Morales-Nin 2000; Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015).

Por último, la cuantificación de la variación en los radios de las marcas (R_n) es otro aspecto poco discutido en estudios sobre el crecimiento de estructuras rígidas. Sin embargo, al igual que el número de anillos y el tipo de borde deben ser similares entre las lecturas; si los radios de los anillos son muy diferentes unos de otros hay inconsistencias. Una manera de comparar los radios entre las lecturas es a través de distribuciones de frecuencia (Morales-Nin y Panfili 2002a). Se elaboran distribuciones de frecuencias por intervalos de clase para los radios de cada anillo (Figura 26). El uso de las cuentas (Número de Anillos) y los radios de los anillos (R_n) como indicadores del crecimiento implica que los anillos representan este crecimiento.

El análisis de la posición de cada anillo, a través de las medidas de sus radios (R_n) es otra técnica que permite comprobar si los anillos representan al crecimiento. Debe utilizarse el gráfico de caja (Figura 24.1) para verificar la variación de los elementos de estadística descriptiva. Por ejemplo, con *M. curema* (Figura 31) (Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015), hay escasa superposición entre las cajas, que refuerza la adecuación del análisis de otolitos. Lo que nos permitió corroborar que los anillos de crecimiento de los otolitos del bagre rayado, al igual que los otolitos de otros peces como el ejemplo, presentan escasa superposición entre las cajas (Figura 24), indicando que a medida que el pez se hace adulto la distancia entre marca y marca es menor y se conserva el patrón de crecimiento esperado que tienen los otolitos, sobre todo en los peces viejos y longevos, debido a la proximidad de los anillos al borde. Se puede tener como su supuesto básico que la distancia entre los anillos se reduce gradualmente a lo largo del desarrollo y esto se visualiza también en el gráfico de constancia (Figura 25) de la medida del radio individual o tamaño de las marcas (R_n) con relación a las diferentes longitudes horquilla del bagre; pues los R_n se presentan en la misma posición a lo largo de las marcas desarrolladas (Campana 2001, Panfili y Morales-Nin 2002^a; Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015).

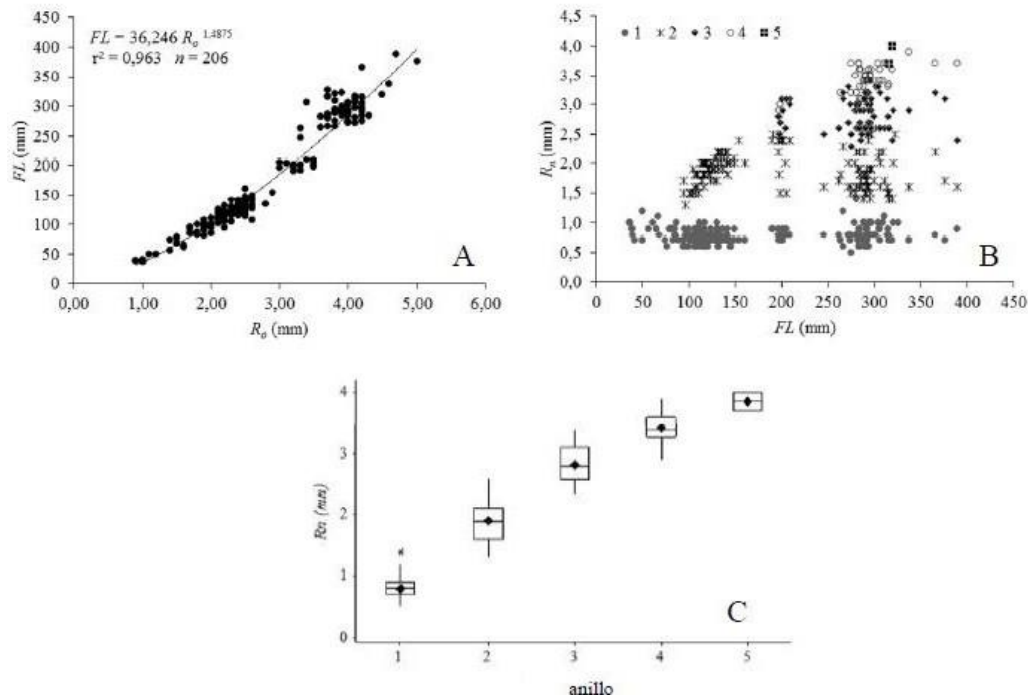


Figura 31. Ejemplo en *Mugil curema*: (A) Diagrama de dispersión y regresión entre los radios de los otolitos (R_o) y longitud total (LT), indicando proporcionalidad en las lecturas. (B) Gráfico de constancia indicando consistencia en la posición de los anillos (R_n) con relación a las diferentes longitudes totales (LT). (C) Gráfico de caja indicando poca superposición entre las medidas de los radios de los anillos (R_n), que acompañan al crecimiento (Tomado de Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015).

La secuencia del aumento de tamaño en los anillos de crecimiento de otolitos *Asteriscus* (sus radios individuales de las marcas de crecimiento R_n) debe tener en cuenta: (i) *otolitos seccionados* permitiría obtener mayor precisión en la identificación y medición de los anillos en el borde (Hyndes *et al.*, 1992); (ii) sus fuentes de sesgo son muestras insuficientes, análisis conjuntos de peces capturados a lo largo de periodos extensos y en especies con periodos reproductivos largos y varias fechas de eclosión (Lessa *et al.*, 2006); (iii) el alimento y la temperatura pueden influir en el ancho de los incrementos de los otolitos (Fey 2005; Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015).

Los conceptos que orientan el uso y aplicación de la progresión de modas de longitud del pez, con el análisis de la media de la longitud de cuerpo por grupo de anillo a lo largo de un ciclo (idealmente dos) permite comprobar el tiempo en que un nuevo anillo se forma con el aumento de la longitud (Yamaguti y Santos 1966, Vazzoler 1981, Saccardo *et al.*, 1988; Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015). Los estudios en el bagre confirmaron el ajuste esperado de disminución de la tasa de crecimiento a medida que aumenta el tamaño del pescado. Las distribuciones de frecuencia de los tamaños de cada una de las marcas identificadas se presentaron con tendencia unimodal (con un solo valor modal en la distribución de sus datos categóricos), indicando estabilidad en la identificación de los anillos, y el otro análisis se refiere al desplazamiento progresivo de los valores modales a la derecha, conforme aumenta el número de marcas (Figura 27)

Por su parte, el factor de condición, como una medida de bienestar del individuo (Bagenal y Tesch, 1978), puede ser utilizado eficientemente en estudios de dinámica poblacional,

ayudando a diagnosticar acerca del crecimiento, la alimentación y la reproducción. La validación de la formación de los anillos permite convertir a los grupos de anillos en edades. La asignación de la edad no es un proceso simple; depende de cuántos anillos se forman anualmente, cuando se forman, la fecha de la captura de los peces y cuando ocurre el reclutamiento (FAO 1981, Morales-Nin y Panfili 2002b). Elementos adicionales en la interpretación de los otolitos, asociados a eventos específicos (cambio de hábitat, primera maduración, alimentación, entre otros) deben ser diagnosticados (Volpedo y Vaz-dos-Santos, 2015). De ahí la importancia de asociar el factor de condición con las variables examinadas para esta estructura rígida. Tal como fue correlacionado en el ítem 8.1.3 de la presente discusión.

Con todo lo anteriormente expuesto nos atrevemos a decir que el desarrollo que expusieron los anillos de crecimiento del bagre rayado de los otolitos *Asteriscus* y con relación a la longitud del pez, presenta una secuencia o tendencia a disminuir de radio, de distancia entre los anillos de crecimiento la cual tiende a disminuir con la edad (cuanto más viejo es el pez); y con la información de los gráficos de distribución de frecuencia por grupo de anillo, se puede inferir que los ocho anillos encontrados en peces de hasta 112cm (Lh) pueden ser de organismos de mayores de ocho años, en dado caso que efectivamente se desarrollara un anillo por año. Por consiguiente, se podría suponer que, para los grupos de tamaños analizados durante el presente estudio, sus grupos más aproximados de edades serían: i) Bagres pequeños (46-69cm): 2 a 3 años; ii) Bagres medianos (70-90cm): 3 a 5 años; i) Bagres grandes (91-112cm): 5 a 8 años. (Figura 25, 26, 27 y tabla 1 de anexos). Es fundamental tener presente que el tamaño y la edad están intrínsecamente relacionadas con el peso de los especímenes de bagres Rayado, dado que puede haber peces con variaciones en el tamaño y la edad de los peces dependiendo del peso mayor o menor que pueda se obtener para una misma edad.

CONCLUSIONES

 Se analizaron otolitos *Asteriscus* extraídos, preparados, aclarados y fotografiados, digitalizando sus imágenes para caracterización morfométrica de marcas de crecimiento. Se seleccionaron 90 otolitos colectados en cuatro puertos pesqueros (Neiva=14, Dorada=4, Barrancabermeja=65 y Magangué=7).

 Se caracterizaron las marcas del otolito por nitidez, fuerza de marcación y correspondiente patrón esperado de incremento en tamaño de cada marca con el crecimiento del pez (Lh).

 Se obtuvieron bagres pequeños (46-70 cm) con 2-3 marcas, medianos (70-90 cm) 3-5 marcas y grandes (90-112 cm) 5-8 marcas. La medida del foco del otolito a la primera marca fue en promedio 1,18mm ($\pm 0,12$), continuando la progresión positiva hacia las siguientes marcas hasta obtener en la octava marca, promedio de 2,57mm ($\pm 0,18$). El incremento del tamaño y número de marcas en función del tamaño del bagre permiten proyectar la tendencia de la disminución de la tasa de crecimiento del pez a medida llega a su estado adulto.

 El desarrollo revelado por los anillos de crecimiento del bagre rayado en los otolitos *Asteriscus* y con relación a la longitud del pez, presenta una tendencia a disminuir de radio, entre marcas de crecimiento por lo cual tiende a disminuir con la edad (cuanto más viejo es el pez).

 Se puede inferir que los ocho anillos encontrados en peces de hasta 112cm (Lh) pueden ser de organismos de mayores de ocho años, en dado caso que efectivamente se desarrollara un anillo por año.

 Para los grupos de tamaños analizados durante el presente estudio, sus grupos más aproximados de edades serían i) Bagres pequeños (46-69cm): 2 a 3 años; ii) Bagres medianos (70-90cm): 3 a 5 años; i) Bagres grandes (91-112cm): 5 a 8 años. (Figura 25, 26, 27 y tabla 1 de anexos). Es fundamental tener presente que el tamaño y la edad están intrínsecamente relacionadas con el peso de los especímenes de bagres Rayado, dado que puede haber peces con variaciones en el tamaño y la edad de los peces dependiendo del peso mayor o menor que pueda obtenerse para una misma edad.

RECOMENDACIONES



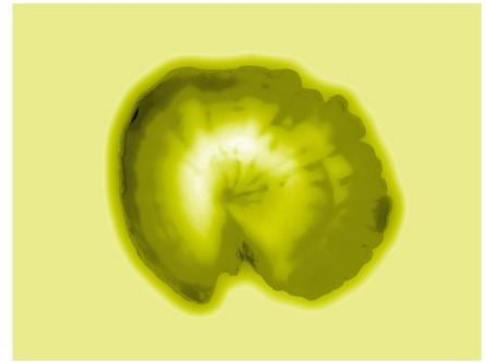
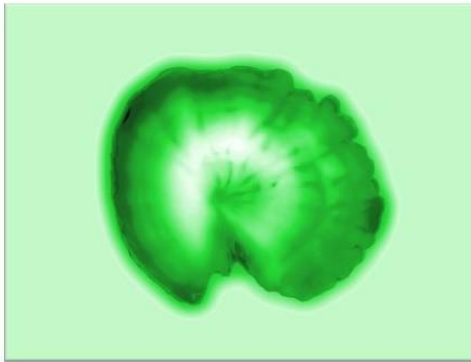
Se recomienda para futuros estudios de edad y crecimiento mediante otolitos *Asteriscus*, en *Pseudoplatystoma magdaleniatum* realizar cortes mediante cortadora metalográfica u osteomicrotomo en harás de poder visualizar con mayor precisión los anillos de crecimiento de esta especie y hacer una valoración exacta de la edad.



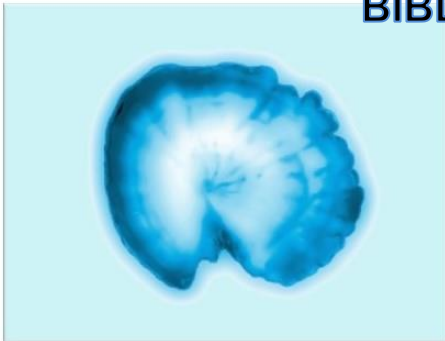
Siendo uno de los principales retos mejorar la precisión de la medida en la forma de los otolitos de esta especie se recomienda generar nuevos objetos de investigación, se propone hacer una aplicación de la información proporcionada por los otolitos en la interconectividad de los stocks pesqueros del Bagre Rayado usando su morfología, morfometría y composición química de sus *Asteriscus*.



Según el análisis y reporte espacio-temporal desde la década de los 70's hasta la actualidad se evidencio que la TMC del bagre rayado está entre los 55cm y los 65cm. Lo anterior sumado a los resultados obtenidos durante la presente investigación en cuanto a unos posibles grupos de tamaños de los bagres correspondientes a unos grupos de edades, donde el grupo de bagres medianos corresponderían a individuos entre 70-90 cm con posibles edades entre 3 a 5 años, siendo estos los tamaños y edades más próximos a peces adultos aptos para su reproducción, se le sugiere a la Autoridad de Pesca que la TMC legal que actualmente se encuentra en 80cm se disminuya a 70cm. Pero teniendo en cuenta algunas prudentes recomendaciones en aras de evitar que con el paso del tiempo el pescador empiece a pescarlo por debajo de esos 70cm. Generalmente existen diferencias en la merística que realiza un biólogo, técnico pesquero o científico con relación a la medida que puede considerar un pescador; pues su idiosincrasia y su tradición por lo general lo han llevado a medir el bagre al "ojímetro", siendo conveniente que se capacite al pescador artesanal y cuente con una herramienta confiable de medida en campo que valide los 70cm y de cumplimiento legal a la norma.



BIBLIOGRAFIA



BIBLIOGRAFÍA

- **Agudelo, E. 1994.** Composición y esfuerzo de las capturas comerciales en el bajo río Caquetá, sector la pedrera (Amazonía colombiana). Tesis biólogo. Universidad del Valle. Cali. 131 p.
- **Agudelo, E., Y. Salinas, C. L. Sánchez, D. Muñoz, M. E. Arteaga, O. Rodríguez, N. Ánzola, L. E. Acosta, M. Núñez. H., Valdés. Fabré, N. N., Donato, J. C. & Alonso, J. C. (Eds.) 2000.** Bagres de la Amazonía colombiana: Un recurso sin fronteras. Instituto amazónico de investigaciones científicas Sinchi. Editorial Scripto. Bogotá. 253 p.
- **Ajiaco, R. E.; Brand, O.; Riascos, C. P.; Rivera, R. C.; Nieto, J. A.; Manrique, B. G.; Guillot, L.; Galvis. I. V.; González, G. P.; Nieto, S. M.; Baquero, S. N.; Corporación Colombia Internacional CCI – (2011).** REVISIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE TRES ESPECIES DE PECES CON IMPORTANCIA COMERCIAL: BAGRE RAYADO, PARGO RAYADO Y PARGO LUNAREJO. CCI.
- **Alonso, J. C. 1998.** Pesca y Esforço de pesca de dos grandes Bagres (Siluriformes: Pimelodidae) em um sector Colombiano do Alto Amazonas. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA –INPA - UNIVERSIDADE DO AMAZONAS - UA. Dissertação (Doutorado)- INPA/UFAM.
- **Alonso, J. C. 2002.** Padrão espaço - temporal da estrutura populacional e estado atual da exploração pesqueira da dourada (*Brachyplatystoma flavicans*) no sistema Estuario - Amazonas-Solimões. Tese de doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA / Universidade Federal do Amazonas-UFAM. Manaus - Brasil. 217 p.
- **Alonso et al., 2010.** Capítulo V. *Recursos hídricos e Hidrobiológicos*, EN: PERSPECTIVAS DEL MEDIO AMBIENTE: AMERICA LATINA Y EL CARIBE: GEO ALC 3 Producido por: PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA).
- **Alonso, J. C., Escobar, F. D., Polo C. J. & Puente, V. 2014.** Capítulo 4.4. Aguas Continentales. En: Estado de los Principales Recursos Pesqueros de Colombia - 2014. Serie Recursos Pesqueros de Colombia – AUNAP. Puentes, V., Escobar, F. D., Polo, C. J., y Alonso, J. C. (Eds.). Oficina de Generación del Conocimiento y la Información, Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP ©. pp. 164 – 193.
- **Arce Hernández, M. 2008.** Evaluación del estado de poblaciones de bagre rayado *Pseudoplatystoma magdaleniatum* en la cuenca media del río Magdalena durante la temporada de subienda del 2004. Rev Acad. Colomb. Cienc. 32(123): 257-266, 2008. ISSN 0370-3908.
- **Assis, C. A.d. S. 2000.** “Estudo morfologico dos otolitos Sagitta, *Asteriscus* e Lapillus de teleósteos (Actinopterygii, teleostei) de Portugal Continental”. Tesis docto. Universidade de Lisboa.
- **Barreto C. G y Borda C. A. 2008.** Propuesta Técnica para la definición de Cuotas Globales de Pesca para Colombia, Vigencia 2009. Muñoz S. E., Puentes V., Sanabria, A.I. (Eds.). Documento Técnico concertado en el Comité Técnico Interinstitucional. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ica, Ministerio de Ambiente y Vivienda y Desarrollo Territorial. 263p
- **Barreto C. G y Borda C. A. 2008.** Evaluación de recursos pesqueros colombianos. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, ICA, Subgerencia de Pesca y Agricultura, dirección técnica de regulación. 131p
- **Beltrán, I. y Estrada, M. (Editoras). 2000.** El ordenamiento pesquero acuícola dentro del ordenamiento territorial y ambiental. Bogotá: Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura.
- **Benjumea, C.A. 2008** Distribución espacio-temporal del nitrógeno y fosforo y su relación con las condiciones ambientales en el sistema cenagoso de Ayapel, Córdoba, Colombia. Tesis de Maestría Universidad de Antioquia. 157pp.
- **Buitrago-Suarez, U.A y Burr, B.M. 2007** Taxonomy of the catfish genus *Pseudoplatystoma* Bleeker (Siluriformes: Pimelodidae) with recognition of eight species; Zootaxa 1512: 1–38. Magnolia Press.

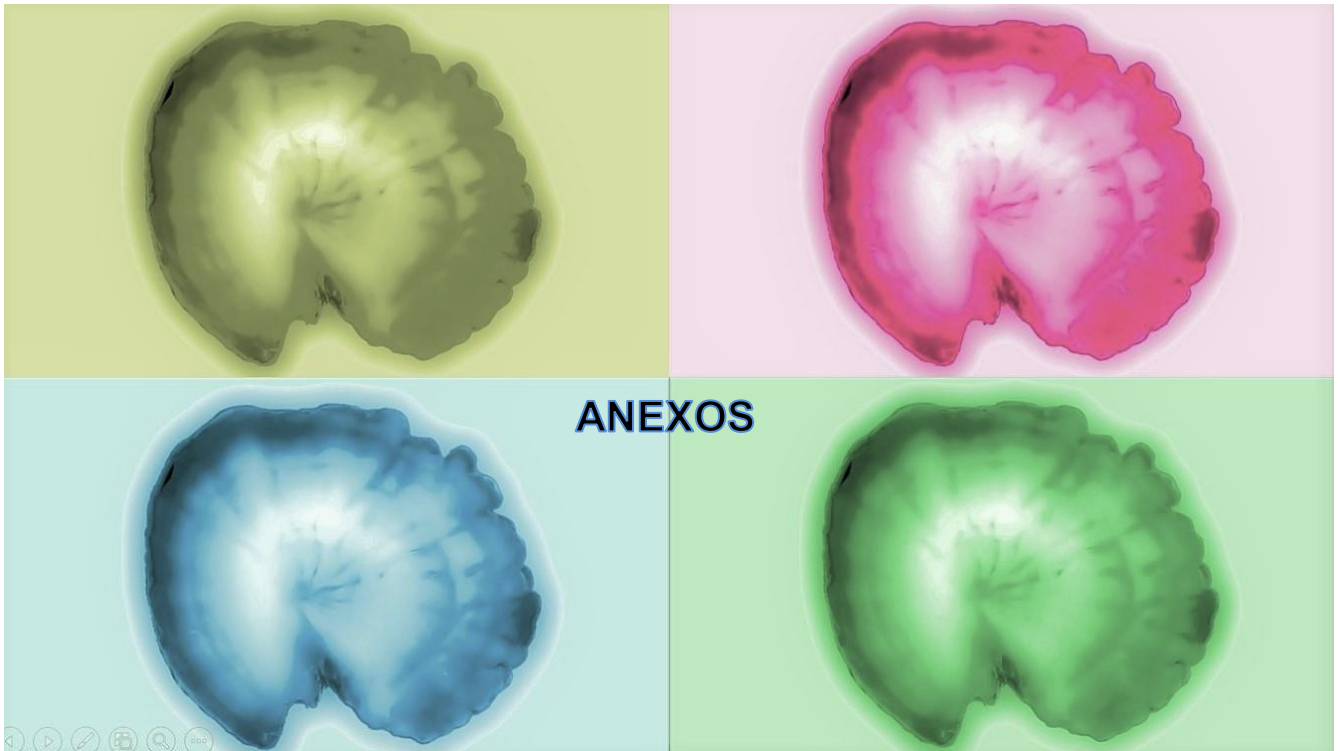
- **Camacho, 2006.** La pesca del Bagre Pintadillo rayado *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus, 1766): Aspectos del conocimiento Local, de la Biología Pesquera y de los Parámetros Poblacionales en el alto río Amazonas (sector de Leticia – Colombia). Tesis presentada para Magister en Estudios Amazonicos. Universidad Nacional de Colombia-Sede Leticia. 145p.
- **Campana, S. E. 1999.** "Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications". En: Marine Ecology Progress Series 188, pags. 263-297.
- **Csirke, J. 1980.** Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. FAO, Doc. Téc. Pesca, (192): 82 p.
- **CONSERVACION INTERNACIONAL COLOMBIA (CIC), 2011.** Sistemas de Información de precios y mercados, para la producción pesquera y acuícola, Boletín semanal No 43-Vol 7 del 23 al 26 Octubre del 2011, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Colombia.
- **CORMAGDALENA, 2004.** Atlas cuenca del río grande de la Magdalena. CORMAGDALENA, hacia la consolidación del río Magdalena.
- **Chalarca, D., R. Mejía, y N. Aguirre 2005** Aproximación a la determinación del impacto de los vertimientos de las aguas residuales domésticas del municipio de Ayapel, sobre la calidad del agua de la ciénaga. Revista Facultad de Ingeniería 40: 41-58.
- **Díaz Murillo, B. P., 2010.** Otolitos Sagitta de especies selectas de Gerreidae (Teleostei: Perciformes): variación interespecífica y su aplicación taxonómica. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS (CICIMAR-IPN). Tesis para optar al título de Master en Ciencias en manejo de recursos marítimos. La Paz B.C.S. México.
- **Dahl, G. 1971.** Los peces del norte de Colombia. Min. Agricultura –INDERENA talleres Litografía Arco, Bogotá. 243p.
- **Deza, S. A., R. S. Bazán y Z. G. Culquichicón. 2005.** BIOECOLOGÍA Y PESQUERÍA DE *Pseudoplatystoma fasciatum* (LINNAEUS, 1766; PISCES), DONCELLA, EN LA REGIÓN UCAYALI. FOLIA AMAZÓNICA 14 (2). IIAP. Perú.
- **Escobar, M. D. y Taphorn, D. C. 2006 ("2005").** Manejo de las poblaciones de bagres *Pseudoplatystoma fasciatum* y *P. tigrinum* (Siluriformes, Pimelodidae) del Orinoco, a partir de análisis de variabilidad genética. Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales, 164: 79-100.
- **FAO, 2015.** COLOMBIA PESCA EN CIFRAS/2014. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Ministerio de Agricultura de Colombia. Bogotá 2015. ISBN 978-92-5-308829-4.
- **Florez-Brand, P.E., C.E. Mondragón y L.E. Carabalí 2008** Ecología y manejo integral de humedales lenticos en el valle geográfico del río Cauca; Valle del Cauca; Colombia. VIII Seminario Colombiano de Limnología. Santiago de Cali 167p.
- **Fonteles, A. A. 1989.** RECURSOS PESQUEIROS Biologia e Dinâmica populacional. Imprensa Oficial de Ceará. 296p.
- **Fowler, H. W. 1942.** Lista de peces de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Vol 5 (7): 128-138
- **Fundación Humedales. 2010.** Plan de ordenación pesquera de la región noroccidental de la isla de Mompox. Informe Final Contrato de consultoría nº 038 dhs-002-09 para la Fundación Ecopetrol para el Catatumbo FUNDESCAT. Bogotá, 91p.
- **Gallo, H. & J. Díaz-Sarmiento. 2003.** Variabilidad genética del bagre rayado *Pseudoplatystoma fasciatum*, (Pises: Pimelodidae) en el río Magdalena (Colombia). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27** (105): 599-605. ISSN 0370-3908.

- **González, R., J. Mendoza, F. Arocha y A. Márquez. 2010.** Edad y crecimiento del bagre rayado *Pseudoplatystoma orinocoense* del Orinoco medio en Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 28(2): 283-293. 2010. Venezuela.
- **Gonzalez-Naya. M.J., 2011.** Influencia de factores ambientales sobre el otolito de *Australoheros facetus* (Pisces, Cichlidae) y algunas comparaciones con otras especies Neotropicales. Tesis para optar al título de Doctorado en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires; en el área CIENCIAS BIOLÓGICAS. Directora de tesis Doctoral: Dra. Alejandra V. Volpedo & Dr. Sergio E. Gómez. Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental (FCEN-UBA). Laboratorio de Biología Experimental, División Ictiología - Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" (MACN-CONICET) (2011).
- **Hilborn, R. & Walters, C.1992.** Quantitative Fisheries Stock Assessment - Choice, Dynamics And Uncertainty. Chapman and Hall. New York e London, 570 P.
- **Holden, M. 1974.** Problems in the rational exploitation of elasmobranchs populations and some suggested solutions. 137 p.
- **Holden, M. J. & Raitt, D. F. S. 1975.** Manual de Ciencia Pesquera, Parte 2; Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; ROMA, 214p.
- **King, M. 1995.** Fisheries biology, assessment and management. Fishing new books. Oxford, England. 341 p.
- **Lasso, C.A., E. Agudelo Córdoba, L.F. Jiménez-Segura, H. Ramírez Gil, M. Morales-Betancur, R.E. Ajiaco-Martínez, F. de Paula Gutiérrez, J.S. Usma Oviedo, S.E. Muñoz Torres t A.I. Sanabria Ochoa (Editores) 2011.** I Catalogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia. Serie Editorial recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Bogotá, D.C. Colombia, 715pp.
- **Loubens, G & J. Panfili. 2000.** Biologie de *Pseudoplatystoma fasciatum* et *P. tigrinum* (Teleostei: Pimelodidae) dans la bassin du Mamoré (Amazonie Bolivienne). *Ichthyol. Explor. Freshwaters.* 11 (1). 13 - 34.
- **MADR-CCI, 2007.** MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, CORPORACION COLOMBIA INTERNACIONAL; Informe Técnico Regional Cuencas del Magdalena, Sinú y Atrato- Pesca y Agricultura 2007.
- **Maldonado-Ocampo, J.A., A. Ortega, J. S. Usma, G. Galvis, F.A. Villa, L. Vásquez, S. Prada y C. Ardila, 2005.** Peces de los andes de Colombia. Instituto de Investigaciones y Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Bogotá. D.C. –Colombia 346p.
- **Maldonado-Ocampo; J. A. Vari; R. P y Usma. J. S. 2008.** Checklist of the Freshwater Fishes of Colombia, *Biota Colombiana* 9 (2), 2008
- **Martínez, V. y G. A. Gonzo, 1988.** Morfología de otolitos de *Heptaterus mustelinus* (Valenciennsis, 1840) (Pimelodidae) su relación con parámetros dimensionales. Catedra de Zoología de Vertebrados. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta (U. N. Sa), Complejo Universitario Gral. San Martin. Salta-Argentina. Buenos Aires. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* 19(1): 27-37 (1988).
- **Martínez, V. y G. A. Gonzo, 1991.** Clave de identificación de algunos peces Siluriformes en base al estudio de sus otolitos. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta (U. N. Sa), Complejo Universitario Gral. San Martin. Salta-Argentina. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* 22(2): 95-118 (1991).
- **Martínez Pérez J. A; Chávez Arteaga M. M; Tello Musi J. L. y Morales Aranda A. A. 2007.** Utilización de otolitos como herramienta en la determinación de especies. *Revista de Zoología*, núm. 18, 2007, pp. 13-18, Universidad Nacional Autónoma de México. México. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49801802>.

- **Mascareñas, I. Oropeza, O. A. y Balart., E. F. 2003.** Otolitos de peces de arrecife del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- **Miles, C. 1947.** Los peces del río Magdalena. Ministerio de Economía Nacional Sección de Piscicultura Pesca y Caza Editorial El Gráfico. Bogotá
- **MIER UCO., L. A. 2011.** Catálogo de otolitos de peces capturados en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Para obtener el título de: Licenciatura en Biología opción Biología Marina. Secretaría de Educación Pública subsecretaría de Educación Superior, dirección general de educación superior tecnológica, Veracruz. México.
- **Mojica, J.I., C. Castellanos, J. S. Usma y R. Álvarez (Eds.) 2002** Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. La serie Libros rojo de especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales Universidad nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia.
- **Mojica, J.I. 2002.** Las pesquerías de la cuenca del Magdalena. Ejemplo a no repetir. P: 35-41 En: Mojica, J.I., C. Castellanos, J. S. Usma y R. Álvarez (Eds.) 2002 Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. La serie Libros rojo de especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales Universidad nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia.
- **Mojica, J.I., G. Galvis, P. Sánchez, C. Castellanos y F.A. Villa 2006.** Peces del valle medio del río Magdalena, Colombia. Biota Colombiana Vol 7 (1): 23-37p
- **Mojica, J. I.; M. Valderrama y C. Barreto. 2012.** *Pseudoplatystoma magdaleniatum*. Pp. 57. En: Mojica, J. I.; J. S. Usma; R. Álvarez-León y C. A. Lasso (Eds). 2012. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia 2012. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales Bogotá, D. C., Colombia, 319 pp.
- **Morales-Nin, B. 1991.** Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos FAO Documento Técnico de Pesca. No. 322. Roma, FAO. 1991. 58 p.
- **Morales-Nin, B. 1998.** "Daily increments in otoliths: endogenous and exogenous growth regulation". En: 2nd International Symposium on Fish Otolith Research and Application Radisson SAS Royal Bryggen, Bergen, págs. 20-25.
- **Pauly, D. 1983.** Algunos métodos simples para la evaluación de recursos pesqueros tropicales. FAO Doc. Tec. Pesca (234).49p.
- **Perez, A. 2005.** Ciclo de Vida e Dinâmica Populacional do Caparari *Pseudoplatystoma Tigrinum* Valenciennes 1840 (Pisces; Pimelodidae), no Rio Apure, Bacia do Rio Orinoco. UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA –INPA. tese (Doutorado)- INPA/UFAM.
- **PROCER 2007** Programa de conservación de especies en riesgo 2007-2012: 24p.
- **Reid, S. 1983.** La biología de los bagres rayados (*Pseudoplatystoma fasciatum* y *Pseudoplatystoma tigrinum*) en la cuenca del río apure Venezuela. En: Rev. Unellez. Cien. y Tecnol. Ser. Prod. Agric. 1 (1): 13-41.
- **Ricker, W. E. 1975.** Computation and interpretation of biological statistics of fish population. Canada: Bulletin Fish Research Canadian (191). 382p.
- **Sparre, P., y Venema, S. C. 1997.** Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. Roma: FAO Documento técnico de pesca, 306(2). 420 p.**Steindachner, F. 1879** Zur fischfauna des Magdalenen- Stromes Denkschr Anz. Akad. Wiss. Wien 39 (19): 19- 78
- **Tilak, R. – 1963.** Studies on the comparative morphology of the otoliths of Indian siluroids. Zool. Anz., 173: 181-201.

- **Tobasura, I. 2006** Una visión integral de la biodiversidad en Colombia. Lunazul. Universidad de Caldas. 5p.
- **Tombari, A., A. V. Volpedo y D. D. Echeverría. 2000.** "Patrones morfológicos en la Sagitta de peces (Atherinidae: Odontesthes) de Argentina". En: THALASSAS 16.11, e19.
- **Tombari, A., A. V. Volpedo y D. D. Echeverría. 2005.** Desarrollo de la Sagitta en juveniles y adultos de *Odontesthes argentinensis* (Valenciennes, 1835) y *O. bonariensis* (Valenciennes, 1835) de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Teleostei: Atheriniformes). Revista Chilena de Historia Natural 78: 623-633, 2005. Laboratorio de Vertebrados, Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Ciudad Universitaria Pabellón, Buenos Aires, Argentina.
- **Tuset, V. M. 2000.** Morfología del otolito *Sagitta* y determinación del crecimiento en especies del género *Serranus* (Osteichthyes, Serranidae). Departamento de Biología Animal (Ciencias Marinas), requisito para optar al título de DOCTOR en la Universidad de la Laguna, Tenerife, Islas Canarias (ESPAÑA).
- **Tuset, V., A. Lombarte y C. Assis. 2008.** Otolith Atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. Scientia marina. 7-198.
- The Nature Conservancy, Fundación Alma, Fundación Humedales & AUNAP. 2016. Estado de las planicies inundables y el recurso pesquero en la macrocuenca Magdalena-Cauca y propuesta para su manejo integrado. Bogotá, Colombia (ISBN 978-958-8575-82-7). 554 pp.
- **Ustate Duarte E. 2002.** Diagnóstico de la cadena productiva pesquera en la república de Colombia. Estudio de prospectiva para la cadena productiva de la industria pesquera en la región de la costa del Pacífico en América del Sur Project No.: US/RLA/02/149. OPTI. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo
- **Valderrama, M., M. Zarate, G. Vera, C. Moreno, P. Caraballo y J. Martínez. 1988.** Determinación de la talla media de madurez y análisis de la problemática con referencia a las tallas medias de captura del bagre rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum*) Linnaeus 1766 (Pises: Pimelodidae) en la cuenca del río Magdalena, Colombia. Trianea (Act. Cienc. Tecn. INDERENA) 2: 537-549
- **Valderrama M., L.F. Jimenez-Segura, R. Alvarez-Leon, G. Gonzalez-Canon, F. Salas, S. Hernandez y M. Zarate. 2011.** *Pseudoplatystoma magdaleniatum*. Capítulo 7.9 Siluriformes. Pp. 491-496 En: Lasso, C. A., Agudelo, E., Jimenez-Segura, L. F., Ramirez-Gil, H., Morales-Betancourt, M. A., Ajiaco-Martinez, R. E., Gutierrez, F. de. P., Usma, S., Munoz, S. & Sanabria, A.(eds). 2011. I. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia; serie recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia.
- **Valderrama. M. 2015** La pesca en la cuenca Magdalena-Cauca: Análisis integral de su estado y su problemática, y discusión de la estrategia de manejo. Serie de ocho artículos a partir de los Foros regionales "¿Para dónde va el río Magdalena? Riesgos Sociales, Ambientales y Económicos del Proyecto de Navegabilidad". Foros que se llevaron a cabo en 2015 en Bogotá (14 de abril), Barranquilla (28 de julio) y Honda (septiembre).
- **Valeruz-Rêgo, H.; Fabré, N. N. & Pérez, L. A. 1998.** Estruturas calcificadas de dourada (*Brachyplatystoma flavicans*) para determina  o da idade. Boletim do Museu Paraense Em lio Goeldi, Serie Zoologia. 14. (2) 25 p.
- **Vieira, E., V. Isaac, N. N. Fabr . 1999.** Biologia reprodutiva do tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) (Teleostei, Serrasalminidae), no Baixo Amazonas, Brasil. En: Acta Amazónica. 29 (4): 625 - 638 p.
- **Vieira, E. F. 1999.** Determina  o da idade e crescimento do jaraqui de escama grossa (*Semaprochilodus insignis*) na Amazonia Central. (Disserta  o de mestrado) INPA/FUA. Manaus. 86p
- **Vieira, E. F. 2003.** Din mica estacional e interanual de la estructura poblacional y el impacto de explotación pesquera en el jaraqui de escama fina (*Semaprochilodus taeniurus*) y el jaraqui de escama gruesa (*S. insignis*) en sistemas hidrográficos de Amazonia central. (tesis de doctorado) INPA-UFAM 246p.

- **Volpedo, A. V. y D. D. Echeverría. 2000.** Catálogo y Claves de otolitos para la identificación de peces del Mar Argentino. Ed. Dunken. Argentina.
- **Volpedo, A. V. y D. D. Echeverría. 2001.** "Morfología y morfometría de las Sagittae de Sciaenidos marinos del norte de Perú". En: Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción 72, págs. 147-154.
- **Volpedo, A. V. y A. M. Vaz-dos-Santos. 2015.** Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones/ Métodos de estudos com otólitos: princípios e aplicações –1a ed. edición bilingüe. – Ciudad Autónoma de Buenos Aires, ISBN 978-987-33-8884-2. CAF-P-BA-PIESCI
- **Zar J. 1999.** Biostatistical Analysis. Prentice Hall. 4ª edición. New Jersey. 663 p. 570.1 Z36
- **Zárate, M., J. Martínez, P. R. Caraballo, G. Vera y M. Valderrama. 1989.** Evaluación de la captura y esfuerzo pesquero en la cuenca del río Magdalena y su sistema de planos inundables durante la subienda 1988. Informe Técnico. INDERENA, San Cristóbal (Bolívar).
- **Zarate, M. 1991.** Estimación de crecimiento y mortalidad del bagre pintado *P. fasciatum* presente en la parte baja de la cuenca del río Magdalena y su relación con el grado de madurez sexual. Inderena. 58 p.



ANEXOS

1. GLOSARIO DE TÉRMINOS usados para la DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE OTOLITOS *ASTERISCUS* en bagre rayado, basado en Martínez y Monasterio-Gonzo (1991).

Antirrostrum o Antirrostro→ Proyección o elongación de la estructura calcárea **más corta** del borde anterior.

Borde o Margen→ Intersección de contacto o unión entre dos superficies.

Borde Anterior→ Este borde se identifica usualmente y fácilmente porque se ubica la hendidura o ranura llamada: **excisura**; perteneciente al sulcus o hilus, considerando el *Lapillus* y *Asteriscus*, respectivamente. Para los otolitos *Sagitta*, el extremo puntiagudo o afinado es considerado como borde anterior, carece de la denominación de excisura.

Borde Dentado→ Arreglo de formaciones calcáreas dispuestas sub-cónicamente.

Borde Liso→ Sin evidencia de arreglos o formaciones irregulares en el borde.

Borde Ondulado→ Cuando presenta un borde con formaciones dispuestas a manera de ondas o sinuosidades.

Borde Posterior→ Es el que se encuentra enfrente al borde anterior.

Canaleta Perisulcal→ Es una depresión o canal circundante a la cresta del **Hilus**.

Cara Inferior→ Es la sección del otolito que carece de accidentes o irregularidades calcáreas.

Cara Superior→ Es la sección del otolito que presenta la mayor parte de accidentes esculpidos o de irregularidades calcáreas; entre ellos el Sulcus e **Hilus**.

Cauda→ Es una región ovalada o redondeada que se amplía posteriormente al **Collum** o **Cuello**; formando parte del Sulcus o **Hilus**.

Collum o Cuello→ Es una sección en el otolito donde intermedian y se comunican el Ostium con el Cauda.

Excisura→ Es la porción del Borde Anterior, que se caracteriza por su muesca o abertura angulosa localizada entre el **Rostro** y el **Antirrostro**.

Forma Piriforme→ en forma de Pera o elipsoide, lo cual también se asemeja a un círculo achatado; el caso de la configuración de este otolito tiene en la mitad la hendidura de la excisura.

Hilus o Canaleta→ Es un carácter y denominación propia del *Asteriscus*. Es un accidente que tiene una profunda hendidura o canal en el Borde Anterior, usualmente se extiende

hasta el centro del otolito en su porción media; donde tiene la forma de una canaleta o surco, de ahí que sea comparable al **Sulcus**.

Ostium→ Se denomina a la sección previa y algo ancha; muy próxima al Borde Anterior, que forma parte del Sulcus o Hilus, siendo su *límite anterior* la **Excisura** y su *límite posterior* es la **Cauda**.

Reborde o Cresta→ Considerado como el engrosamiento calcáreo que rodea la porción del Hilus.

Rostro→ En el otolito *Asteriscus* del bagre rayado es bastante evidente e identificable. Este se reconoce como la proyección **más larga** en el Borde Anterior.

2. OBSERVACIÓN Y CAPTURA DE IMÁGENES DE OTOLITOS -Protocolo de edición de fotografías-

Los pasos para el protocolo de edición de fotos en el programa Corel PaintShop Pro-X6, son muy sencillos. Solo se sigue una serie de marcha en la opción de ajustes y se hacen los cambios en las opciones de matiz y saturación, nitidez y suavidad. Las características específicas para cada una de estas opciones de ajustes se darán a continuación; los detalles a realizar en herramientas de pintura en pote negro y con el pincel de oleo negro; y más especificaciones (Figura 1).

El protocolo de edición de fotos en CorelPaintShop Pro-X6 consiste en una serie de pasos a través de varias funciones de la función de Ajustes. La 1). Matiz y Saturación; El Matiz, compensa el tinte de color verde o magenta y la Saturación, cambia la intensidad o pureza del color, un color muy saturado tiene un color vivo e intenso, mientras que un color menos saturado parece más descolorido y gris. Conocida esta propiedad, se le adjudico un valor de Matiz y Saturación en el programa con la siguiente puntuación: Matiz (-8) /Saturación (10) /Luminosidad (-20). 2) Nitidez, se aplica este ajuste en la edición de fotografía con el objetivo de darle estabilización a la imagen y así ayudar a mejorar su nitidez en las imágenes afectadas por el movimiento de la cámara. Fotos con un menor enfoque presentan menor brillo y producen más luz aparente. Lo opuesto son fotografías con un mayor enfoque y un brillo alto, lo cual produce menos luz aparente e iluminaciones más **nítidas** y brillantes. En el programa se seleccionó Nitidez, luego Enfoque de paso Alto con Radio (10) / Fuerza (50)/Modo de Mezcla (Superposición), posteriormente Nitidez y la Opción Enfocar (1 Sola Vez) y por último se vuelve y se elige Nitidez en la opción Enfocar Mas (2 veces). 3) Suavidad, es una función que se utiliza para suavizar los bordes de una imagen mediante el suavizado de la transición de color entre los píxeles del borde y los píxeles del fondo. Dado que solo cambian los píxeles del borde, no se pierde ningún detalle. En el Protocolo de edición de fotos de los otolitos del bagre rayado, solo se usó la función suavizar (1 vez). 4) En las opciones de herramientas, se aplica la herramienta Bote de Pintura y se selecciona el color Negro, este color se aplica a todo el fondo de la foto del otolito para eliminar cualquier ruido que haya en la imagen por partículas en el agua o suciedad en el lente. Por último, el paso 5) Se selecciona en la barra de herramientas el Pincel de Oleo, con las siguientes características: color (Negro), Carga (80) /Viscosidad (50) /Firmeza (40) y tamaño de pelo (50); estas se eligen en opciones de herramientas. Este paso se realiza con el fin de corregir los puntos blancos que se presentan en las imágenes, que son suciedad del lente.

Para hacer el proceso de análisis de las estructuras duras en el Bagre Rayado del Magdalena, en este caso específico de los Otolitos *Asteriscus*, en los cuales nos enfocamos; se definió la forma más apropiada para la captura de las imágenes. Se usó dos tipos estereoscopios; un estereoscopio marca Leica EZ4 HD con cámara digital integrada de alta definición y el software respectivo, y un estereoscopio marca Nikon DS-U2/L2; también con su respectiva cámara integrada de alta precisión y un software o Programa para la cámara alterno, con el cual se tomaron las fotografías que traía este estereoscopio llamado NIS-Elements F 3.2. las cuales se capturaron en el laboratorio de Acuicultura de la Universidad Surcolombiana (Figura 1).

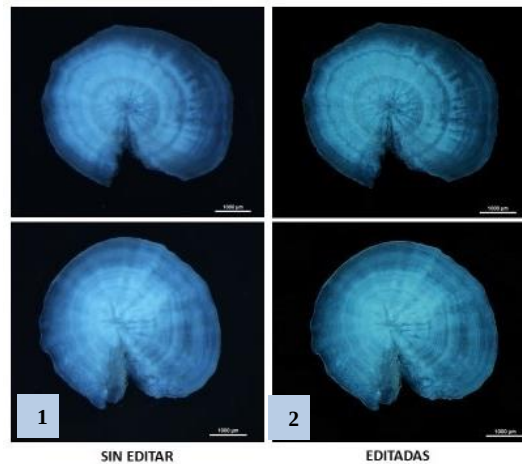


Figura 1. Fotografías de dos otolitos *Asteriscus* derechos 1.) antes de editar y 2.) después de editar, mediante el programa Corel PaintShop Pro-X6.

Las pruebas para la luz adecuada en las que se trabajaron las fotografías; incluyeron el uso de la lámpara interna del estéreo, lámparas externas; hasta llegar a perfeccionar la técnica y usar un anillo de luces LED que se acoplaba al cabezal del estéreo mediante plastilina tipo (la de color azul). Las imágenes tomadas a través del Anillo de Luz LED, fueron desarrolladas como las fotografías finales para las mediciones de los otolitos en el recipiente negro que se ve en la foto de la Figura 2, imagen 4. El estereoscopio de la marca CIPPON, con el cual se realizaron ensayos fotográficos previos al uso de los otros estéreos; invertía la lateralidad de los otolitos y esto dificultaba el análisis fotográfico para las mediciones y la edad y crecimiento de la especie, entonces fue descartado. Por lo cual, en definitiva, se optó por el uso del estéreo Nikon (Figura 3).



Figura 2. Estación de trabajo para la captura de imágenes de los otolitos *Asteriscus* derechos en el estereoscopio marca Nikon DS-U2/L2 (1.), fotos del proceso de aclaración, cuando se adicionan los químicos (2. & 3.) y acercamiento al anillo de luces LED (4).

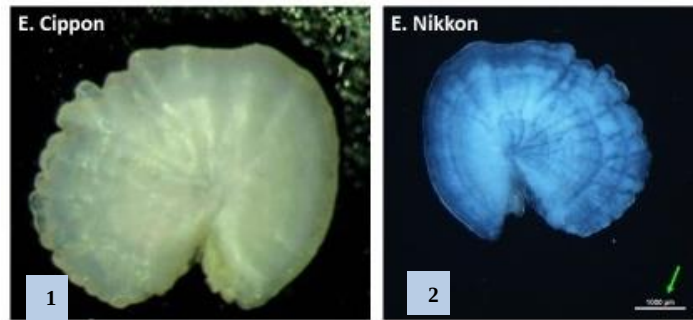


Figura 3. Fotografía sin editar del mismo otolito *Asteriscus* derecho, 1.) la primera es mediante el estereoscopio de marca Cippon y la segunda es con el estereoscopio marca Nikon (2.).

3. CALIBRACION DEL PROGRAMA DE MEDICION DE LOS OTOLITOS *ASTERISCUS* Y ALGUNOS INCONVENIENTES

Para la calibración del programa de medición de los otolitos UTHSCSA_ImageTool v 2.00 se hizo uso de una reglilla micrométrica de vidrio con una cuadrícula 1cm^2 , la cual fue fundamental para la localización de los ángulos y mediciones de A_max y L_Max en las imágenes. Esta manera de calibrar consistía en insertar la fotografía que se ve en la Figura 4. al software de medición y de este modo quedaba calibrado por defecto para 1mm y empezaba a medir todas las longitudes y ángulos de otolitos.

Cuando se realizaron los cálculos estadísticos y las respectivas regresiones lineales, se observó un error en la dispersión de los datos del A_max y L_Max contra la Lh de los peces para toda la cuenca del Magdalena (Figura 5). Dado que los datos se distribuían en dos grandes grupos como si pertenecieran a dos poblaciones de peces. Esto no podía ser posible, puesto que se había comprobado por los datos del grupo de genética que el bagre rayado del Magdalena es un solo Stock genético y pertenece a una misma población, así que no se pueden dar divisiones de este tipo en los datos.

Se debió hacer un nuevo cálculo, esta vez se hizo de la misma forma, con el mismo método de calibración, las correcciones se realizaron en la manera de ver las líneas de medida de referencia en las imágenes (Figura 4).

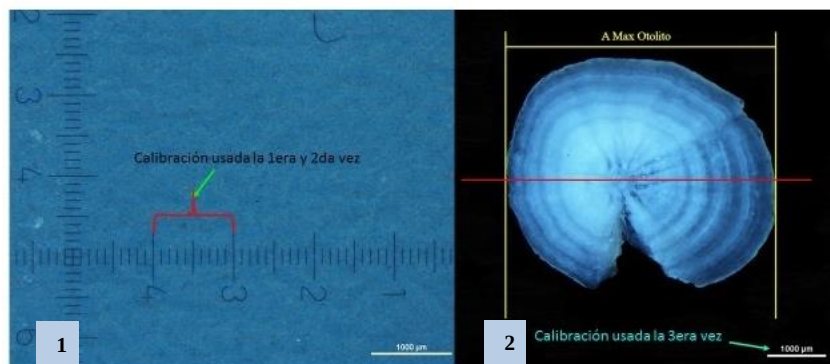


Figura 4. 1.) Fotografía donde se señala en la reglilla micrométrica la medida equivalente a 1mm. 2.) Foto que indica el equivalente en micras a 1mm.

Luego del segundo recalcule se realizaron verificaciones de los datos nuevamente y se volvió a pasar la estadística; el error de los dos grupos persistía. Entonces se recurrió a los datos originales para establecer si ahí yacía el error. Se hizo una gráfica de dispersión Lh-vs-Peso y LH-vs-Lest de los datos tomados en campo (Figura 5); y esta figura proporcionó confiabilidad con respecto de los datos primarios. Por ende, fue necesario recurrir a buscar el error en otra parte.

La falla en la calibración resultó estar en el momento de la captura de la imagen. Pues siempre se tomaron bajo el mismo objetivo o X's del estéreo, pero no con el mismo zoom del software de medición. Y es que este software permitía hacer algo de edición previa, además de que los otolitos de las diferentes localidades variaban considerablemente de tamaño, quedando las fotos con unos pixeles y otras fotos con otro pixelaje, lo cual varió la escala en las fotos.

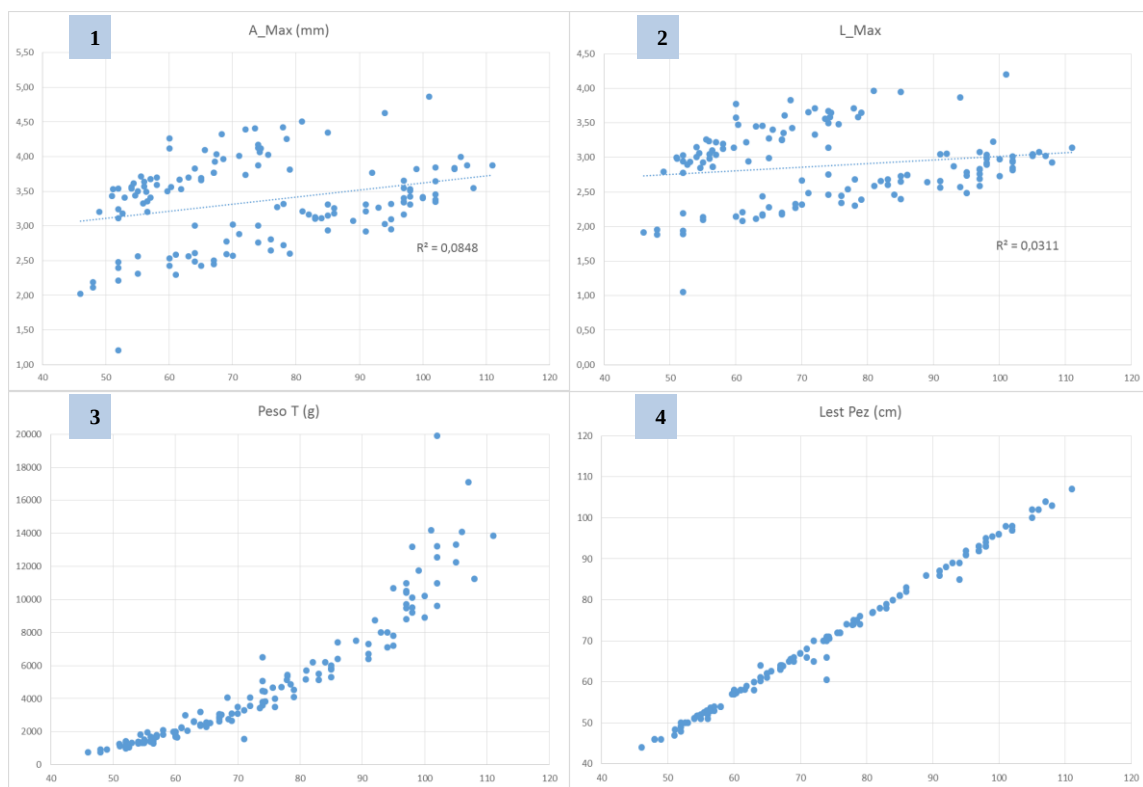
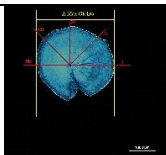
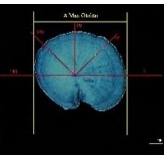
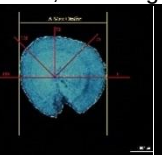
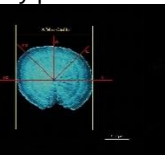
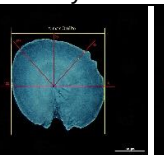
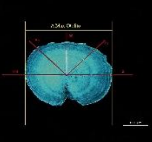
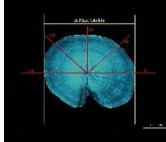
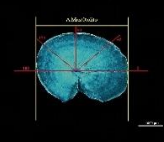
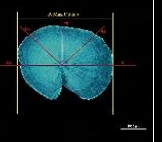
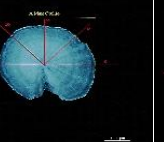
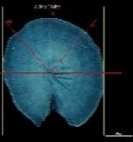
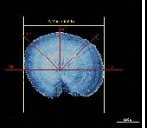
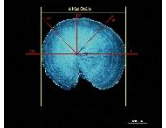
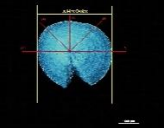
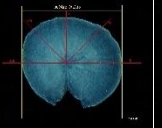
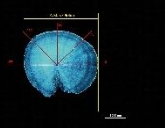
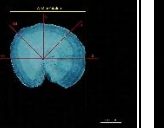
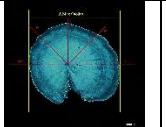
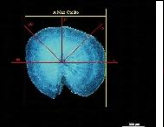
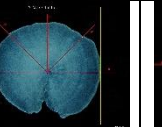
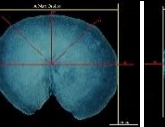
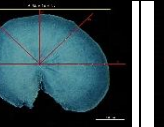
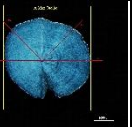
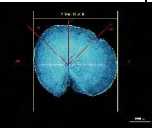
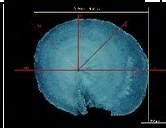
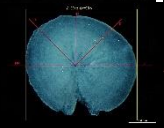
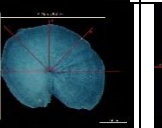
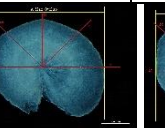
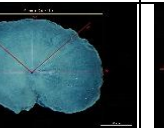
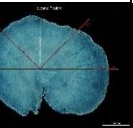
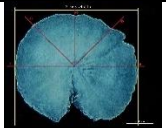
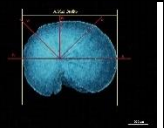
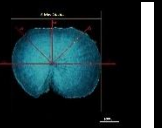
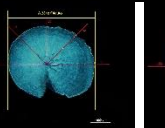
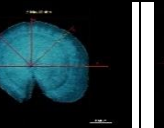
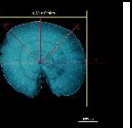
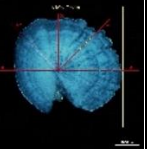


Figura 5. Dispersión de datos para el 1.) A_Max, 2.) L_Max de otolitos contra la longitud horquilla (LH) de peces para toda la cuenca del Magdalena. Verificación de los datos originales en 3.) Gráfico LH-vs-Peso y 4.) LH-vs-Lest.

Tabla 1 de Anexos. Las tres categorías o Cohortes para los otolitos examinados en el bagre rayado del Magdalena, en fotografías para observar las diferencias entre sus tamaños, morfologías y patrones de formas y crecimiento.

Categoría I PEQUEÑOS (46-69cm)							
							
							
Categoría II MEDIANOS (70-90cm)							
							
							
							
Categoría III GRANDES (91-112cm)	