

**EFFECTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BIOLOGIA Y REPRODUCCION
DE LA RAYA DE AGUA DULCE (*Potamotrygon Magdalenae*),
EN LA CIENAGA DE ZAPATOSA.**

TESISTAS:

**CRISTIAN ANDRES ORTIZ QUINTERO
CARLOS DANIEL FAJARDO RODRIGUEZ**



**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, COLOMBIA**

2020

**EFFECTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BIOLOGIA Y REPRODUCCION
DE LA RAYA DE AGUA DULCE (*Potamotrygon Magdalenae*),
EN LA CIENAGA DE ZAPATOSA.**

TESISTAS:

**CRISTIAN ANDRES ORTIZ QUINTERO
CARLOS DANIEL FAJARDO RODRIGUEZ**



**Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental y Sanitario**

Director:

MSC. LUIS ÁNGEL ACOSTA MURGAS

Línea de investigación:

**GESTION INTEGRAL DE LA BIODIVERSIDAD Y DEL PATRIMONIO
AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, COLOMBIA**

2020

Nota de aceptación

<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>

Firma del presidente del Jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Valledupar Cesar, 2020

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a todas las personas que de una u otra forma han contribuido a nuestra formación profesional, especialmente a nuestros padres que confiaron en nuestras capacidades y apoyaron nuestros sueños profesionales, económica y moralmente. Con mucho cariño dedicado a nuestros compañeros Josías Castro y Angie Farfan, quienes siempre estuvieron ahí para aportar sus conocimientos en los momentos de dudas, orientarnos y alentarnos en los días más tensos y difíciles durante nuestros estudios de pregrado y trabajo de tesis.

AGRADECIMIENTOS

Manifestamos un infinito agradecimiento a nuestro director Luis Ángel Acosta Murgas; quien confió en nuestras capacidades para asignarnos este tema de investigación y con mucha paciencia y sabiduría atendió todas nuestras preguntas, y nos guió por el camino correcto para la realización del presente estudio.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
GLOSARIO.....	13
INTRODUCCION.....	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
2. JUSTIFICACION.....	17
3. OBJETIVOS.....	18
3.1.OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. MARCO REFERENCIAL.....	19
4.1.ANTECEDENTES.....	19
4.2.MARCO TEORICO.....	22
4.2.1. Ecosistemas acuáticos.....	22
4.2.2. Ciénagas.....	22
4.2.3. Parámetros fisicoquímicos	23
4.2.4. Índices de calidad de agua.....	26
4.2.5. Índices de calidad biológicos.....	27
4.2.6. <i>Potamotrygon Magdalenae</i>	28
4.2.7. Aspectos reproductivos.....	29
4.2.8. Hábitat.....	30
4.2.9. Aspectos biológicos.....	30
4.2.10. Estructura taxonómica.....	30
4.2.11. Talla y peso.....	31
4.3.MARCO CONCEPTUAL.....	32

4.3.1.	Calidad del agua.....	32
4.3.2.	Parámetros fisicoquímicos.....	32
4.3.3.	Índices de calidad del agua.....	32
4.3.4.	Rayas de agua dulce.....	32
4.3.5.	Influencia de la calidad del agua sobre la <i>P. Magdalenae</i> ...32	
4.4.	MARCO CONTEXTUAL.....	33
4.5.	MARCO LEGAL.....	34
4.6.	MARCO METODOLÓGICO.....	37
4.6.1.	Tipo de investigación.....	37
4.6.2.	Población o zona de estudio.....	37
4.6.3.	Muestra.....	37
5.	Desarrollo metodológico.....	39
5.1.	Etapa 1 Revisión bibliográfica y recolección de información del ecosistema y la especie en estudio (Complejo cenagoso de la Zapatosa & <i>Potamotrygon Magdalenae</i>)	40
5.2.	Etapa 2 Examinar la dinámica espacio-temporal de la calidad del agua en la ciénaga de Zapatosa.	41
5.3.	Etapa 3 Estudiar la biología y reproducción de la población de <i>Potamotrygon Magdalenae</i> , en la ciénaga de Zapatosa.	48
5.4.	Etapa 4 Determinar el efecto de la calidad del agua sobre la biología y reproducción de la <i>Potamotrygon Magdalenae</i> en la ciénaga de Zapatosa.	50
6.	RESULTADOS.....	51
7.	CONCLUSIONES.....	78
8.	RECOMENDACIONES.....	79
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	86
	ANEXOS.....	80

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Estructura taxonómica de la Raya de agua dulce. **Fuente:** (Müller & Henle, 1841) adaptado por el autor, 2020.
- Tabla 2.** Normativa relacionada con el presente estudio. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 3.** Parámetros fisicoquímicos seleccionados. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 4.** Valores de referencia ICOPH. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 5.** Valores de referencia CCME- QUI. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 6.** Resultados por época de los parámetros fisicoquímicos empleados en el cálculo de los índices de calidad del agua. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 7.** Resultados por época de los índices de calidad del agua. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 8.** Rango promedio madurez sexual. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 9.** Estado de madurez sexual. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 10.** Neonatos por época. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 11.** Resultados por época de los Índices de calidad biológicos. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 12.** Análisis de regresión lineal múltiple. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 13.** Abundancia vs pH. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 14.** Natalidad vs IET. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 15.** Alimentación vs pH. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.
- Tabla 16.** Tamaño del hígado vs IET. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciénaga de Zapatos. **Fuente:** Acosta Luis, 2018.

Figura 2. *Potamotrygon Magdalenae* **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

Figura 3. Sistema reproductor de hembras y machos de *Potamotrygon Magdalenae*.
Fuente: Ramos & Grijalba, 2011.

Figura 4. Talla y peso de la *P. Magdalenae* en el laboratorio ingeniería ambiental y sanitaria de la Universidad Popular del Cesar. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

Figura 5. Ubicación Geográfica de la zona del estudio. **Fuente:** Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2018.

Figura 6. Etapas para el desarrollo metodológico. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

Figura 7. Ubicación estaciones de muestreo. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

Figura 8. Variaciones del nivel de agua en la estación Belén **Fuente:** Ideam 2015.

Figura 9. Índice de estado trófico promedio **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

Figura 10. Índice de pH **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

Figura 11. Índice CCME-WQI **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

Figura 12. Embriones por hembra embarazada. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

Figura 13. Distribución del índice hepatosomático. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

Figura 14. Distribución de la captura por unidad de esfuerzo. **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

Figura 15. Índice de Importancia Relativa (IIR). **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

Figura 16. Índice gonadosomático (IGS). **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

Figura 17. Índice factor de condición (Fact K). **Fuente:** Autores del proyecto, 2020.

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Vista superior - Vista inferior *P. Magdalenae*.

Anexo 2. Neonatos *P. Magdalenae*

Anexo 3. Aprovechamiento de la pesca incidental por anzuelo en la ciénaga de Zapatosa.

Anexo 4. Tapón (*Eichhornia azurea*)

Anexo 5. Disección de individuos en el laboratorio de ingeniería Ambiental y Sanitaria de la UPC, con el fin de alimentar la base de datos de información biológica.

Anexo 6. Contenido estomacal (Ninfa de *Campsurus decoloratus*)

Anexo 7. Contenido estomacal (fracción de pez, lamprea)

Anexo 8. Toma de parámetros fisicoquímicos del agua en la ciénaga.

RESUMEN

Los ecosistemas acuáticos, sufren transformaciones cuando se alteran los factores abióticos que lo componen, alterando su fauna y flora, por ende, afectando el normal desarrollo de las poblaciones que allí habitan. Esta investigación tiene como objetivo determinar cuál es el impacto (biológico, reproductivo) de la contaminación del agua sobre las poblaciones de *Potamotrygon Magdalenae* en la ciénaga de Zapatosa, ubicada en el departamento del Cesar. Este estudio se centró en comprender el efecto de la contaminación hídrica sobre una especie endémica; Para realizar este estudio fue necesario conocer la biología de las poblaciones en las diferentes zonas y analizar las fluctuaciones de los parámetros fisicoquímicos en los puntos, y en las épocas hidrológicas, así mismo estudiar los cambios en el estado de bienestar comparados con las variaciones abióticas de la ciénaga. Se aprovechó la pesca incidental de los locales, y a cada individuo se le anotó la siguiente información: Sitio de captura, peso, longitud de disco (LD), ancho discal (AD), longitud total (LT), sexo posteriormente y luego de identificarlo, se conservaron en neveras portátiles con el fin de tomar información más profunda en la fase de laboratorio; simultáneamente se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos: Oxígeno disuelto (OD), temperatura (°C), pH, conductividad eléctrica, ($\mu\text{S}/\text{cm}$), transparencia (distancia Secchi, en metros) y la profundidad de la columna de agua (metros), Alcalinidad total ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$), y otros parámetros que pueden indicar la presencia de materia orgánica, tales como: nitratos ($\text{mg}/\text{l N-NO}_3$), nitritos ($\text{mg}/\text{l N-NO}_2$), fosfatos ($\text{mg}/\text{l P-PO}_4$); con esos parámetros se calcularon tres índices de calidad del agua (IET, ICOpH, WQI) que luego se emplearon en la relación (estado de bienestar – calidad del ecosistema)

Para el análisis de información se hizo uso de un análisis de regresión múltiple, y un ANOVA, buscando relacionar los índices de calidad que tengan influencia significativa sobre la biología y reproducción de la especie en estudio.

Palabras clave: Calidad del agua, *Potamotrygon Magdalenae*, Biología, Índices de calidad.

ABSATRACT

The aquatic ecosystems undergo transformations when the abiotic factors that compose it are altered, altering their fauna and flora, therefore, affecting the normal development of the communities that live there. This research aims to determine the impact (biological, reproductive) of water pollution on the communities of *Potamotrygon Magdalenae* in the swamp of Shoesa, located in the department of Cesar. This study focused on understanding the effect of water pollution on an endemic species; To carry out this study it was necessary to know the biology of the communities in the different zones and analyze the fluctuations of the physicochemical parameters in the points, and in the hydrological epochs, likewise to study the changes in the state of well-being compared with the abiotic variations of the swamp. The incidental fishing of the premises was used, and each individual was recorded the following information: Capture site, weight, disc length (LD), disc width (AD), total length (LT), sex later and after identifying it , they were kept in portable refrigerators in order to take deeper information in the laboratory phase; Simultaneously, the following physicochemical parameters were measured: Dissolved oxygen (OD), temperature ($^{\circ}$ C), pH, electrical conductivity, (μ S / cm), transparency (Secchi distance, in meters) and water column depth (meters) , Total alkalinity (mg / L CaCO₃), and other parameters that may indicate the presence of organic matter, such as: nitrates (mg / l N-NO₃), nitrites (mg / l N-NO₂), phosphates (mg / l P-PO₄); With these parameters three water quality indices (IET, ICOpH, WQI) were calculated and then used in the relationship (welfare state - ecosystem quality) For the information analysis we used a multiple regression analysis, and an ANOVA, seeking to relate the quality indices that have significant influence on the biology and reproduction of the specie on study.

Key words: Water quality, *Potamotrygon Magdalenae*, Biology, Quality index.

GLOSARIO

Contaminación: Alterar nocivamente las condiciones normales de un ecosistema mediante agentes químicos o físicos.

Complejo cenagoso: alude a un conjunto de dos o más ciénagas conforman un complejo cenagoso, que a su vez se conoce como una planicie aluvial donde vierten sus aguas uno o más efluentes.

Parámetros fisicoquímicos: Son los factores abióticos de un ecosistema, véase pH, oxígeno disuelto, entre otros.

Índice de calidad: Herramienta que facilita la medición en valores numéricos del estado de calidad del agua.

Potamotrygon Magdalenae: Especie de raya de agua dulce, endémica de la cuenca del Magdalena.

Sonda. Es un instrumento que permite la medición de parámetros fisicoquímicos en este caso del agua, que facilita la toma in-situ de los valores reales.

INTRODUCCION.

Los complejos cenagosos y llanuras inundables pertenecen a los principales ecosistemas acuáticos de Colombia. Estos ecosistemas se ven afectados por el régimen pulsátil de sus vertientes; entiéndase por régimen pulsátil a las variaciones que se generan en el nivel hídrico de los ríos causadas por los periodos de más lluvias, o de menos lluvias, dicho comportamiento en ocasiones predecibles, genera variedad ecológica, la cual se ve reflejada en la riqueza biológica del ecosistema. (Zabala, 2017).

Para el caso particular de la ciénaga de Zapatosa, su dinámica hídrica representa un cambio de forma natural, el es recurrente y genera un reordenamiento ecológico del ecosistema. La necesidad de comprender como se relacionan las propiedades fisicoquímicas del agua con las poblaciones que forman un ecosistema, han llevado al desarrollo de varios índices; los cuales clasifican tanto el estado de calidad de agua, como de la biota acuática, basados en los parámetros del agua y en las características de una especie endémica del sitio respectivamente.

Los ecosistemas poseen una resistencia a los cambios que se producen en su entorno, denominada como integridad biótica, cuya función es mantener las poblaciones de organismos de forma balanceada Bistoni, *et. al* (1999).

En un ecosistema acuático contaminado se producen cambios que lo hacen inadecuado para las poblaciones que allí habitan, alterando su estructura poblacional, favoreciendo la supervivencia de algunas especies mejor adaptadas, lo cual resulta en un desequilibrio ecológico que desaparece paulatinamente los individuos más sensibles Bistoni, *et. al* (1999).

El estado de bienestar (tamaño, peso, número de embriones) aumenta en aguas cuyas cualidades fisicoquímicas son adecuadas, mientras que en aguas degradadas el estado de bienestar general disminuye (Karr *et al*, 1986).

La presente investigación pretende evaluar las afectaciones que tiene la calidad del agua de la ciénaga de Zapatosa sobre la *P. Magdalenae*; mediante el uso de índices de calidad del agua siendo estos contrastados con información biológica de la especie nombrada previamente, en los periodos de sequía y creciente

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La ciénaga de Zapatosa está ubicada entre los municipios de Chimichagua, Curumaní y Tamalameque pertenecientes al departamento del Cesar; y el Banco perteneciente al departamento de Magdalena, se encuentra formada por el río Cesar pocos kilómetros antes de su desembocadura y por el contraflujo del Río Magdalena en algunas épocas del año, este valle inundable forma una zona llamada la depresión Momposina Aristizabal (2016); Además de ser un complejo ecosistema que alberga variedad de especies de flora y fauna, cumple la función de regular el régimen hidrológico de las cuencas media-baja del río Cesar y del río Magdalena. (Corpamag, 2016).

Los cuerpos de agua han sido parte fundamental en los asentamientos de las poblaciones humanas en todo el mundo Ramsar (2015); siendo la ciénaga de Zapatosa el humedal de agua dulce más grande del país con una extensión de entre 30.000 hectáreas en verano y 70.000 hectáreas en invierno (Miniambiente, 2018), allí se encuentran recursos que van desde la producción de alimento mediante la pesca, cultivos de palma, hasta la extracción de arcilla para ladrillos Ranglel (2012); Los beneficios que los humedales brindan se encuentran bajo el concepto de servicios ecosistémicos, dichos servicios; permiten interacciones entre la biodiversidad del ecosistema y el bienestar de las poblaciones que aprovechan estos servicios, cuyas interacciones pueden ser de forma directa o indirecta. (Aristizabal, 2016).

La ciénaga de Zapatosa además de su belleza turística y paisajística, provee de una serie de servicios en las poblaciones a su alrededor tales como la pesca, el transporte marítimo, la recreación, entre otros. (Zabala, 2017).

En la actualidad el complejo Cenagoso de la Zapatosa es un área protegida bajo la declaración de humedal Ramsar, esta categoría promueve un uso responsable y sustentable de los recursos que el sistema provee a las poblaciones aledañas. (Miniambiente, 2018).

Lamentablemente, a pesar de estar categorizada como un ecosistema de alta importancia mundial, la actividad antrópica que se realiza en la ciénaga, afluentes y alrededores tienen efectos negativos sobre la calidad del agua y la estabilidad del ecosistema. Esto debido al uso de fertilizantes, pesticidas, y sobreexplotación del recurso pesquero.

La transformación de las tierras alrededor de la ciénaga en suelos agrícolas y urbanos se considera la principal amenaza que enfrenta el cuerpo de agua, los procesos de destrucción de hábitat, producto de la ganadería intensiva, la agricultura, la contaminación por agroquímicos, basuras y los cultivos principalmente de palma africana, son muy marcados en las localidades de sur del Cesar, con lo cual se generan cambios y fuertes presiones sobre la diversidad de fauna y flora (Rangel, 2012).

Teniendo en cuenta la importancia ecológica de este tipo de ecosistemas resulta beneficioso realizar un monitoreo espacio-temporal de la calidad del agua, para posteriormente describir cual es la afectación sobre una especie endémica seleccionada; estos cambios pueden ir desde la reproducción hasta hábitos alimenticios diferentes. Este diagnóstico permitió analizar cómo se comportan los individuos en la ciénaga desde una perspectiva ecológica, creando nuevas propuestas de análisis para el monitoreo de ecosistemas que tienen variaciones espacio-temporales.

Según Roldán (2016) Cuando se presentan variaciones ambientales en un medio determinado, también se evidencian cambios en las poblaciones que allí habitan (Roldán, 2016).

A partir de esta afirmación es correcto preguntarnos si las variaciones espacio-temporales en la ciénaga de Zapatosa son un factor determinante en la ecología de la *P. Magdalenae*.

¿Cómo es la dinámica espacio-temporal de la calidad del agua y qué efectos tiene sobre la población de *Potamotrygon Magdalenae* en la ciénaga de Zapatosa?

2. JUSTIFICACIÓN.

Es indispensable realizar acciones de conservación y protección en ecosistemas estratégicos del país como las ciénagas debido a que el recurso hídrico tiene gran importancia en distintos ámbitos de la sociedad, no solo como fuente de riego para cultivos, o como uso recreativo sino también como hábitat de especies endémicas, lo que implica que dicho cuerpo de agua debe tener un cuidado especial y un uso sustentable de sus recursos; esto para que las actividades de origen antrópico no alteren el equilibrio ecológico del ecosistema. Miniambiente (2018). Por ser la ciénaga de Zapatosa un humedal de categoría Ramsar los estudios sobre el cuerpo de agua se hacen necesarios para idear formas de preservar en el mejor estado posible el ecosistema, además de ser utilizadas como lineamientos a futuras investigaciones que involucren el factor espacio-temporal y las posibles afectaciones que la calidad del agua tiene sobre las especies endémicas.

Para lograr un estudio óptimo de la calidad del agua en la ciénaga, además de realizar un monitoreo en diferentes periodos climáticos y en distintas zonas, se puede analizar como los cambios en las características del agua afectan a individuos de una misma población que sean sencillos de caracterizar.

Para monitorear un ecosistema, se deben describir los aspectos físico-químicos de dicho ecosistema, y posteriormente realizar un seguimiento a los cambios en la fauna, obteniendo así información de soporte. Es de anotar que la información que se obtiene de una fuente biológica, no reemplaza los análisis fisicoquímicos, sino que dicha información permite complementar los datos acerca del estado del cuerpo hídrico; estudiando las variaciones de los individuos en su hábitat como respuesta a cambios en el medio que lo rodea. En la Ciénaga de Zapatosa, se estudiaron las características de la población de *P. Magdalenae* y cómo éstas se relacionan con las condiciones fisicoquímicas que se están presentando en las distintas zonas, logrando así definir sus posibles afectaciones en la población de *P. Magdalenae*. Por otro lado, en la ciénaga de Zapatosa y en el Caribe Colombiano, son escasos los trabajos sobre si existe o no afectaciones en la biología y ecología de una especie asociado a cambios en los diferentes parámetros del medio.

3. OBJETIVOS.

3.1. OBJETIVO GENERAL.

Analizar el efecto de la calidad del agua en la biología y reproducción de la raya de agua dulce (*Potamotrygon Magdalenae*) en la ciénaga de Zapatosa, Cesar-Colombia.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Examinar la dinámica espacio-temporal de la calidad del agua en la ciénaga de Zapatosa.
- Estudiar la biología y reproducción de la población de *Potamotrygon Magdalenae*, en la ciénaga de Zapatosa.
- Determinar el efecto de la calidad del agua sobre la biología y reproducción de la *Potamotrygon Magdalenae* en la ciénaga de Zapatosa.

4. MARCO REFERENCIAL.

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

4.1.1. Contexto global.

- **Hernández Henao Santiago, 2015, Indicadores De Calidad Ambiental De Humedales:** En el parque nacional palo verde, ubicado en Costa Rica se realizó un estudio que utilizó los ICA y un grupo de parámetros fisicoquímicos con el fin de estudiar la calidad del agua en dichas lagunas, estos parámetros le fueron de utilidad ya que permitieron intuir cuales eran las fuentes de contaminación y el estado del agua, gracias a esta investigación las lagunas del parque natural fueron declaradas como humedal Ramsar.
- **Bistoni Maria De Los Angeles, Hued Andrea, Videla Mercedes Y Sagretti Luis, 1999, Efectos De La Calidad Del Agua Sobre Las Poblaciones Ícticas De La Región Central De Argentina:** Fue un estudio realizado en la Universidad Nacional de Córdoba, donde se llevaron a cabo análisis sobre la calidad del agua en las poblaciones ícticas de la región central Argentina, cuyo objetivo fue determinar las cualidades de la comunidad íctica que se alteran en relación al detrimento de calidad del agua, y se analizaron cuáles factores físico-químicos tienen mayor incidencia en dichas alteraciones.
- **Almanza Oscar, 2015, Índices de calidad del agua y vulnerabilidad acuífera de un sistema hidrogeológico: caso valle de San Luis Potosí:** Aplicó una serie de índices de calidad del agua con el fin de evaluar el estado y vulnerabilidad del agua subterránea en el valle de la ciudad de San Luis Potosí, la metodología aplicada por el investigador se pudo tomar como guía para desarrollar el cálculo de los índices en el complejo cenagoso de la Zapatos, haciendo la salvedad que para el caso de la ciénaga el cuerpo de agua de agua, se encuentra en la superficie y no bajo tierra.

4.1.2 Contexto local.

En la ciénaga de Zapatosa son escasos los trabajos investigativos sobre *P. Magdalenae*, siendo posible obtener información general a nivel biológico y del hábitat proveniente de los trabajos de Dahl 1971, Rojas-Ceballes 2013, los cuales son nombrados en (Lasso, 2014).

- **Lasso Carlos, 2014, Rayas de agua dulce (Potamotrygonidae) de Suramérica:** Realizó una descripción detallada de la especie mediante la recolección de individuos en la cuenca media del río Atrato, tal investigación reunía aspectos como la morfología, alimentación y número de embriones por hembra; mientras que Mosquera 2012, mencionado por Lasso en su trabajo investigativo estudió aspectos como la proporción sexual de machos y hembras, nuevamente los hábitos alimenticios, y adicional a esto, midió el tamaño de los embriones al nacer, los cuales concluyó van de 87 a 95 mm en su ancho discal; está investigación realizada por Lasso, nos aportó un punto de partida en referencia a toda la información que se puede recolectar de la raya de agua dulce, con la diferencia de que nuestra investigación se aplicó sobre los individuos en el complejo Zapatosa (Cuenca del Magdalena).
- **Valverde Arlyn, Moreno Edinson, Ortiz Yisseth, 2015, Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano utilizando índices de contaminación:** Estos tres investigadores analizaron la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en el municipio de Bahía Solano del departamento del Chocó, este trabajo fue llevado a cabo mediante la implementación de varios índices de calidad del agua como una herramienta que indispensable para facilitar el monitoreo de las fuentes hídricas; algunos de los índices aplicados por los investigadores en Bahía Solano, fueron adaptados a este trabajo, con fines de facilitar el trabajo al momento de calificar el estado del agua en los distintos puntos de la ciénaga.

- **Villamizar Jhoana, Villamizar Leidy, 2012, descripción de los principales factores ambientales que impactan el hábitat del manatí antillano *trichechus manatus manatus* en la ciénaga Antequera, Tamalameque, cesar:** En este trabajo, las jóvenes investigadoras realizaron una descripción de los factores ambientales que tienen un impacto sobre el ecosistema acuático de la ciénaga Antequera, y por consiguiente en el hábitat de una especie local, lo hicieron mediante la toma de ciertos datos, iniciaron con la medición de la profundidad en época de aguas altas, y en época de sequía, el pH y otros factores fisicoquímicos, además de realizar encuestas acerca del conocimiento que tienen las personas sobre el manatí y el hábitat que necesita para su correcto desarrollo, encontraron que muchas veces las personas locales se asustan por su tamaño y terminan haciéndole daño, y que el manatí se ve afectado por los vertimientos de aguas servidas de poblaciones cercanas a su hábitat; el aporte que esta investigación hace sobre la nuestra, es la similitud en cuanto al eje temático: analizar cómo se afecta la biología y/o hábitos de una especie al resultar alterado su medio.

4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. Ecosistemas acuáticos

Roldán, 1992 nombrado por Gil, 2014 los define como una unidad ecológica en la cual un grupo de organismos interactúa entre sí, y con el medio que los rodea, estos ecosistemas acuáticos están influenciados en por unos factores bióticos y otros abióticos, el factor biótico se refiere a las interacciones que tienen los organismos en el ecosistema, desde cadena alimenticia hasta equilibrio detritívoro, mientras que los factores abióticos son las variables ambientales climáticas y fisicoquímicas que tienen influencia en el medio (Gil, 2014).

4.2.2. Ciénagas.

En Colombia, las zonas inundables se denominan comúnmente como ciénagas y son definidas como extensas planicies que están sujetas al ciclo anual del caudal de los ríos; los tramos de los ríos principales producen directamente geoformas como diques, planicies inundables y ciénagas (Ranglel, 2012). Ver figura 1.



Figura 1. Ciénaga de Zapatosa. **Fuente:** Acosta, 2018.

Se caracterizan por ser áreas que se inundan periódicamente debido al caudal de los ríos o directamente por la precipitación que cae sobre el cuerpo de agua, dichas variaciones en el nivel del espejo de agua dan como resultado un medio y sus parámetros fisicoquímicos cambiantes, condicionando así la diversidad y el estado de las poblaciones allí presentes (Wiederholm, 1993).

Las diferentes poblaciones acuáticas en las ciénagas tienen interacciones que dependen de las condiciones hidrológicas del medio, como son; vertimientos, corrientes de agua y condiciones ambientales en general; Las ciénagas pueden sufrir cambios en sus condiciones limnológicas y con ello alterar las poblaciones biológicas que allí habitan. (Villamarín, 2008).

4.2.3. Parámetros fisicoquímicos.

El muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua permite estudiar la calidad de la misma; y es de gran importancia ya que dichos parámetros arrojan un resultado claro y preciso, aunque cabe resaltar que dichos resultados tienen la desventaja de analizar el estado de calidad del agua en periodos cortos de tiempo por su rápida variación. (Hernandez, 2015).

Los parámetros seleccionados para el estudio realizado fueron:

Oxígeno disuelto (OD), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, conductividad eléctrica, ($\mu\text{S}/\text{cm}$), transparencia (distancia Secchi, en metros), profundidad de la columna de agua (metros), Alcalinidad ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$); Y otros parámetros que pueden indicar la presencia de materia orgánica, tales como: amonio ($\text{mg}/\text{L N-NH}_4^+$), nitratos ($\text{mg}/\text{L N-NO}_3$), nitritos ($\text{mg}/\text{L N-NO}_2$), fosfatos ($\text{mg}/\text{L P-PO}_4$).

- **Oxígeno disuelto:** El oxígeno disuelto se establece como la concentración actual (mg/L) o como la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura determinada (Las aguas más frías pueden tener mayor cantidad de oxígeno disuelto que las aguas más cálidas); el OD tiene dos usos principales: Respiración de organismos acuáticos/plantas y en la oxidación química ya que algunos materiales se oxidan de forma natural (Sin la intervención de microorganismos). (SWRCB, 2013).
- **Temperatura:** Este parámetro está directamente relacionado con el oxígeno disuelto del agua, ya que al aumentar la temperatura del agua los organismos acuáticos aumentan su tasa de respiración y por ende consumen más oxígeno.

Si analizamos los efectos biológicos, el aumento de la temperatura no solo puede matar a los peces, si no también puede tener efectos en su reproducción y crecimiento.

- **pH:** El potencial de hidrogeno nos indica el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia, dicha medida es necesaria porque el pH presenta una relación muy estrecha con la calidad del agua, dado que, si el pH del cuerpo se encuentra en valores anormales, podría ser indicios de vertimientos de origen antrópico.
- **Conductividad eléctrica:** Se define como la resistencia eléctrica que se crea entre dos electrodos de 1 cm² y distanciados entre sí por 1 cm. Los valores de conductividad se expresan en microsiemens por cm; la conductividad está estrechamente relacionada con los sólidos totales disueltos ya que a mayor concentración de sólidos hay mayor concentración de minerales y por ende aumenta la conductividad.
- **Transparencia:** la luz se agota por motivos de absorción y dispersión en el agua, si consideramos que el agua normalmente tiene sustancias disueltas en ella, podemos concluir que el agua en su superficie presentará una zona iluminada, que se tornará más oscura con el aumento de la profundidad.
- **Alcalinidad:** Definimos la alcalinidad como la capacidad del agua para neutralizar ácidos y representa la suma de las bases que pueden ser tituladas. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas. No sólo representa el principal sistema amortiguador (tampón, buffer) del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva de CO₂ para la fotosíntesis (MAPSA, 2007).

- **Amonio:** Es uno de los componentes transitorios en el agua, ya que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica, es un producto natural de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados. Las aguas superficiales no deben contener normalmente amonio, en general la presencia de amoniaco libre o ion amonio se considera como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa; Si el medio es aerobio, el nitrógeno amoniaco se transforma en nitritos. Sardiñas (2004).
- **Nitratos (NO_3):** Son sales muy solubles derivadas principalmente del empleo de fertilizantes nitrogenados, descargas de desechos sanitarios e industriales, además del uso de aditivos alimentarios (conservas de pescado y carnes). En las aguas superficiales, la concentración de nitratos es habitualmente baja, de algunos mg/l a menos que exista un nivel importante de contaminación. Se debe resaltar que niveles de nitrato de entre 0 y 40 mg/l son generalmente seguros para los peces, mientras que cualquier valor superior a 80 puede ser tóxico. (Consultora de aguas, 2016).
- **Nitritos:** Cuando hay presencia de nitritos en el agua, es un indicativo de contaminación fecal reciente, cabe resaltar que el nitrito se halla en un estado de oxidación entre el amoniaco y el nitrato. Los niveles de nitrito superiores a 0,75 mg/l en el agua pueden provocar stress en peces y mayores de 5 mg/l pueden ser tóxicos.
- **Fosfatos:** En los ecosistemas acuáticos provienen de: Fertilizantes, detergentes, productos de limpieza y excreciones humanas y/o animales. Los fosfatos existen en forma: disuelta, coloidal y/o sólida. Uno de sus principales efectos en las aguas superficiales, es el crecimiento desmesurado de algas, las cuales generan eutrofización; cuando esto sucede la cantidad de plantas es tan alta que no permiten el paso de luz dentro del cuerpo hídrico; estas condiciones hacen que la materia orgánica se dispare, a su vez disminuyendo el oxígeno disponible para la fauna y flora en general, que al morir reduce todavía más la calidad del agua. (1 gr de fosfato " $\text{PO}_4\text{-P}$ " provoca el crecimiento de hasta 100 gr de algas) (Pütz, 2008).

4.2.4. Índices de calidad del agua.

Los índices de calidad del agua (ICO'X) se emplean para dar una clasificación numérica a la calidad del agua, ya sea de forma positiva o negativa. Ramírez, Restrepo, & Viña (1997).

Estos valores son de ayuda para resolver dudas en cuanto los posibles usos del agua y la calidad de los ecosistemas conformados por el cuerpo hídrico, los índices emplean parámetros tales como, pH, fosfato, turbidez, amonio, oxígeno disuelto, conductividad, entre otros; Dichos parámetros aportan información puntual, sin relacionarse de forma directa con la calidad del ecosistema completo.

A continuación, se mencionan y explican cada uno de los índices empleados en esta investigación.

- **(CCME-WQI):** Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index, es de gran utilidad para evaluar la calidad del agua por la flexibilidad que posee al momento de seleccionar los parámetros con los que se va a desarrollar, este índice deja a criterio del investigador la elección de aquellos parámetros que resulten de interés para el ecosistema en estudio.
- **(IET):** El Índice de estado trófico, tiene en cuenta la cantidad de fosfato soluble reactivo en el agua, además de la transparencia, y la cantidad de nitrógeno total.
- **(ICOpH):** Índice de contaminación por pH, este índice determina fundamentalmente si una sustancia es acida, básica, o en dado caso neutra, este índice es de gran importancia ya que debido a las variaciones del pH se modifica el grado de solubilidad de algunos minerales como, por ejemplo, el aluminio y el magnesio los cuales son más solubles en aguas con pH bajo, mientras que el fosfato de calcio es menos soluble a pH bajo.

Las aguas naturales pueden variar su pH según varias fuentes de procedencia, que van desde el CO₂ disuelto desde la atmosfera, hasta provenir de suelos húmicos.

4.2.5. Índices de calidad biológicos.

Los índices usados en el estudio presente se mencionan a continuación:

- **(IHS): Índice hepatosomático:** Es el peso del hígado en proporción al peso del pez expresado en porcentaje. Dicho índice permite estudiar las variaciones que se producen en el hígado, las cuales se deben fundamentalmente por la acumulación de lípidos y a la síntesis de vitelogenina.
- **(IGS): Índice gonadosomático:** El cual es un cálculo en el que se relaciona el peso de la gónada con el peso total del pez sin viseras y sin ovarios, el cual se emplea como un indicador del periodo reproductivo, donde los valores máximos promedios indican la madurez gonádica. (Ruiz, *et al.*, 2018).
- **(IIR): Índice de importancia relativa:** Este método fue sugerido por Pinkas *et al.* (1971), es útil para interpretar la importancia que tiene algún alimento específico en la dieta de un individuo. Puede ocurrir que un pez “X” consuma camarón y que en volumen ocupe la mayor parte de la capacidad estomacal; sin embargo, las unidades de camarón y la frecuencia en la que se encuentran sea baja, entonces se considera un alimento esporádico.
- **(CPUE): Índice de captura por unidad de esfuerzo:** Son la cantidad de capturas logradas por unidad de arte de pesca, en este caso son el número de peces cada 100 anzuelos por hora en la ciénaga, normalmente se utiliza como un indicador de abundancia; aunque también puede ser empleado para comparar cuan efectivo es un tipo de arte de pesca.
- **(K): factor de condición:** el factor de condición, comúnmente llamado K, es utilizado para comparar el estado de bienestar de un pez o población, basándose en que los peces de mayor peso, a una determinada longitud, presentan una mejor condición física. Cifuentes *et al.* (2012)

4.2.6. *Potamotrygon Magdalenae*

La *Potamotrygon Magdalenae*, perteneciente al orden de los *Myliobatiformes* y la familia *Potamotrygonidae*, es una especie endémica que se encuentra únicamente en la cuenca del río Atrato y en la cuenca del río Magdalena en Colombia Lasso (2014). Ver figura 2.

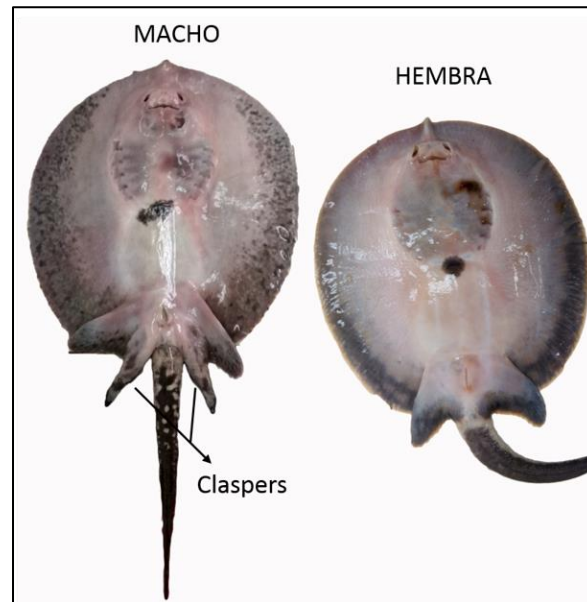


Figura 2. *Potamotrygon Magdalenae* vista posterior.

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Gutiérrez 2004, nombrado por Ramos & Grijalba (2011) nos dice que acostumbran a vivir en los suelos fangosos normalmente en las orillas de la ciénaga, aunque no es extraño toparse con ellas en la profundidad ciénaga adentro, lamentablemente los individuos de esta especie capturados incidentalmente por los anzuelos de los pescadores en la ciénaga de Zapatosa son desechados, sin tener en cuenta el aporte investigativo y/o nutricional que tienen.

4.2.7. Aspectos reproductivos.

Según Teshima y Takeshita (1992) citado en Lasso (2014) es una especie vivípara aplacentada, con un solo embrión por útero, siendo el ovario izquierdo más desarrollado que el derecho; La madurez sexual para las hembras se reporta con una medida de 170 - 210 mm AD y para los machos fue de 170 – 190 mm de AD. En el complejo cenagoso de la Zapatosa Ramos & Socha (2010) citados por Lasso (2014) registraron una talla promedio de madurez sexual de 240 mm de AD en hembras y de 202 mm AD en machos. Ramos & Grijalba (2011) Registraron que los neonatos al nacer tienen una talla de 87 a 95 mm de AD, además de realizar el conteo de embriones que van de 1 a 5. Para este estudio se evaluó y describió el estado de desarrollo gonadal tanto de machos, como de hembras.

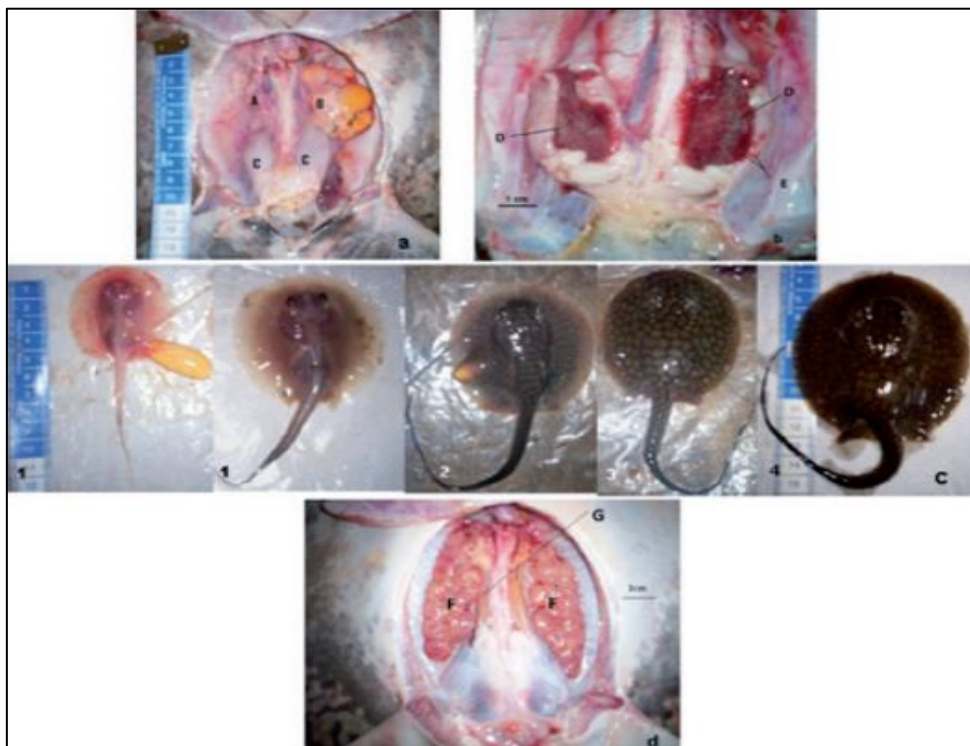


Figura 3. Sistema reproductor de hembras y machos de *Potamotrygon magdaleneae*. a. hembra IIIa; b. hembra grávida con los úteros disectados; c. embriones en diferentes estadios de desarrollo; d. testículos de machos maduros. A: Ovario poco desarrollado, B: Ovario funcional, C: Úteros funcionales, D: Leche intrauterina, E: Microvellosidades, F: Testículos maduros y G: Ductos deferentes con epidídimo. **Fuente:** Ramos & Grijalba, 2011.

4.2.8. Hábitat.

En los ríos Magdalena y Atrato son comunes tanto en el cauce principal del río como en las ciénagas y quebradas, generalmente prefiere aguas turbias, fondos de arena y fango, con corrientes lentas.

4.2.9. Aspectos biológicos.

La *P. Magdalenae* presenta una gran importancia como pez balanceador del ecosistema por aprovechar la materia orgánica en descomposición, ya que se considera una especie carnívora entomófaga. Ramos & Grijalba (2011) Nos dicen que la dieta de la *P. Magdalenae* se especializa en el consumo de *Polymitarcidae* y *ceratopogonidae*. En la cuenca del Magdalena se han colectado hembras de hasta 422 mm AD y machos de 323 mm AD Ramos & Grijalba (2011); mientras que en la cuenca media del río Atrato la hembra de mayor tamaño registró 350 mm AD y un peso de 1,6 kg y el macho de mayor tamaño tuvo 260 mm AD y 750 g de peso. Lasso (2014) Afirma que las hembras alcanzan un ancho discal mayor al de los machos. Nota: AD (Ancho discal), LD (Largo del disco).

Tabla 1. Estructura taxonómica de la Raya de agua dulce.

4.2.10. Estructura taxonómica de la *Potamotrygon Magdalenae*.

Dominio	Eukaryota
Reino	<i>Animalia</i>
Filo	<i>Chordata</i>
Subfilo	<i>Vertebrata</i>
Clase	<i>Chondrichthyes</i>
Subclase	<i>Elasmobranchii</i>
Superorden	<i>Batoidea</i>
Orden	<i>Myliobatiformes</i>
Suborden	<i>Myliobatoidei</i>
Familia	<i>Potamotrygonidae</i>
Genero	<i>Potamotrygon</i>
Especie	<i>P. Magdalenae</i>

Fuente: (Müller & Henle, 1841) adaptado por los autores, 2020.

4.2.11. Talla y peso.

Ramos-Socha 2010 citado por Lasso 2014 afirma que en la cuenca del Magdalena se han colectado hembras de hasta 422 mm AD y machos de 323 mm AD, mientras que para Mosquera 2012 la hembra de mayor tamaño fue de 260 mm de AD y el macho de mayor tamaño registró 260 mm de AD en la cuenca media del río Atrato. (Lasso, 2014).

En cuanto al peso de los individuos analizados la hembra de mayor tamaño en la cuenca del río Atrato registró un peso de 1.6 kg mientras que el macho de mayor tamaño registró un peso de 750 gr.



Figura 4. Talla y peso de la *P. Magdalenae* en el laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria.

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

4.3. MARCO CONCEPTUAL

4.3.1. Calidad del agua.

Se define como la descripción de las características físicas, químicas y biológicas del agua; la calidad se clasifica según el uso al cual será destinada, ya sea para uso recreativo, doméstico, agrícola entre otros.

4.3.2. Parámetros fisicoquímicos.

Son los que definen las características del agua, se notan con los sentidos como la vista, el tacto, el gusto y el olfato; pueden ser sólidos suspendidos, turbiedad, color entre otros, los cuales pueden variar según la naturaleza y/o los vertimientos a un cuerpo de agua.

4.3.3. Índices de calidad del agua.

Son herramientas que emplean parámetros fisicoquímicos para clasificar el estado de un cuerpo de agua, cuya diferencia respecto a cada uno de los parámetros por separado radica en que los índices nos brindan un resultado numérico que se interpreta en una calidad determinada.

4.3.4. Rayas de agua dulce.

Las rayas de agua dulce se agrupan en la familia *Potamotrygonidae*. "Son un grupo de peces diversificado en Suramérica y se encuentran en la mayoría de los Ríos tropicales del continente, exceptuando a los que vierten en el pacífico y en las cuencas de la costa atlántica del río del río Parnaíba en Brasil, hasta el Río de la plata" (Lasso, 2014).

4.3.5. Influencia de la calidad del agua sobre la *Potamotrygon Magdalenae*.

Los ecosistemas acuáticos poseen una variedad de factores ambientales (pH, OD, NO₃, entre otros), que condicionan la dinámica poblacional de los individuos que allí habitan. Garcia, *et al.* (2016), viendose afectada la organización de las comunidades de *Potamotrygon* cuando se encuentran niveles altos de agentes externos al cuerpo de agua como el amoníaco en su forma no ionizada y/o nitritos, los cuales son indicadores claros de contaminación que tiene un origen antropico; estos agentes causan daños a las branquias y sacos vitelinos, condicionando la presencia de poblaciones en habitats contaminados. Chang, *et al* (2015).

4.4. MARCO CONTEXTUAL

Este proyecto se realizó en la ciénaga de Zapatosa, la cual se encuentra situada en la costa caribe colombiana, está ubicada entre los municipios de Chimichagua, Curumaní, Tamalameque (Cesar) y El Banco (Magdalena) formada por el río Cesar unos pocos kilómetros antes de su desembocadura y perteneciente a la zona conocida como la Depresión Momposina.

El complejo cenagoso está conformado por un total de 123.624 hectáreas, dicho tamaño le otorga el privilegio de ser el humedal continental de agua dulce más grande del país miniambiente (2018), actualmente tiene la categoría de ser un humedal Ramsar y recibe aportes de los ríos cesar y magdalena; las características ambientales del ecosistema y la dinámica de la ciénaga están ampliamente descritas por Moreno 2007, citadas en Ranglel (2012).

En la región se presentan anualmente dos épocas, una de estiaje, que se nota en los meses de febrero, marzo, abril y mayo siendo marzo el mes con el máximo estiaje y otra época de aguas altas que está comprendida entre octubre, noviembre y diciembre (IDEAM 1974-2015). La temperatura promedio anual en la ciénaga de Zapatosa oscila entre 28°C y 32 °C Viloría (2008). Siendo la mínima de 24,6°C en el mes de marzo y la máxima de 33,1°C en el mes de julio.

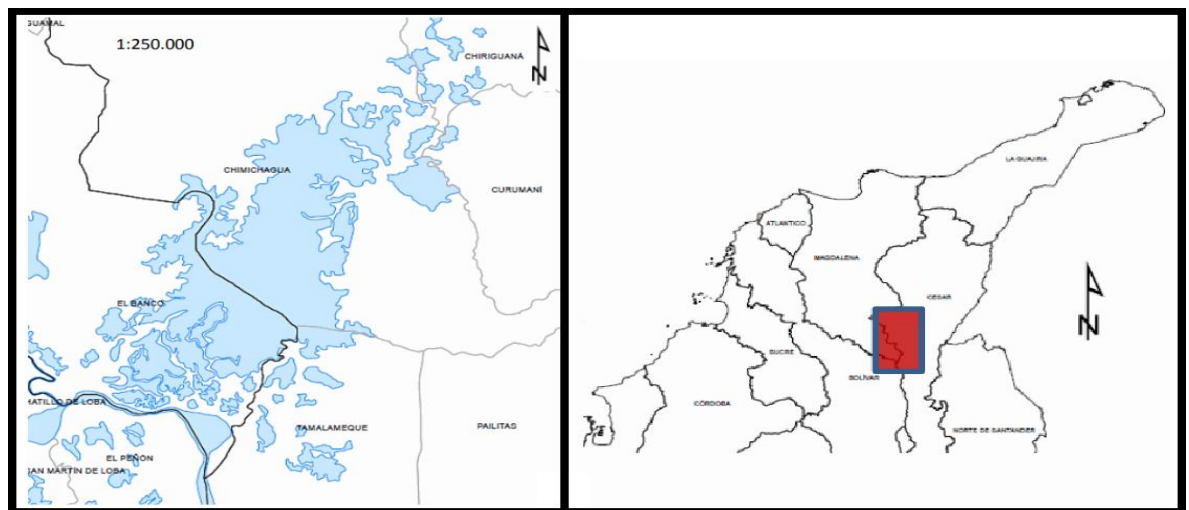


Figura 5. Ubicación Geográfica de la zona del estudio. **Fuente:** IGAC. 2018.

4.5. MARCO LEGAL.

Tabla 2. Normativa relacionada con el estudio presente

MARCO LEGAL	
Normativa	Descripción
1. La constitución política de Colombia (1991) contempla nuevas herramientas para trazar las políticas ambientales que permitan una conservación y un manejo adecuado de los recursos hídricos.	<p>Artículo 79. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación ambiental para garantizar el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano.</p> <p>Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución; debiendo prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.</p> <p>Artículo 313. Todo municipio debe expedir lo acuerdos necesarios para el control, preservación y defensa del patrimonio ecológico.</p>
2. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH).	Tiene una meta de 12 años (2010- 2022) para el desarrollo de objetivos, estrategias y líneas de acción para el manejo del recurso hídrico en el país, considerando la ciénaga como un humedal importante.
3. Ley 357 de 1997 Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas suscrita en Ramsar el dos (2) de febrero de mil novecientos setenta y uno (1971).	<p>La filosofía del convenio Ramsar se basa en el uso racional de los humedales, dicho uso racional se refiere a “mantener las características ecológicas, mediante el uso sostenible de sus recursos”</p> <p>Y siendo el complejo cenagoso de la Zapatosa un humedal de gran importancia ecológica, se hace necesario tomar acciones que permitan su conservación a largo plazo.</p>

Normatividad	Descripción
4. Ley 388 de 1997, por la que se crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA)	La cual les confiere a las corporaciones autónomas regionales la función de determinar los lineamientos ambientales que cada municipio y distrito debe cumplir en su plan de ordenamiento territorial, incluyendo sus cuerpos de agua.
5. Ley 99 de 1993, Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente	Artículo 33: Establece que en un caso de que dos o más corporaciones autónomas regionales, tengan jurisdicción sobre una cuenca hidrográfica en común, deben crear una comisión conjunta encargada de definir políticas para el manejo ambiental correspondiente.
6. Decreto 1190 del 12 de julio de 2018, Inclusión del complejo Zapatosa en la lista de humedales de importancia internacional.	Por el cual se adiciona una sección al decreto 1076 de 2015, con el fin de designar al complejo cenagoso de Zapatosa para ser incluido en la lista de Humedales de Importancia Internacional Ramsar, en cumplimiento de lo dispuesto en la ley 357 de 1997.
7. Decreto 2811 de 1974, Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	Por el cual se establece el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. En su capítulo II define la regulación cuando a la prevención y control de contaminación del recurso hídrico.
8. Convenio sobre la diversidad biológica. CDB-Río de Janeiro 1992.	Fue el primer acuerdo global en reconocer que la conservación de la diversidad biológica "es una preocupación común de la humanidad", por ende, la conservación de la <i>P. Magdalenae</i> debe ser pilar fundamental para conservar el equilibrio ecosistémico en la Zapatosa.
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (PNUMA) Nairobi 1972.	Es un organismo de la ONU, que coordina actividades ambientales alrededor del mundo, ayudando a países en desarrollo a aplicar políticas ecológicamente racionales.

<p>Convención sobre la protección del patrimonio mundial cultural y natural. París 1972.</p>	<p>Fue un aporte realizado por la Unesco, que busca el cuidado de los ecosistemas considerados patrimonio natural, y siendo la ciénaga de Zapatosa un humedal de categoría Ramsar, debe ser protegido por su alto nivel ecológico.</p>
<p>Convención sobre la conservación de las especies migratorias de animales silvestres. (CMS) Bonn 1979.</p>	<p>Siendo el complejo cenagoso de la Zapatosa un ecosistema acuático de gran importancia, son varias las especies migratorias que llegan allí.</p>
<p>Primera Reunión Mundial sobre el Medio Ambiente, Estocolmo 1987. Informe Brundtland sobre Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente.</p>	<p>Este informe replantea que las políticas desarrollo deben ir de la mano con el cuidado y uso racional del medio ambiente, se puede aplicar a la ciénaga de Zapatosa un uso racional del recurso íctico por parte de los pescadores.</p>

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

4.6. MARCO METODOLÓGICO.

4.6.1. Tipo de investigación.

La investigación es descriptiva de corte documental que analiza la calidad del agua en la ciénaga de Zapatosa de forma espacial y temporal, con cuatro puntos de muestreo y dos periodos climáticos, mediante la realización de índices de calidad; además de estudiar su afectación sobre una especie endémica recolectada mes a mes durante 8 meses.

4.6.2. Población o zona de estudio.

El complejo cenagoso de Zapatosa es una depresión cóncava que alcanza hasta doce metros de profundidad, el principal afluente de la Ciénaga de Zapatosa es el río Cesar, el cual nace en la Sierra Nevada de Santa Marta, su corriente se dirige hacia el sur, desde las tierras altas de la Guajira, hasta la Depresión Momposina; La Ciénaga también recibe caudales de exceso del río Magdalena y actúa como reservorio que acumula agua en época de lluvias y la devuelve a la depresión Momposina y al río Magdalena en época de sequía, cuya capacidad de almacenamiento es de aproximadamente 900 millones de metros cúbicos provenientes de los ríos Magdalena y Cesar. Es un ecosistema del cual se benefician de manera directa 5 municipios: 4 del departamento del Cesar (Curumaní, Chiriguaná, Tamalameque, Chimichagua) y 1 del departamento de Magdalena (El Banco).

4.6.3. Muestra.

El muestreo se inició con un recorrido preliminar por el complejo cenagoso de Zapatosa, luego se establecieron 4 estaciones de muestreo distribuidas uniformemente en el área de la ciénaga, estos muestreos se realizaron de acuerdo con las técnicas recomendadas y establecidas por el Standards Methods of Examination of Water and Wastewater, en su versión 19.

Esta metodología ha sido estandarizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el cual nos dice que en cada sitio de estudio se tomarán muestras puntuales, recolectadas en recipientes plásticos de 1 litro etiquetados con marcador permanente, dicha etiqueta contiene el código del área, la fecha y la hora del muestreo, los recipientes se llenaron a 20 cm de profundidad y fueron almacenados en una nevera portátil con hielo a 4°C los cuales se emplearon para la determinación de algunos parámetros fisicoquímicos, que no pudieron ser tomados en el lugar por motivos de portabilidad de equipos.

5. DESARROLLO METODOLÓGICO.

La metodología en esta investigación se realizó en varias etapas que van de acuerdo con los objetivos; teniendo en cuenta aspectos espaciales, temporales y de revisión bibliográfica con el fin de nutrir la información aquí presentada. Por lo tanto, se consolidaron 4 etapas que son:

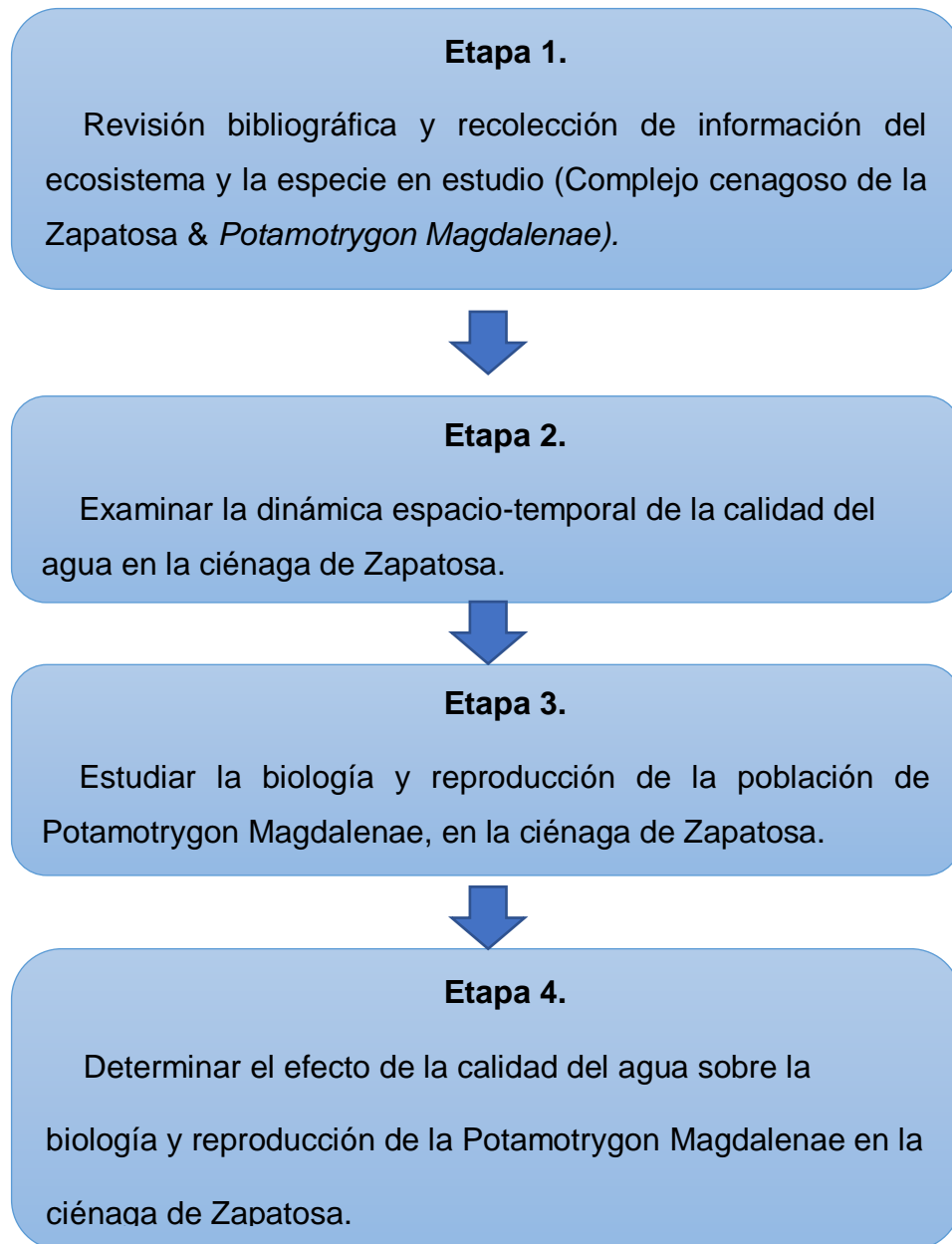


Figura 6. etapas para el desarrollo metodológico

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

5.1. ETAPA 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DEL ECOSISTEMA Y LA ESPECIE EN ESTUDIO (COMPLEJO CENAGOSO DE LA ZAPATOSA & *POTAMOTRYGON MAGDALENAE*).

5.1.1. Actividad 1.

Inicialmente se realizó la revisión del libro Colombia diversidad biótica tomo XIII “Complejo cenagoso Zapatosa y ciénagas del sur del Cesar”, con el fin de partir de una base sólida de las características hídricas y ecosistémicas esperadas en la zona de estudio, además de otros estudios realizados previamente en el complejo cenagoso mencionados anteriormente en el marco teórico, para tener claro los límites en los que oscilan los parámetros fisicoquímicos seleccionados para este estudio.

5.1.2. Actividad 2.

Se revisaron los estudios de Lasso, Álvarez, Oviedo, depositados en “el libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia 2012” referente a rayas de agua dulce, haciendo énfasis en la *P. Magdalenae* y sus hábitos alimenticios, reproductivos y su rol biológico en el ecosistema en mención, además de varios artículos científicos, y revistas especializadas que nos ayudaron a tener claridad en todos los aspectos de la especie en estudio, desde sus hábitos reproductivos hasta el estado de bienestar según la zona en que fueron capturadas.

5.2. ETAPA 2: EXAMINAR LA DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CIÉNAGA DE ZAPATOSA.

5.2.1. Actividad 1. Ubicación de las estaciones de muestreo

se ubicaron las estaciones en zonas estratégicas del complejo con el fin de hacer un cubrimiento que permita significancia al momento de analizar los datos, además de analizar las diferencias entre estaciones que frecuentan interacciones antrópicas, con las estaciones más alejadas y/o de poco interés para las poblaciones aledañas.

Coordenadas de las estaciones seleccionadas.

- Estación 1: 09°13`57.0" N 73°44`65.1" W
- Estación 2: 09°11`60.6" N 73°46`31.9" W
- Estación 3: 09°13`32.1" N 73°44`34.2" W
- Estación 4: 09°04`49.6" N 73°51`26.8" W

5.2.12. Ubicación de las estaciones de muestreo en el complejo.

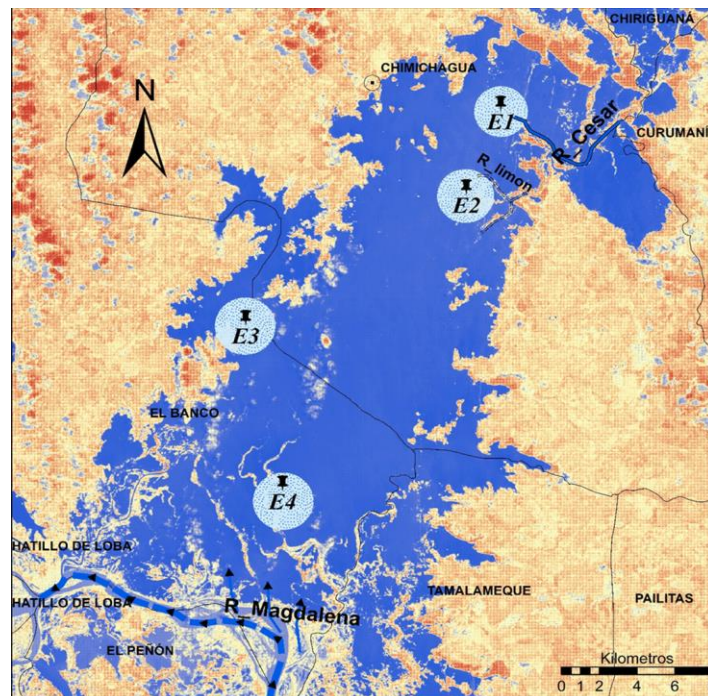


Figura 7. ubicación estaciones de muestreo. Fuente Autores del proyecto 2020.

5.2.2. Actividad 2. Selección del tiempo de muestreo.

El cubrimiento temporal fue abarcado durante 8 meses del año, esto con el fin de cubrir los dos periodos climáticos; incluyendo épocas de sequía y de lluvia, además de medir en cada muestro los parámetros físicos y químicos de la ciénaga, estos muestreos se realizaron de acuerdo con las técnicas recomendadas y establecidas por el Standards Methods of Examination of Water and Wastewater, en su versión 19, tal metodología fue estandarizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el cual nos dice que en cada sitio de estudio se tomarán muestras puntuales, recolectadas en recipientes plásticos de 1 litro etiquetados con marcador permanente, dicha etiqueta contiene el código del área, la fecha y la hora del muestreo, los recipientes se llenaron a 20 cm de profundidad y fueron almacenados en una nevera portátil con hielo a 4°C los cuales se emplearon para la determinación de algunos parámetros fisicoquímicos, que no pudieron ser tomados en el lugar por motivos de portabilidad de equipos.

5.2.3. Actividad 3. Seleccionar los parámetros fisicoquímicos

Basado en estudios previos de otros autores llegamos a la conclusión que los factores que más afectan un ecosistema acuático son: Oxígeno disuelto (OD), temperatura (°C), pH, conductividad eléctrica, ($\mu\text{S}/\text{cm}$), transparencia (distancia Secchi, en metros) y la profundidad de la columna de agua (metros), Alcalinidad total ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$), y otros parámetros que pueden indicar la presencia de materia orgánica, tales como: nitratos ($\text{mg}/\text{l N-NO}_3$), nitritos ($\text{mg}/\text{l N-NO}_2$), fosfatos ($\text{mg}/\text{l P-PO}_4$).

5.2.3. Actividad 4. Seleccionar las técnicas empleadas para los análisis físico-químicos del agua.

Las medidas fueron tomadas con una sonda (thermo scientific orion 5 star), la cual permitió la recopilación in situ de algunos de los parámetros empleados en esta investigación.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos seleccionados.

Parámetro	Lugar	Método	Unidades
Temperatura	In situ	Termométrico	°C
Conductividad eléctrica	In situ	Conductímetro	μS/cm
Alcalinidad	In situ	Espectrofotométrico	mg de CaCO ₃
Oxígeno disuelto	In situ	Electrométrico	mg/l de O ₂
Turbiedad	Laboratorio	Espectrofotométrico	FTU
Transparencia	In situ	Disco secchi	Cm
pH	In situ	Potenciométrico	pH
Profundidad	In situ	Cinta métrica	M
Nitratos	Laboratorio	Espectrofotométrico	mg/l N-NO ₃
Nitritos	Laboratorio	Espectrofotométrico	mg/l N-NO ₂
Amonio	Laboratorio	Espectrofotométrico	mg/l N-NH ₃
Fosfatos	Laboratorio	Espectrofotométrico	mg/l P-PO ₄

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

5.2.4. Actividad 5. Establecer los índices que se tendrán en cuenta en el estudio, basados en estudios previos realizados en otros ecosistemas acuáticos seleccionamos cuales son los factores físico-químicos, que tienen mayor influencia en la calidad del agua, y se pueden emplear en la elaboración de índices de calidad de agua, logrando así escoger factores de importancia para el complejo de la Zapatosa, además de asegurar su toma in situ o en laboratorios cercanos.

5.2.5. Actividad 6. Cálculo de los ICO'S fisicoquímicos, Mediante la programación de fórmulas en Excel, se utilizaron los parámetros recolectados en las épocas de aguas altas y sequía para calcular los diferentes índices de calidad del agua.

5.2.6 Índice de estado trófico (IET):

$$IET(PSR) = 10\left(6 - \frac{\ln(21.67/PSR)}{\ln 2}\right)$$

PSR= fosforo soluble reactivo (mg/l)

$$IET(Ds) = 10\left(6 - \frac{\ln(Ds)}{\ln 2}\right)$$

Ds = Profundidad disco secchi (m)

$$IET(NT) = 10\left(6 - \frac{\ln(1.47/NT)}{\ln 2}\right)$$

NT = Nitrógeno Total (mg/l)

$$IET = \frac{IET(PSR) + IET(Ds) + IET(NT)}{3}$$

El criterio de calificación de este índice es:

Oligotrofia: < 44

Mesotrofia: 44 – 54

Eutrofia: >54

P.ej:

$$IET(PSR) = 10\left(6 - \frac{\ln\left(\frac{21.67}{0.70541 PO4}\right)}{\ln 2}\right) = 10.589$$

$$IET(Ds) = 10\left(6 - \frac{\ln(0.40 m)}{\ln 2}\right) = 73.219$$



$$IET(NT) = 10\left(6 - \frac{\ln\left(\frac{1.47}{0.482 N}\right)}{\ln 2}\right) = 49.940$$

$$IET = \frac{(10.589 + 73.219 + 49.940)}{3} = 44.58$$

5.2.7 Índice de contaminación por pH (ICOpH):

$$ICOpH = \frac{e^{-3.108+3.45 pH}}{1 + e^{-31.08+3.45 pH}}$$

Tabla 4. Valores de referencia ICOpH.

ICOpH	NIVEL DE CONTAMINACIÓN	COLOR
0-0.2	Nula	
0.2-0.4	Baja	
0.4-0.6	Media	
0.6-0.8	Alta	
0.8-1	Muy alta	

Fuente: (Ramírez, Restrepo, & Cardeñosa, 1999)

P.ej:

$$ICOpH = \frac{e^{-3.108+3.45 (6.7)}}{1 + e^{-31.08+3.45 (6.7)}} = 0.0308$$

5.2.8 Índice Canadiense de calidad de las aguas (CCME-WQI):

$$CCME - WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{f1^2 + f2^2 + f3^2}}{1.732} \right)$$

Donde:

$$F1 = \left(\frac{\text{Parametros que no cumplieron con los niveles deseables}}{\text{Numero total de parametros}} \right) * 100$$

$$F2 = \left(\frac{\text{Parametros que no cumplieron con los niveles deseables}}{\text{Numero total de resultados}} \right) * 100$$

$$\text{Desviación} = \left(\frac{\text{Valor del resultado fuera de conformidad}}{\text{Nivel deseable}} \right) - 1$$

$$NSE = \left(\frac{\sum \text{de todas las desviaciones}}{\text{Numero total de resultados}} \right)$$

$$F3 = \left(\frac{NSE}{0.01 * NSE + 0.01} \right) * 100$$

Tabla 5. Valores de referencia CCME-WQI.

<i>Criterios Para la Clasificación de las Aguas según el CCME-WQI.</i>		
CCME-WQI	Clasificación	Descripción
95-100	Excelente	<p>La calidad del agua está protegida con ausencia virtual de amenazas o daños.</p> <p>Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.</p>
80-94	Buena	<p>La calidad del agua está protegida con algunas amenazas o daños de poca magnitud.</p> <p>Las condiciones raramente se apartan de los niveles naturales o deseados.</p>
65-79	Regular	<p>La calidad del agua es usualmente protegida pero ocasionalmente es amenazada o dañada.</p> <p>Las condiciones a veces se apartan de los niveles naturales o deseados.</p>
45-64	Marginal	<p>La calidad del agua es frecuentemente amenazada o dañada. Las condiciones con frecuencia se apartan de los niveles naturales o deseados</p>
0-44	Pobre	<p>La calidad del agua está casi siempre amenazada o dañada. Las condiciones usualmente se apartan de los niveles naturales o deseados.</p>

Fuente: (Balmaseda & Garcia, 2014)

P.ej:

$$F1 = \left(\frac{7}{10}\right) * 100 = 70$$

$$F2 = \left(\frac{7}{40}\right) * 100 = 17.5$$

$$\text{Desviación} = \left(\frac{3.6}{5}\right) - 1 = -0.28$$

$$\text{NSE} = \left(\frac{-0.28 + (-0.28) + (-0.54) + 0.25 + 0.3 + 0.75 + 2.35}{40}\right) = 0.063$$

$$F3 = \left(\frac{0.063}{0.01 * 0.063 + 0.01}\right) * 100 = 5.926$$

$$\text{CCME} - \text{WQI} = 100 - \left(\frac{\sqrt{70^2 + 17.5^2 + 5.9^2}}{1.732}\right) = 58.2$$

5.3. ETAPA 3: ESTUDIAR LA BIOLOGÍA Y REPRODUCCIÓN DE LA POBLACIÓN DE *POTAMOTRYGON MAGDALENAE*, EN LA CIÉNAGA DE ZAPATOSA.

5.3.1. Actividad 1. Recolección de los individuos aprovechados, Se realizó con pescadores locales del municipio de Chimichagua en horarios comprendidos entre las 4 AM, y las 3 PM; en los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2017; febrero, marzo y mayo de 2018.



5.3.2. Actividad 2. Transporte y conservación de los individuos recolectados al laboratorio, Los individuos que fueron aprovechados de la pesca incidental en la ciénaga, se conservan en neveras portátiles con hielo a 4°C y posteriormente son enviados hasta el laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria en el campus sabana de la Universidad Popular del Cesar.

5.3.3. Actividad 3. Recolección de información en bruto de cada individuo, Se tomó información que va desde el peso, el ancho discal, el sexo, el sitio de captura, número de neonatos (En caso de estar en etapa de gestación), disección del estómago para analizar su contenido, entre otros datos biológicos y reproductivos que permitan realizar una base de datos para obtener conclusiones significativas.



5.3.4. Actividad 4. Establecer los índices que se pueden aplicar a los individuos recolectados, basados en estudios previos realizados en fauna íctica y con la información recolectada de la actividad anterior, se seleccionaron los siguientes índices biológicos.

5.3.5. Actividad 5. Cálculo de los ICO'S biológicos, Mediante la programación de fórmulas en Excel, se utilizó la información recolectada de los individuos aprovechados en la actividad previa para calcular los diferentes índices biológicos aplicables a la *Potamotrygon M.*

5.3.5.1. Índice hepatosomático (IHS): Máximo valor promedio significa mayor carga contaminante en la zona de estudio.

$$\text{IHS} = (\text{Ph}/\text{Pv}) * 100$$

Dónde: Ph es el peso del hígado (g) y Pv es el peso eviscerado del ejemplar (g).

5.3.5.2. Índice gonadosomático (IGS): Máximo valor promedio significa madurez gonádica.

$$\text{IGS} = (\text{Pg}/\text{Pv}) * 100$$

Dónde: Pg, peso promedio de las gónadas (g) y Pv, peso eviscerado (g).

5.3.5.3 Índice de importancia relativa (IIR): Máximo valor promedio significa mayor importancia alimenticia.

$$\text{IIR} = F (N - V)$$

Dónde: N porcentaje numérico, V porcentaje volumétrico y F es la frecuencia o porcentaje de ocurrencia.

5.3.5.4 Factor de condición (K): El resultado de K se compara con 1, cuando K es menor que 1 los peces tienen un grado de estrés presente, mientras que si K es igual o ligeramente mayor a 1 se concluye crecimiento sin estrés.

$$K = (P/(\text{AD}^3)) * 100$$

Dónde: P peso en gramos del pez sin viseras ni gónadas y AD es el ancho discal.

5.3.6. Actividad 6. Agrupación de datos, Se realizó una discriminación de individuos según las características que comparten en Excel, esto con el fin de realizar un posterior análisis estadístico con los programas (SSPS, SAS, XLSTAT), que permita obtener resultados significativos.

5.4. ETAPA 4: DETERMINAR EL EFECTO DE LA CALIDAD DEL AGUA SOBRE LA BIOLOGÍA Y REPRODUCCIÓN DE LA *POTAMOTRYGON MAGDALENAE* EN LA CIÉNAGA DE ZAPATOSA.

5.4.1. Actividad 1. Investigación preliminar antes de los análisis, Se investigaron diversas tesis de grado que relacionasen variables fisicoquímicas con variables biológicas; recolectando una gran cantidad de información, y comparando las observaciones de los diferentes autores, esto con el fin de analizar correctamente cuales son las consecuencias de la contaminación del medio en una especie endémica y aplicarlo a esta investigación.

5.4.2. Actividad 2. Relacionar la información biológica e índices, Con los programas SPSS, XLSTAT, SAS; se realizaron varios análisis de significancia que relacionaran que índices tiene mayor relevancia en el estado de bienestar general, de la Potamotrygon, la reproducción y como se ve afectada según la contaminación existente en cada zona.

6. RESULTADOS Y ANALISIS.

A continuación, se muestran los resultados y análisis para cada índice de contaminación ICO, además de los parámetros que permitieron la realización de tales índices, para finalizar con la relación entre parte biológica y parte fisicoquímica de la investigación.

6.1 Dinámica espacio-temporal de la calidad del agua

En la (tabla 6), se encuentran los valores obtenidos para cada una de las variables fisicoquímicas que se emplearon en el desarrollo de los índices fisicoquímicos, por época y estación de muestreo.

En el muestreo realizado en época de aguas bajas, el valor de temperatura más alta registrado fue de 29.5°, en la estación 4 y el más bajo de 27. 8°, en la estación 3, y su promedio para esta época fue de 28.8 ± 0.584 , mientras que, en el periodo de aguas altas, se registró un valor máximo de 33° y un mínimo de 30.9°.

La estación 1 fue la que registró el valor más alto de conductividad eléctrica en época de estiaje, lo cual indica una carga contaminante alta proveniente del rio Cesar; mientras que el valor más bajo se presentó en la estación 3, el valor promedio fue de 190.8 ± 69.48 us/cm.

La alcalinidad presentó un valor promedio de 220 mg/L de CaCO₃ en época de aguas bajas, teniendo su pico máximo en la estación 3 (250 mg/L); si comparamos los resultados obtenidos en esta investigación, con los resultados obtenidos por el equipo de trabajo de Rangel (2012) citado textualmente a continuación “en las fases de aguas altas se presentan valores bajos a medios de alcalinidad que fluctuaron entre 52 y 112 mg/L de CaCO₃ con un promedio general de 72 mg/L” podemos concluir que, en sus resultados en época de aguas bajas, también se registraron los niveles más altos de alcalinidad en el complejo.

Por su parte el oxígeno disuelto se mantuvo muy estable en todos los puntos del complejo, siendo el valor máximo registrado de 9.3 mg/l en la estación 4, y su contraparte mínima fue de 6.4 mg/l en la estación 1; siendo esta la estación que

recibe directamente los aportes del río Cesar, concluyendo que la calidad del agua que vierte este efluente es baja.

La turbiedad tiene un aumento significativo en la época de aguas bajas, esto se debe a que el volumen de agua del cuerpo es menor, logrando dispersar menos los sedimentos que arrastran sus efluentes; la turbiedad se encuentra relacionada estrechamente con la transparencia, la cual tuvo un valor mínimo de 17 cm y un máximo de 22 cm en esta época, la relación estrecha viene dada porque a mayor turbidez, la transparencia (distancia secchi) disminuye.

Los valores de pH estuvieron en dentro del valor máximo permisible por la norma colombiana (Dec. 1594 de 1984 - Art.38) en todas las estaciones de muestreo (Tabla 6), obteniendo los valores más bajos en el periodo de aguas altas, lo cual pudo deberse por la esorrentía arrastrada dentro del humedal por las precipitaciones, posteriormente si tenemos en cuenta que el complejo tiene una gran superficie cubierta por macrófitas acuáticas tales como *Eichhornia azurea*, *Hymenachne amplexicaulis*, *Paspalum repens*; entre otras Rangel (2012).

Toda está vegetación al cumplir su ciclo de vida se transforma en materia orgánica, la cual es susceptible a descomponerse y posteriormente a liberar CO₂, el cual mediante procesos naturales forma ácido carbónico que disminuye los niveles de pH Cole (1988). Lo anterior sumado a las descargas de aguas residuales de los municipios aledaños, complementan los aportes de materia orgánica.

Los nitratos se registraron en muy bajas concentraciones para todos los puntos y épocas de muestreo, normalmente el nitrato proviene de forma natural del suelo, aunque también se consideran los aportes que tienen los fertilizantes químicos que pueden infiltrarse de los cultivos alrededor del cuerpo de agua (López & Lechuga, 2001); por lo cual, se considera que en el complejo no existe un grado de contaminación por nitratos, esto puede ser posible por la existencia de algunas plantas que al realizar la fotosíntesis, consumen estas sustancias.

Los nitritos aparecen en el agua tanto por la oxidación del ion amoniaco, como por la descomposición de nitratos a nitritos, su detección informa de contaminación reciente dada su inestabilidad. (Fernández & Vázquez, 2006)

Por su parte el fosforo disuelto en el agua puede provenir naturalmente de formaciones rocosas fosfatadas, o a través de procesos microbianos que lo retornan a partir de la descomposición de materia orgánica, del lavado de los suelos, y por escorrentía agrícola/ganadera. Espejo (2017); Los fosfatos ayudan la eutrofización del medio, lo cual; mediante el aumento de materia orgánica; modifica las características fisicoquímicas del agua. Roldán (2016)

El amonio normalmente no debe tener cabida en aguas superficiales que se encuentren bien aireadas, su presencia se considera producto de contaminación reciente y peligrosa, Espejo (2017); nos dice que la descarga de esté contaminante en el agua, reduce los niveles de oxígeno disuelto.

Tabla 6. Resultados por época de los parámetros fisicoquímicos empleados en el cálculo de los índices de calidad del agua.

	Valor	Tem	C.E	Alc	OD	Tur	Tran	pH	Prof	Nitra	Nitri	Fosfa	Amo
Aguas bajas	Máx.	29.5	289.4	230	9.3	160	22	8.4	2.35	0.308	0.115	1.26	0.77
	Mín.	27.8	134.5	215	6.4	78	17	8	1.13	0.192	0.071	0.26	0.24
	Prom.	28.8	190.8	220	7.8	119	18	8.2	1.93	0.269	0.090	0.72	0.37
Aguas altas	Máx.	33	126.7	80	9.8	18	113	8.3	5.8	0.655	0.029	0.35	0.08
	Mín.	30.9	106.4	70	2	16	62	7.1	4.3	0.51	0.008	0.17	0.04
	Prom.	31.6	122.1	77.5	6.9	16	77.5	7.6	4.8	0.411	0.016	0.25	0.05
Valores de ref													
	Max	40	1000	500	12	500	NA	9	NA	10	0.02	5	0.2
	Min	20	250	NA	5	NA	NA	6.5	NA	NA	NA	NA	NA

Tem: temperatura(°C), C.E: conductividad eléctrica(μS/cm), Alc: alcalinidad(mg de CaCo3), OD: oxígeno disuelto(mg/l de O₂), Tur: turbiedad(FTU), Tran: transparencia(cm), pH: pH(pH), Prof: profundidad(m), Nitra: nitratos(mg/l N-NO₃), Nitri: nitritos(mg/l N-NO₂), Fosfa: fosfato(mg/l P-PO₄), Amo: amonio(mg/l N-NH₃), NA: No aplica.

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

6.1.1 Variaciones hídricas en la ciénega de Zapatosa.

El estudio de las variaciones hídricas en el complejo cenagoso se realizó con el fin de poder analizar posteriormente; como se vieron afectados los parámetros fisicoquímicos, y comprender cuales de estos parámetros tienen una relación directa con la subida y/o bajada del nivel del agua; mediante la (figura 8) podemos observar que las aguas altas se producen en la transición de los meses noviembre/diciembre, mientras que la época de sequía va de febrero a marzo.

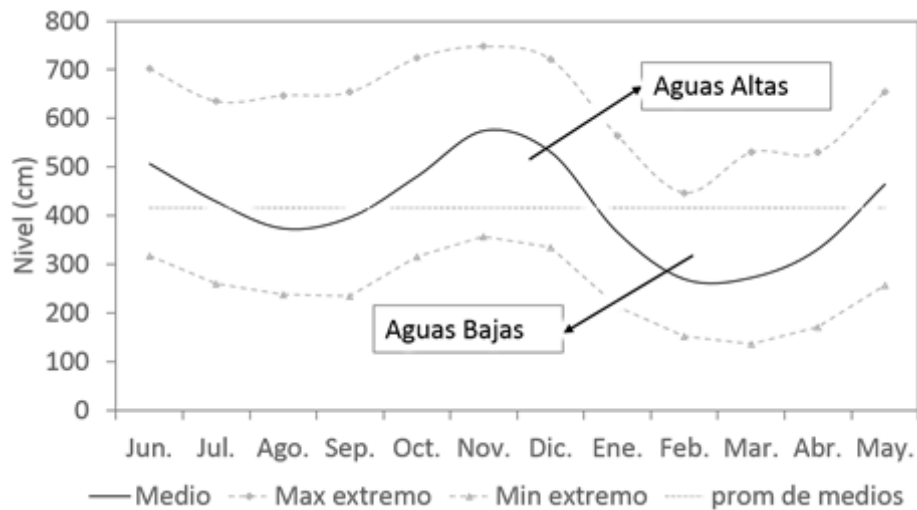


Figura 8. Variaciones del nivel de agua en la estación Belén (Lat. 9° 05' - Lon. 73° 54') en el periodo comprendido entre 1974 al 2015.
Fuente: IDEAM 2015.

6.1.2 Índices de calidad del agua “físicoquímicos”

En la (tabla 7), se comparan los resultados de los índices de calidad en los dos periodos hídricos, tales índices buscan determinar el grado de contaminación del complejo cenagoso; según diferentes parámetros físicosquímicos; los ICA's están diseñados para cuantificar el nivel de contaminación de las aguas desde una perspectiva general, y no respecto a un contaminante específico. (Espejo, 2017).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada índice para el caso del complejo cenagoso de la Zapatosa:

6.1.2.1 (IET): Índice de estado trófico, este índice, como su nombre lo indica se calcula según varios parámetros que inciden en la eutrofización del agua, los cuales son: el nitrito, nitrato, amonio, fósforo soluble y la transparencia medida con el disco secchi; las concentraciones de fósforo soluble reactivo presentaron oscilaciones en los dos periodos climáticos, siendo los valores más bajos en el periodo lluvioso; si comparamos los resultados del EIT en el periodo de aguas altas, con la clasificación del índice, se aprecia que todos los resultados del índices muestran el complejo como oligotróficos, siendo el punto 2 de mayor valor según el índice; Cuando la ciénaga se encuentra en su lámina de agua máxima la concentración de nitrógeno en el punto 1 (el más cercano al vertimiento del río Cesar), se ve aumentada, esto puede deberse a la escorrentía que arrastra el río Cesar a la ciénaga, Carpenter *et al*, (2008). Mientras que la concentración del fósforo disminuye en todos los puntos de muestreo.

A diferencia de la época seca, donde la concentración todos los parámetros en estudio (a excepción del nitrógeno) aumentaron considerablemente esto implica que la cantidad de materia orgánica también crece notoriamente, llegando a ser aguas eutróficas que afectan la vida acuática.

Benjumea, Mayra, & Villabona (2018) en su investigación nos dicen que las mayores concentraciones de fósforo total, nitrógeno total (NTK), amonio (NH₃-N) y nitratos (NO₃-N) se presentan en las temporadas de sequía y que el menor volumen del caudal en estas épocas no permite la dilución de los nutrientes, produciendo así la eutrofización del medio; Estadísticamente los resultados del índice de estado trófico presentan una diferencia significativa (tukey $p < 0.05$) entre las dos épocas, siendo el punto 3 el de mayor calidad en época de sequía, y asimismo el punto 3 fue el de mayor calidad en el periodo de aguas altas, otros factores que pueden generar degradación del hábitat y aumentar los niveles de eutrofización en la ciénaga, son las cargas contaminantes de las aguas del río Magdalena/Cesar, y las poblaciones asentadas en varios islotes al interior de la ciénaga.

Según el resultado del (IET) del equipo de trabajo de Rangel (2012), la ciénaga obtuvo un valor promedio de 70 en este índice, además nos señalan que los valores más altos fueron en periodo de aguas altas; los investigadores afirman que esto puede deberse a valores más elevados de fósforo en el periodo, proveniente de la escorrentía de cultivos aledaños.

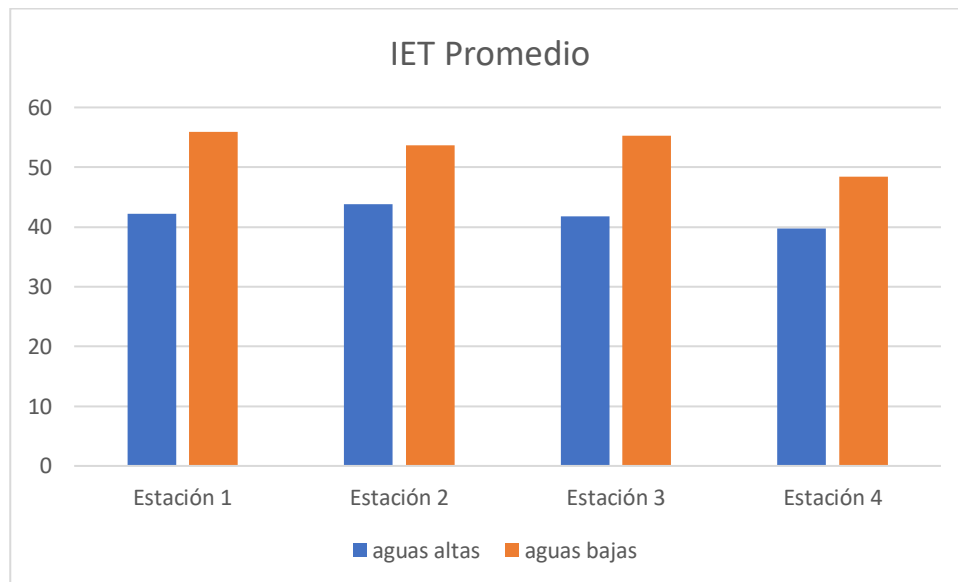


Figura 9. Índice (IET Pr.)

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

6.1.2.2 (ICOpH). Las aguas destinadas para la conservación del medio ambiente y sus poblaciones acuáticas deben contar con un valor ideal de 0 a 0.4 según este índice Ramírez, Restrepo, & Cardeñosa (1999); en el caso del complejo cenagoso de la Zapatosa se determinó en época de sequía un ICOpH promedio de 0.03293 ± 0.000952 ; teniendo en todas las estaciones un nivel de contaminación por pH muy bajo.

En la época de aguas altas se observa un resultado promedio de 0.03158 ± 0.000799 , lo cual indica que el agua de todas las zonas puede ser óptimas para el normal desarrollo de la *P. Magdalenae*, en lo que a términos de pH se refiere.

Estadísticamente entre los resultados del ICOpH No hay diferencia significativa, lo cual nos indica que no existe una variación entre el periodo de estiaje e inundación, esto se debe a que en el periodo lluvioso se produce la escorrentía de cultivos alrededor del complejo, pero se compensa bajando la concentración de contaminantes por el mayor volumen de agua. Torres (2008) Nos dice que, en su investigación, realizada en la microcuenca Sancotea en el departamento de Santander, la diversidad fue notablemente más baja en la estación 1 con respecto a la 2,3,4; tal estación reporta niveles bajos de contaminación según el ICOpH, anotando además que los valores de pH fueron menores a 5 durante los monitoreos.

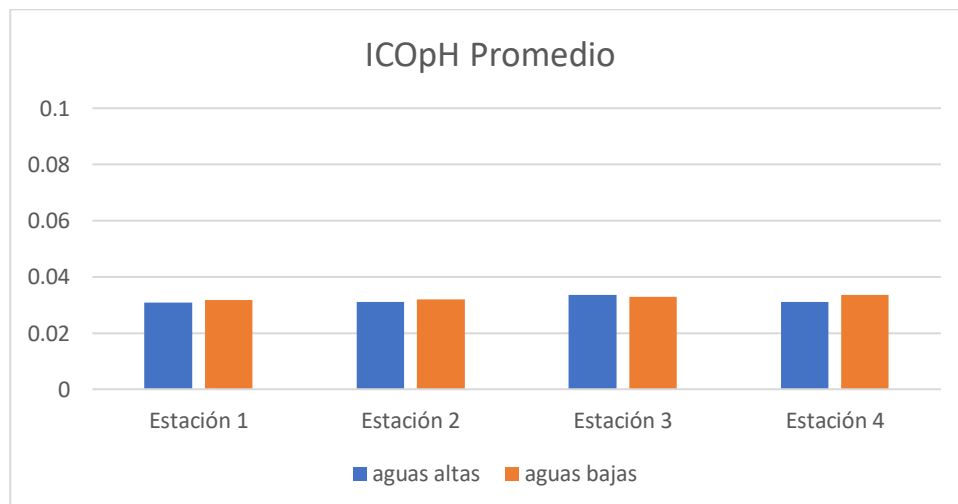


Figura 10. Índice (ICOpH)

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

6.1.2.3 (CCME). Según el ministerio de ambiente canadiense, se requiere un resultado de 80 a 100 de este índice en aguas propuestas a la preservación del medio ambiente, y con ello la conservación de sus poblaciones, en el caso del complejo cenagoso de la Zapatosa, se determinó en época de estiaje un índice CCME promedio de 64.2, 59.7, 54.9, y 57.2 para los sitios 1, 2, 3 y 4 respectivamente, lo cual nos indica según su clasificación que: los puntos 3 y 4 obtuvieron los peores resultados.

Los resultados inferiores a 80 son regulares llegando hasta 65, esto se debe a la contaminación producida por vertimientos de aguas servidas y por fertilizantes arrastrados en forma de escorrentía por el río Cesar.

En época de aguas altas se observa un valor de 85.4, y 86.2 en los puntos 2 y 3 los cuales fueron los que menor valor obtuvieron en la época de aguas bajas, curiosamente en esta época presentaron el valor más que adecuado para el correcto desarrollo de la vida acuática, esto se produce en mayor medida por el aumento de la cantidad de agua, diluyendo los contaminantes y aumentando así el resultado de este índice.

Mas al norte de la ciénaga, se produce una disminución en la calidad del agua y por ende una disminución en el valor del índice en la estación 1, donde su valor llega a 82.8, siendo este un resultado excelente, pero un poco más bajo que las demás estaciones estudiadas; tal resultado es más bajo por la cantidad de contaminantes que arrastra el río Cesar antes de verter sus aguas en el complejo, lo que nos infiere que ocurre una variación en las propiedades fisicoquímicas del agua entre los periodos lluvioso y de estiaje, esto se debe fundamentalmente porque en el periodo lluvioso los efluentes del complejo traen mayores sedimentos consigo.

Los doctores Balmaseda & Garcia (2014) nos dicen que en su aplicación del “CWQI” en la cuenca del río Naranjo, en Cuba; los parámetros que tuvieron más incidencia en los resultados del índice fueron, “La conductividad eléctrica, los contenidos de sodio, cloruros y bicarbonatos”, esto difiere de nuestra investigación ya que los parámetros que tuvieron mayor incidencia en el resultado del índice fueron la turbiedad y el oxígeno disuelto.

Esta discrepancia en los parámetros se produce gracias a la flexibilidad que posee este índice de permitir que el investigador emplee los parámetros que tienen más afectación en la zona de estudio, y/o los parámetros que considere relevantes.

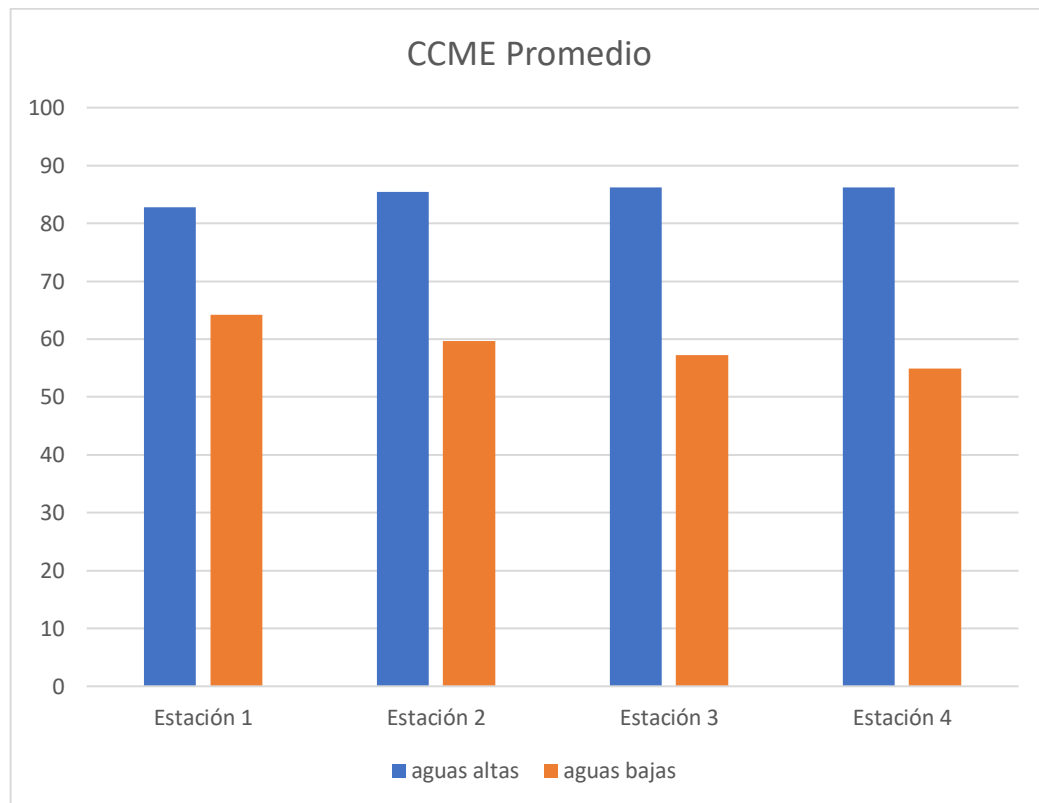


Figura 11. Índice (CCME)
Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Tabla 7. Resultados por época de los índices de calidad del agua.

Ép.	Sit	IET PSR	IET DS	IET NT	IET PR	ICOpH	CCME
Aguas bajas	E1	27.49±6.607A*	52.01±0.3F**	50.72±0.107AB	53.38±2.283AB	0.03175±0CD	64.2±0
	E2	24.51±1.667AB	61.23±1.089B	50.57±0.437AB	53.2±0.772AB	0.03207±0.000544BD	59.7±6.153
	E3	13.72±1.281B	59.05±1.133E	51.44±0.401AB	49.32±0.799B	0.03295±0.00045AB	57.2±6.153
	E4	24.26±2.592AB	59.45±0.656E	52.22±1.428A*	53.48±1.562A*	0.03358±0.000944A*	54.9±0**
Aguas altas	E1	15.15±1.375B	75.53±1.981AC	48.93±5.166AB	40.83±1.731E	0.03083±0.00001D**	82.8±0
	E2	10.58±5.388B	78.1±1.189A*	49.1±0.264AB	42.44±1.907C	0.03097±0D	85.4±1.230
	E3	5.82±2.229B**	76.4±1.671AD	46.76±0.215B**	39.34±1.165F**	0.03347±0AC	86.2±0*
	E4	8.02±1.596B	77.57±0.76AE	50.54±0.381AB	41.47±0.472D	0.03111±0.000056D	86.2±0
Valores de referencia.		Oligotróf <44	Oligotróf <44	Oligotróf <44	Oligotróf <44	Nula: 0-0.2	Excelente 95-100
		Mesotróf:44-54	Mesotróf:44-54	Mesotróf:44-54	Mesotróf:44-54	Baja: 0.2-0.4	Buena 80-94
		Eutrofia: >54	Eutrofia: >54	Eutrofia: >54	Eutrofia: >54	Media: 0.4-0.6	Regular 65-79
						Alta: 0.6-0.8	Marginal 45-64
					Muy: alta 0.8-1	Pobre 0-44	

Distintas letras simbolizan diferencias significativas entre los muestreos (ANOVA, $p < 0.05$) *Mayor promedio, **Menor promedio. Oligotróf: Oligotrófico, Mesotróf: Mesotrófico.

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

6.2 Biología y reproducción de la *Potamotrygon Magdalenae*

6.2.1 Índices de calidad “Biológicos”

Los índices de calidad biológicos se calcularon y luego promediaron según la época y la estación (Tabla 8), con el fin de evaluar las afectaciones que la calidad del agua (Previamente medida con los índices fisicoquímicos), tienen sobre la especie en estudio (*P. Magdalenae*), enfocando tales índices en la reproducción, alimentación y la abundancia relativa según la zona de muestreo.

Previo al cálculo de los índices biológicos correspondientes a la investigación se estudiaron aspectos como: el rango promedio de madurez sexual, el estado de madurez en la comunidad estudiada y los neonatos según la época de estudio.

Tabla 8. Rango promedio madurez sexual.

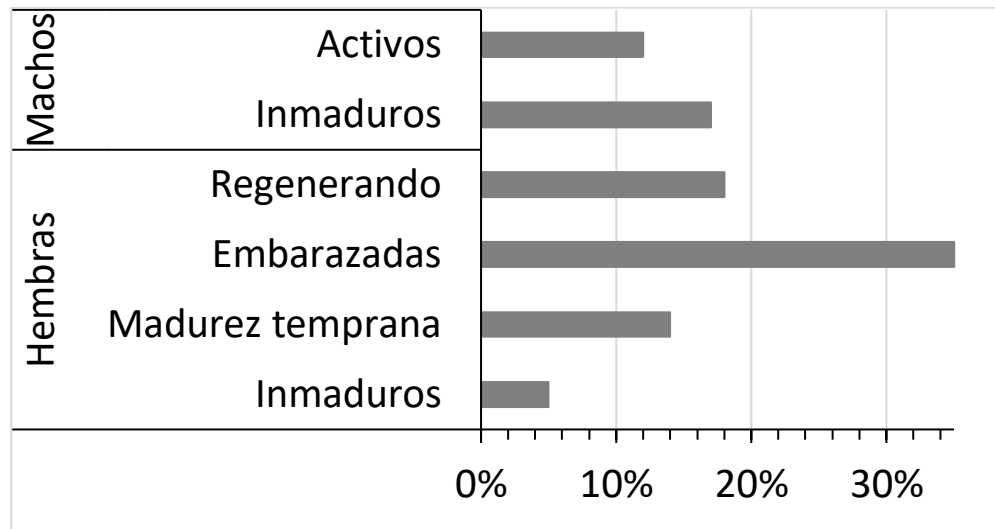
La talla media de primera madurez sexual se estimó en un promedio de 20 y 32 cm de ancho discal para machos y hembras respectivamente; considerando que 12 de los 22 machos, y 29 de las 56 hembras superan esa medida podemos afirmar que el 55% de machos y 48% de hembras se encuentran aptos para reproducirse y crear descendencia.

Sexo		Machos	Hembras
Captura		22	56
Ancho Disco (cm)	Promedio	20	32
	Rango	7 – 32	12 – 54
Peso (g)	Promedio	527	2047
	Rango	58 – 1520	97 – 6150
Talla media de Madurez		20 cm	26 cm

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

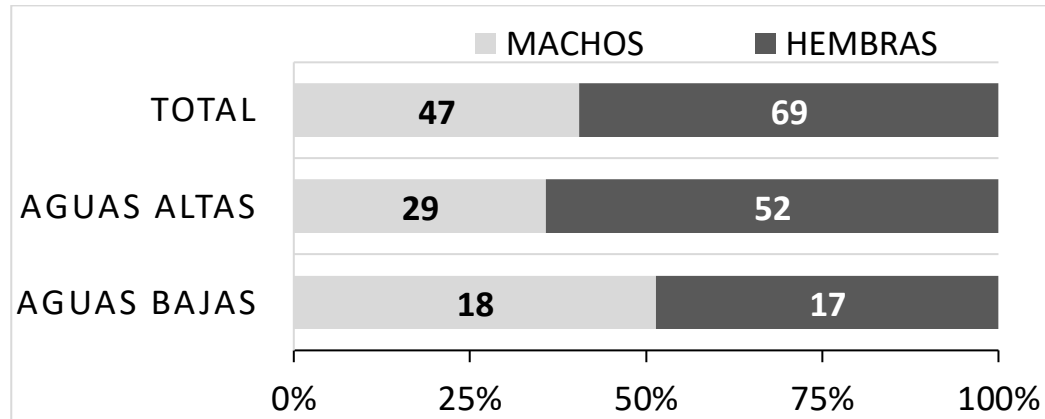
Tabla 9. Estado de madurez sexual.

De los 82 individuos aprovechados, 62 se encontraron en etapa activa de reproducción, habiendo una proporción de hembras y machos activos de 5,2:1 respectivamente; representando las hembras el 83.8% del total de individuos sexualmente maduros; la principal temporada reproductiva se registró en octubre, noviembre y diciembre teniendo un pico de 17 individuos capturados activos en este último mes.



Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Tabla 10. Neonatos por época.



Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Como medio de protección para su decencia, las hembras de *Potamotrygon Magdalenae*, al ser capturadas abortan la gestación de sus fetos y los libera en el acto, de las 25 hembras en etapa de gestación recolectadas, se aprovecharon 116 embriones neonatos; normalmente las crías de *P. Magdalenae* tienen “periodos de gestación entre cuatro a cinco meses en un mismo hábitat” Ramos & Grijalba (2011), sí al momento de la captura la hembra está cercana al tiempo de finalizarse la gestación es posible que las crías sobrevivan.

A pesar de estar en categoría “Casi amenazada” según el libro rojo de peces de agua dulce de Colombia Mojica, Usma, Álvarez, & Lasso (2012), la *P. Magdalenae* en la ciénaga de Zapatosa está relativamente segura gracias a la proporción existente entre machos y hembras de neonatos 1:1,46 (Ver tabla 10), está proporción de natalidad asegura que, una vez llegados a la madurez sexual, mientras una hembra está preñada, otra se está regenerando y/o está lista para procrear con un macho.

Los resultados de Lasso (2014) reportan de 2 a 3 neonatos en el interior de las hembras recolectadas en la cuenca del río Atrato (1-2 por ovario); resultados que difieren notablemente de esta investigación, donde se llegó a un máximo de 11 neonatos en una hembra de 5,53 kg de peso.

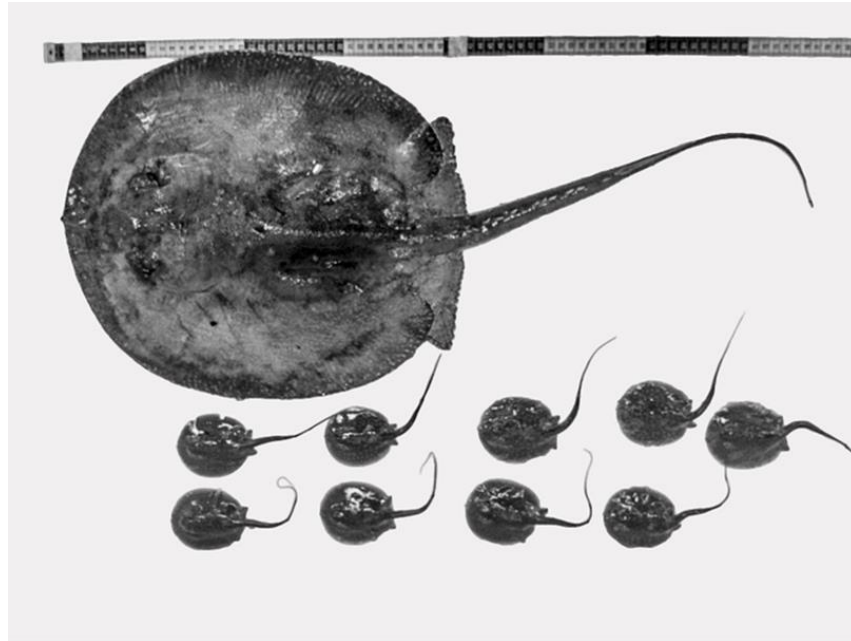


Figura 12. Embriones por hembra embarazada: (Rango 1-11)
Fuente: Autores del proyecto, 2020.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada índice biológico para el caso de la *Potamotrygon Magdalenae*:

6.2.2 (IHS): El IHS fue numéricamente superior para hembras que para machos en general; obteniendo un resultado promedio de 11.15 y 8.23 respectivamente; en la época de aguas altas se observó, el valor más alto del índice en el punto 3, seguido del punto 4 (Tabla 11), lo cual denota mayor contaminación proveniente de las poblaciones aledañas y sus sistemas de desagüe; además del aumento en la concentración de los contaminantes por la escorrentía en los efluentes. Mientras que para la época de aguas bajas así mismo como disminuye el volumen del complejo, también disminuye la escorrentía arrastrada por los efluentes que vierten a la ciénaga, siendo así que los valores promedios del índice se ven reducidos en casi todos los puntos de muestreo, a excepción del punto 2, cuyo valor pasó de tener un valor promedio en época de aguas altas de 6.28 a 9.93 en época de aguas bajas, esta afectación puede deberse a un posible vertimiento puntual.

Algo similar, encontraron Boada, Rojas, Prieto, Moreno, & Aguilar (2019), donde el resultado del IHS fue mayor en hembras que en machos, y su conclusión fue la especie estudiada es sedentaria y las hembras almacenan energía en forma de grasa en el hígado previo a la época de apareamiento; este comportamiento es similar al de la *Potamotrygon*, la cual almacena energía en el hígado para alistándose para salir preñada, haciendo la anotación de que a mayor contaminación del medio, mayor estrés en el desarrollo del pez y por ende variaciones en la morfología de los órganos encargados de depurar el cuerpo del pez; Ochoa & Gonzales (2008) en su investigación afirman que el estrés producido por diferentes tipos de contaminantes sobre los peces es responsable de generar variaciones principalmente en hígado y branquias; y teniendo en cuenta que el IHS se calcula en base al peso del hígado, podemos aseverar que la contaminación del medio puede ocasionar un cambio en los resultados.

En la (figura 13) se realiza la comparación de los valores medios del IHS según el estado de madurez sexual (embarzadas, machos inmaduros...) esta comparación de los promedios dio como resultado que existe diferencia estadísticamente significativa, esto quiere decir que el índice hepatosomático en los machos es menor que, en los demás estados de maduración sexual, significando esto que los machos tienen en promedio el hígado más pequeño que las hembras.

El hígado en los peces, principalmente en la *Potamotrygon* es importante hablando biológicamente porque el hígado sirve como almacenamiento de grasas, por tal razón cuando las hembras están embarazadas el hígado es superior en tamaño puesto están acumulando energía; y cuando paren el hígado y por tanto el índice disminuye.

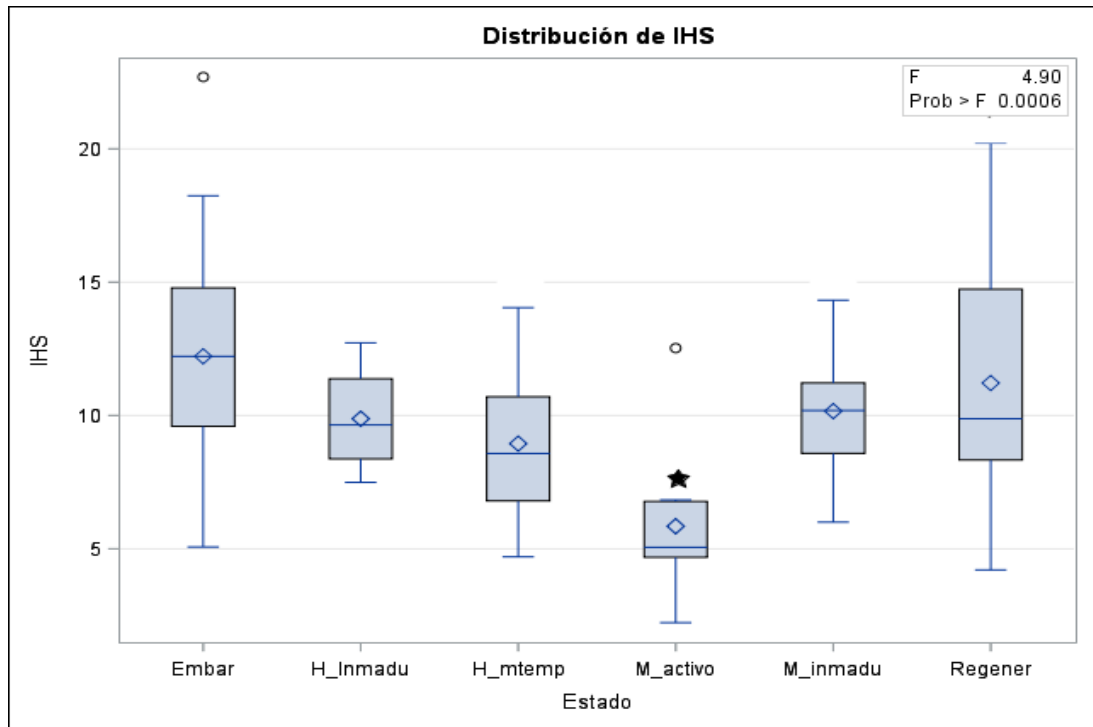


Figura 13. Distribución del índice hepatosomático según el estado de madurez sexual de la *Potamotrygon* Magdalenae. *: diferencia significativa.

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

6.2.3 (CPUE): Teniendo en cuenta el esfuerzo de captura (individuo/100 anzuelos) y la distribución del mismo en la ciénaga, se apreció que existe correlación entre la zona de influencia del municipio del Banco en la estación 3 y este índice; se aprecia además: que en la época de aguas altas, los resultados del índice más altos se ubican en las estaciones más cercanas a la vertimiento del río Magdalena sobre la ciénaga, lo cual nos indica que algunos individuos provienen del cauce del río, y no todos habitan en el complejo cenagoso.

Los resultados son presentados en (figura 14), y pueden ser empleados para darnos una idea acerca de; en cuales estaciones y sus alrededores el recurso *P. Magdalenae* se encuentra más abundante y al mismo tiempo más subutilizado por los pescadores locales.

En la (figura 14) podemos observar diferencia significativa en el promedio de capturas según la estación muestreada; la estación 3 registró las mayores capturas en las dos épocas de muestreo, dicha estación tuvo diferencias significativas con el resto de estaciones, puesto que allí se producen las mayores capturas incidentales.

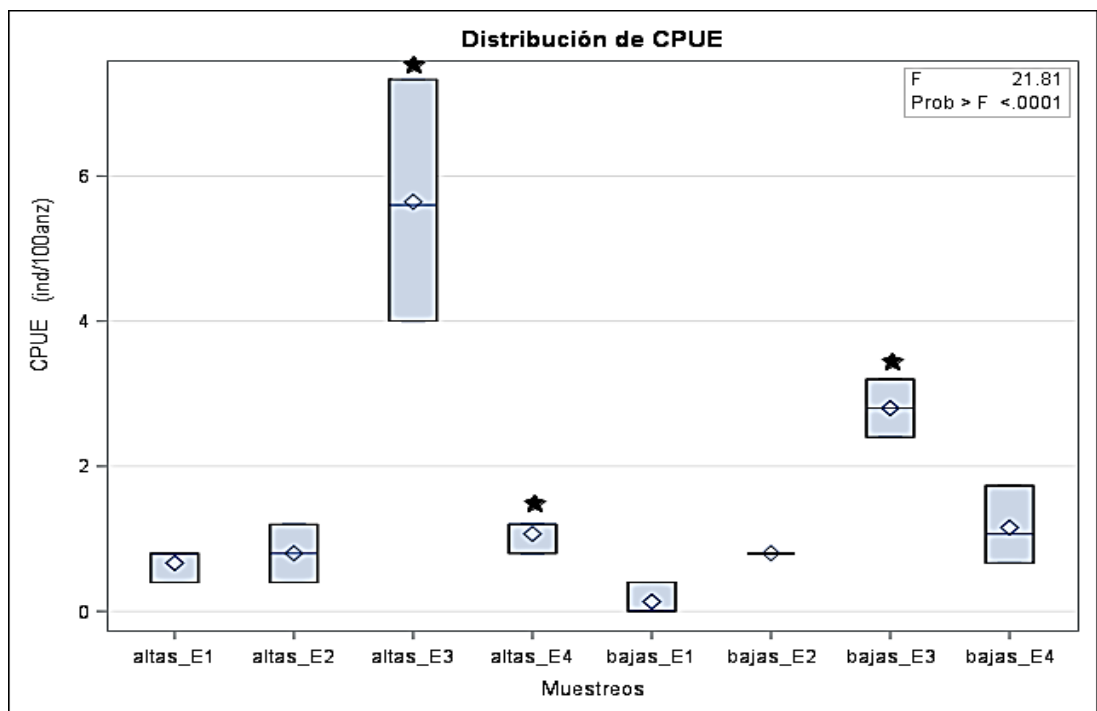


Figura 14. Distribución de la captura por unidad de esfuerzo.

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

6.2.4 (IIR): Este índice, es muy útil para resaltar la dieta de una especie en particular, según Clavario (2019), este índice no es práctico para especies de peces que se alimentan de organismos y partículas de diferente tamaño, ya que al tratarse de un método cuantificador, otorga el mismo valor a un foraminífero (microfósiles marinos), que a un pez; en este aspecto y según el autor, lo hace poco preciso y requiere de información más frecuente para funcionar bien.

Gracias a que la *P. Magdalenae* frecuenta alimento bentónico Ramos & Grijalba (2011), es posible saber con certeza el tipo de alimentación que prefiere de la ciénaga, haciendo la anotación de una posible afectación de origen antrópico en el ítem “peces”; ya que los pescadores al extender sus líneas de anzuelos, aportan trozos de peces que se van al fondo y son consumidos por la *P. Magdalenae*.

En la (Figura 15) se observa la magnitud de la afectación de origen antrópica que se produce sobre la especie, ya que los resultados del índice allí presentes, nos muestran que la alimentación por restos de peces tuvo dominancia sobre los demás ítems que forman el menú de la *Potamotrygon Magdalenae*; tal afectación se asegura en base a estudios previos de Ramos & Grijalba (2011) los cuales afirman; que la alimentación de esta especie es mayormente bentónica y detritívora.

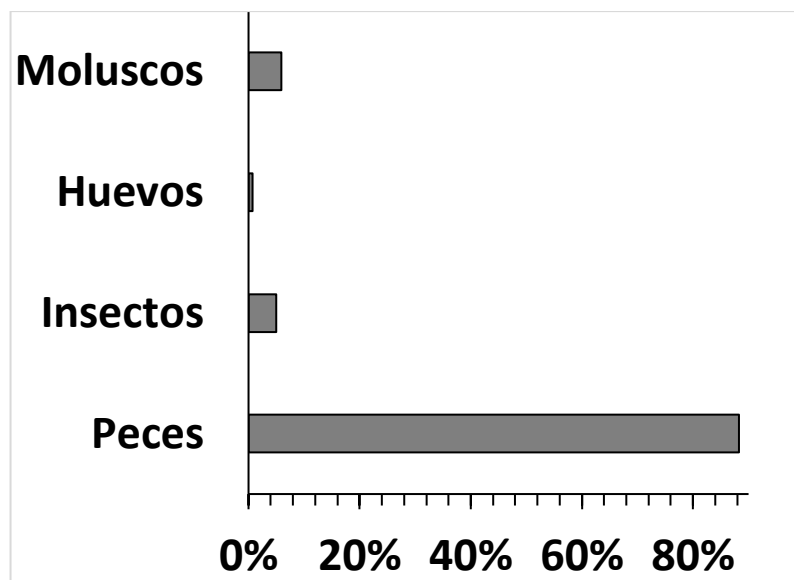
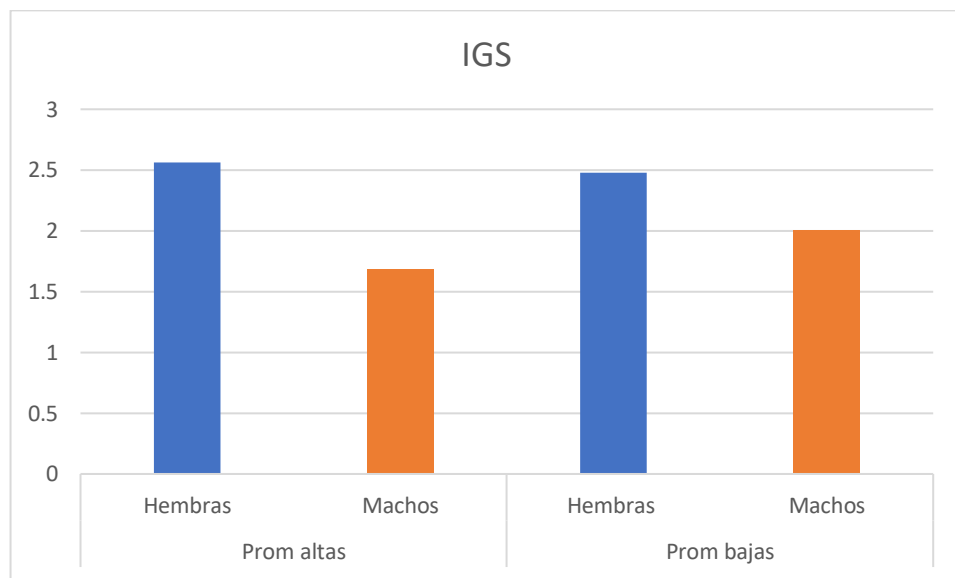


Figura 15. Índice de Importancia Relativa (IIR)

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

6.2.5 (IGS): El índice gonadosomático tuvo los resultados promedios más altos, en los meses que el índice hepatosomático tuvo sus resultados más bajos, los valores medios del (IGS) presentaron variaciones según el punto de muestreo, aunque el comportamiento entre ambos sexos fue similar; los resultados más altos se presenciaron durante los periodos de mayor nivel de lámina de agua (Promedio IGS= 2.56 y 1.68 para hembras y machos respectivamente); y en periodo de aguas bajas se aumentó a 2 para machos y se redujo a 2.48 para hembras respectivamente).



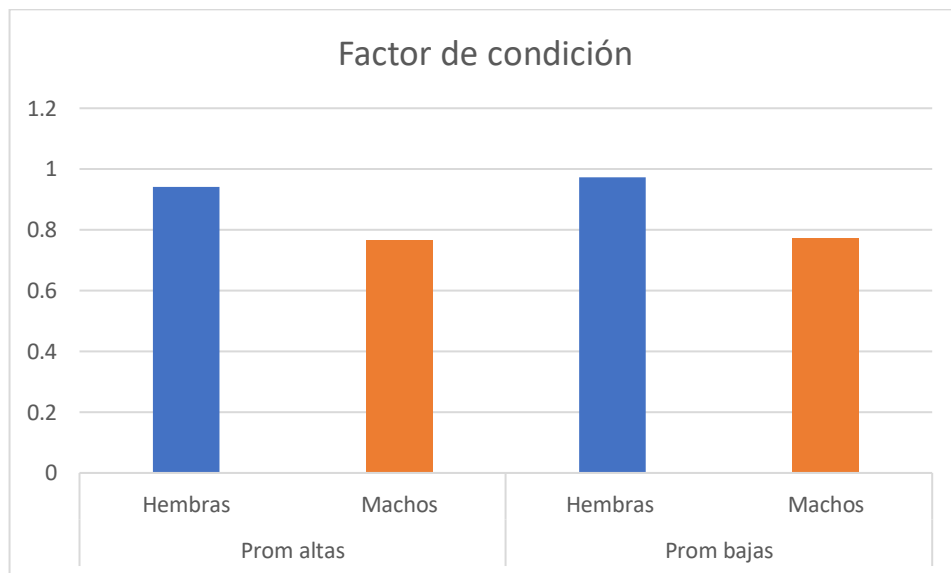
Prom altas: (octubre, noviembre y diciembre de 2017), Prom bajas: (febrero, marzo, abril y mayo de 2018)

Figura 16. Índice (IGS)

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

6.2.6 (Fact. K): Durante la fase de estudio, se aprovecharon 82 individuos, distribuidos en 4 estaciones de muestreo, a los cuales se le tomaron varios parámetros descriptivos de la población, esto con el fin de determinar su estado de condición fueron (Número de individuos, Ancho de disco, Longitud de disco, Longitud total, numero de embriones no nacidos, entre otros); La (figura 17) nos dice que individuos con alto número de embriones exhibieron tallas comprendidas en el rango que van desde juveniles hasta adultos, presentado el mejor promedio de condición general para los individuos (0,969) en época de aguas altas en la estación 1.

Otro factor a tener en cuenta es que, en el periodo de aguas bajas la condición general de los peces desciende en la estación 3, esto puede ocurrir por la afectación antrópica que genera la pesca artesanal en el municipio del Banco, limitando su crecimiento a una etapa de mayor desarrollo, por motivos de pesca incidental.



Prom altas: (octubre, noviembre y diciembre de 2017), Prom bajas: (febrero, marzo, abril y mayo de 2018)

Figura 17. Índice (Fact K)

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Tabla 11. Resultados por época de los Índices de calidad biológicos.

Época.	Sit	CPUE	Fact. K	IHS	IGS
Aguas bajas	E1	0.021±0.0364H	0.968	8.847	1.475
	E2	0.089±0E	0.997±0.1630	9.939±2.9139	2.987±0.6656
	E3	0.167±0.012B	0.813±0.2095	10.864±2.3947	1.750±0.9663
	E4	0.105±0.0251C	0.921±0.2101	10.378±2.6568	2.55±0.9912
Aguas altas	E1	0.08±0.0151G	0.969±0.1714	10.471±4.4899	2.376±1.3039
	E2	0.087±0.0232F	0.848±0.1645	6.283±4.4172	1.551±1.2584
	E3	0.235±0.0354 ^a	0.915±0.1244	11.062±3.7858	2.26±1.1155
	E4	0.102±0.0116D	0.885±0.1558	11.046±4.6320	2.55±1.2134
Valores de referencia.		Mas alto=ideal	Ideal 1.2 en H	Mas bajo=ideal	Mas bajo=inmadurez
		Mas bajo=malo	Ideal 1.3 en M	Mas alto=malo	Mas alto=madurez g.

Distintas letras simbolizan diferencias significativas entre los muestreos.

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

6.3 Efecto de la calidad del agua sobre la biología y reproducción de la *Potamotrygon Magdalenae*.

Se determinó correlación lineal de la variable captura por unidad de esfuerzo y las variables ICOpH e IET, con un R^2 para el modelo de 0.35 y una probabilidad menor a 0.05.

Para el resto de las variables biológicas (IHS, IGS, Fact. K), no se encontró relación con las variables fisicoquímicas ni con los índices, para una probabilidad de 0.05.

Tabla 12. Análisis de regresión lineal múltiple.

Efectos directos de los índices de calidad ambiental en la abundancia de la *Potamotrygon Magdalenae*.

Índice	Estimador del parámetro	Error estándar	F-Valor	Pr > F
Intercepto	-1.06697	0.20263	27.73	<.0001
ICOpH	2.90	0.513	11.91	0.0023
IET (pr)	-0.17	0.072	32.43	<.0001
R-cuadrado = 0.3513				

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Para la variable esfuerzo por unidad de captura, se identificaron dos indicadores ambientales relacionados, los cuales fueron el ICOpH y el IET, donde éstas dos variables explican en un 35% la variabilidad lineal entre las variables biológicas con estas variables ambientales, es decir que existe una certeza de al menos 35% de que dichos factores ambientales estén determinando parcialmente la distribución de la especie dentro de la ciénaga, es decir, en zonas donde aumenta el pH y hay menos eutrofización, se puede evidenciar el incremento de la abundancia de *Potamotrygon*.

6.3.1 ¿Cómo la contaminación afecta el ordenamiento, comportamiento y/o vida de los peces?

Un estudio realizado por Mariñelarena, & Gómez (2008) en las lagunas pampeanas en Argentina, descubrieron que la eutrofización en la laguna de los lobos genera condiciones letales para las comunidades de peces que allí habitan, además también notaron que las masas de aguas anóxicas pueden ser empujadas por las corrientes, invadiendo lugares que aparentemente deberían estar libres de contaminación, produciendo la muerte de los peces; lamentablemente los investigadores anotan que cuando se producen estas condiciones no optimas, los peces no pueden reconocer los gradientes fisicoquímicos rápidamente para alejarse de inmediato.

Con respecto a los ambientes acuáticos del centro de Argentina, el estado trófico de los mismos, varía entre mesotróficos y eutróficos, dependiendo de la estación del año Ledesma, Bonansea, Rodriguez, & Sanchez (2013); El embalse Río Tercero, se encuentra altamente afectado por la agricultura, la descarga de efluentes domésticos no tratados y los vertimientos procedentes de fábricas aguas arriba, gracias a esto, la cantidad de materia orgánica es normalmente alta, lo cual genera un desequilibrio del normal funcionamiento del ecosistema; además de propiciar cambios negativos en el embalse, tales como: Pérdida del uso habitual del agua, color/olor/sabor desagradables, pérdida en la transparencia del agua, muerte de las plantas, reducción de la biodiversidad y morbilidad de peces en general.

En nuestra investigación los resultados indicaron que al aumentar el resultado del ICOpH, la abundancia de la Potamotrygon también se ve aumentada, mientras con el IET el resultado del índice resultó ser opuestamente proporcional a la abundancia, esto quiere decir que, si el resultado del índice aumenta, la abundancia será menor en dichas zonas.

Como anotación de dos posibles explicaciones acerca de porque el ICOpH tiene incidencia directa sobre la abundancia en la *Potamotrygon*, tenemos:

El pH afecta la conductividad del agua, y existen peces que detectan a sus presas por el campo eléctrico que esta produce, si la alimentación de un pez que se encuentra en la parte alta de la cadena trófica se ve afectada; todos los animales que estén relacionados con esa cadena alimenticia notarán una reducción del alimento disponible, por ende y al ser la *Potamotrygon* un organismo detritívoro que depende de los desechos que provienen de la parte superior de la cadena trófica, posiblemente vería afectada su alimentación y estaría obligada a migrar otras zonas. (CORPONOR, 2018)

Por otra parte, puede que la *Potamotrygon* simplemente no se sienta bien en ambientes ácidos; con la consecuente ventaja de que a mayor pH evitan competir por alimento con los bagres (los cuales no soportan pH sobre 9). (Castañeda et al, 2016)

Como aporte final acerca del pH y su afectación a la abundancia, tenemos que, un aumento del pH puede favorecer la aparición de microorganismos/microalgas, lo cual significa mayor cantidad de alimento para la *Potamotrygon* y por ende un mejor estado general de los individuos y por consiguiente mayor abundancia. (Boyd, 2017)

Hablando del índice de estado trófico y su afectación a la abundancia, esta se produce de manera inversamente proporcional a los resultados del índice, ya que a menor resultado del índice la abundancia es mayor. Esto ocurre puesto que al descomponerse las algas que alberga la ciénaga, crean un medio anóxico el cual no es agradable ni adecuado para la raya de agua dulce. Además de aumentar el resultado del IET.

6.3.2 Aspectos biológicos que se ven notablemente afectados por la contaminación:

La abundancia es uno de los factores más importantes a tener en cuenta, al momento de realizar una investigación sobre una especie, puesto que, si una especie se sienta a gusto en un lugar determinado, terminará por asentarse allí, y generar descendencia, aumentando por consiguiente la abundancia. Al momento de analizar el pH del agua en las diferentes estaciones, se observa en la (Tabla 13) que, si el agua tiene un pH más alto, los individuos también aumentan en número.

tabla 13. Abundancia vs pH

Sitio	Individuos	Valores del pH
E1	5	7.1*
E4	31	8.3**

*: Valor mínimo, **: Valor máximo; La tabla 13 se realizó con los resultados obtenidos en época de aguas altas, ya que fue durante esa época que se recolectó la mayor cantidad de individuos.

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

El bienestar general de una especie implica vivir saludablemente y dejar una descendencia considerable que sea capaz de reemplazar la generación que precede, además de garantizar continuidad de la especie a lo largo del tiempo, por eso la cantidad de neonatos es un dato a tener en cuenta al momento de estudiar el bienestar de un individuo.

tabla 14. Natalidad vs IET

Sitio	Preñadas	Neonatos	Valores del IET
E1	2	9	42.44**
E3	2	13	39.34*

*: Valor mínimo, **: Valor máximo; Si el valor del índice es más alto, la natalidad será menor; la tabla 14 se realizó con los resultados obtenidos en época de aguas altas, ya que fue durante esa época que se recolectó la mayor cantidad de individuos.

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

El estado de bienestar se ve influenciado por la calidad y cantidad de la alimentación, la estación 4 es la que registra un valor más alto de contenido estomacal promedio, dato que, al relacionarse con el pH del agua, se observa un aumento directamente proporcional, puesto que, si el pH del agua es alto, el contenido estomacal promedio en los individuos también lo es.

tabla 15. Alimentación vs pH

Sitio	Max(gr)	Min(gr)	Promedio(gr)	Valores del pH
E1	921.07	165.59	613.69	7.1*
E4	2917.78	3	711.52	8.3**

*: Valor mínimo, **: Valor máximo; Si el valor del pH es más alto, el estado del agua será mejor para la *Potamotrygon* y la cantidad de alimento es mayor; Alimentación: Promedio contenido estomacal en gr; la tabla 15 se realizó con los resultados obtenidos en época de aguas altas, ya que fue durante esa época que se recolectó la mayor cantidad de individuos.

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Siendo el hígado uno de los órganos más importantes de la *P. Magdalenae*, el cual utiliza para desintoxicar la sangre, como depósito de grasa y sintetizador de proteínas, la relación entre calidad del agua y su tamaño es un factor a tener en cuenta, puesto que, si el medio en donde habita dicho individuo está contaminado, el hígado al ser el elemento filtrante tendrá que adaptarse a procesar más toxinas, esto se hace por lo general con un aumento de tamaño

tabla 16. tamaño del hígado vs IET

Sitio	Hígado(gr)	Valores del IET
E1	220.25*	42.44
E3	167.69**	39.34

*: Peso promedio de los hígados de 5 individuos, **: Peso promedio de los hígados de 8 individuos; Si el valor del índice es más alto, el peso del hígado es mayor; la tabla 16 se realizó con los resultados obtenidos en época de aguas altas, ya que fue durante esa época que se recolectó la mayor cantidad de individuos.

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

A modo de análisis, la estación que más registro capturas de individuos fue la #4, con un total de 15 especímenes aprovechados en épocas de estiaje y 31 en época de aguas altas, lo particular de este sitio, es que su pH permaneció por encima de 8 unidades en cada campaña de muestreo; ilustrando la investigación diciendo que la *P. Magdalenae* prefiere habitat's neutro-alcalinos para crear descendencia y mejorar su estado de condición, por ende la eutrofización del agua las obliga a migrar a aguas menos acidas.

7. CONCLUSIONES

A través de la toma de los parámetros físico-químicos del agua, se elaboraron varios índices de calidad que nos muestran el correcto estado de la calidad del agua, lo que clasifica el complejo cenagoso de la Zapatosa en un hábitat de óptimas condiciones para el correcto desarrollo y preservación de la *Potamotrygon Magdalenae*.

La ciénaga de Zapatosa es considerado un ecosistema de alta importancia ecológica por estar en un estado oligotrófico, esto se considera un factor de gran importancia, porque permite la obtención de alimento necesario para la *P. Magdalenae*, y tiene suficiente oxigenación para su crecimiento, además que su dieta está conformada por materia orgánica en descomposición y Ninfas de *Campsurus decoloratus*.

El estado oligotrófico, de la ciénaga se debe a la alta presencia de fosforo, lo cual se nota mayormente en época de aguas bajas, donde aumenta la cobertura de macrófitas en la lámina de agua, que a su vez afecta la mortalidad de peces, agrandando el aporte de materia orgánica al agua y a su vez disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto.

Sin embargo; por los aportes de contaminación que se realizan al complejo desde las poblaciones aledañas y por la influencia antrópica (Pesca incidental, captura ornamental), se ve amenazada su supervivencia.

Si bien la calidad del agua no es un indicador directo estado de bienestar de una comunidad, en el caso de la *P. Magdalenae*, se comprobó mediante el presente estudio que la calidad del agua puede originar cambios biológicos y reproductivos en la especie.

Mediante la correlación de los índices físico-químicos y los biológicos, se pudo identificar qué factores ambientales tienen mayor afectación sobre el hábitat de la *Potamotrygon Magdalenae* en la ciénaga de Zapatosa, esta investigación debe emplearse con la finalidad de proteger el ecosistema que le proporciona el complejo cenagoso a la raya de agua dulce, y muchas otras especies acuáticas que podrían desaparecer si no se aplican acciones de conservación en la ciénaga.

8. RECOMENDACIONES

- Las CAR deben identificar las zonas de mayor concentración de las poblaciones de *P. Magdalenae*, para llevar un manejo integral del recurso pesquero a sus alrededores con el fin de evitar la pesca incidental y por consiguiente la desaparición de especies de alta importancia para el equilibrio ecológico.
- Se recomienda rastrear los movimientos de las poblaciones de rayas, con el fin de establecer una relación más directa acerca de las variables que afectan sus migraciones dentro de la ciénaga.
- Se recomienda apoyar las investigaciones (Presentes y a futuro) con el fin de preservar las especies endémicas de la cuenca del río Magdalena, especialmente la *P. Magdalenae* que no está siendo aprovechada por los locales.
- Tener en cuenta en los planes de manejo y conservación el empleo de las líneas de anzuelos; ya que éstas atentan directamente sobre la posibilidad de reproducción de la especie.

ANEXOS

Vista superior *P. Magdalenae*.



Vista inferior *P. Magdalenae*.



Neonatos *P. Magdalenae*



Pesca incidental por anzuelo en la ciénaga de Zapatosa.



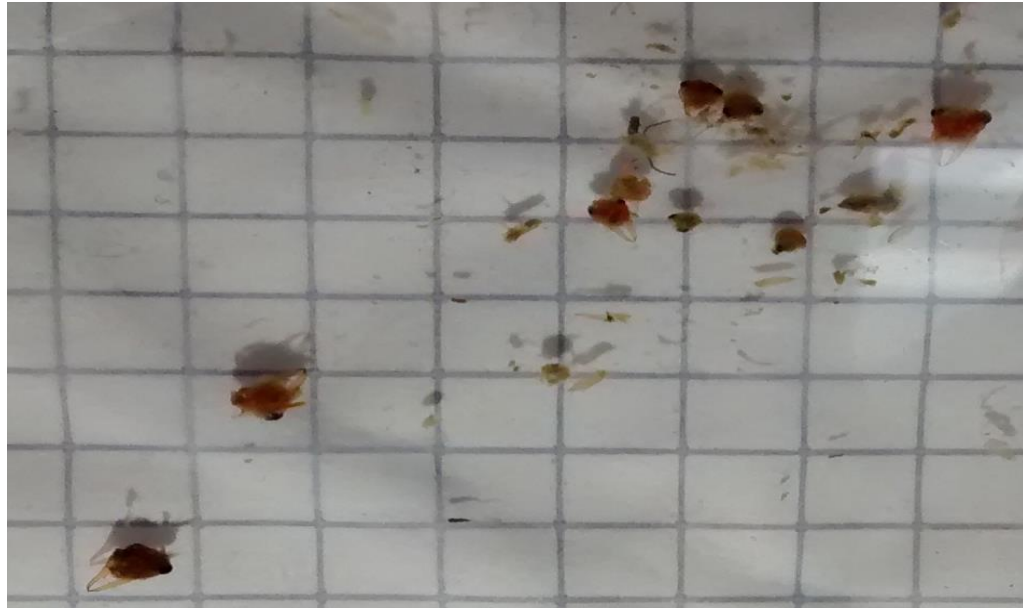
Tapón “*Eichhornia azurea*” (Rangel, 2012)



Disección de individuos en el laboratorio de ingeniería Ambiental y Sanitaria de la UPC, con el fin de alimentar la base de datos de información biológica.



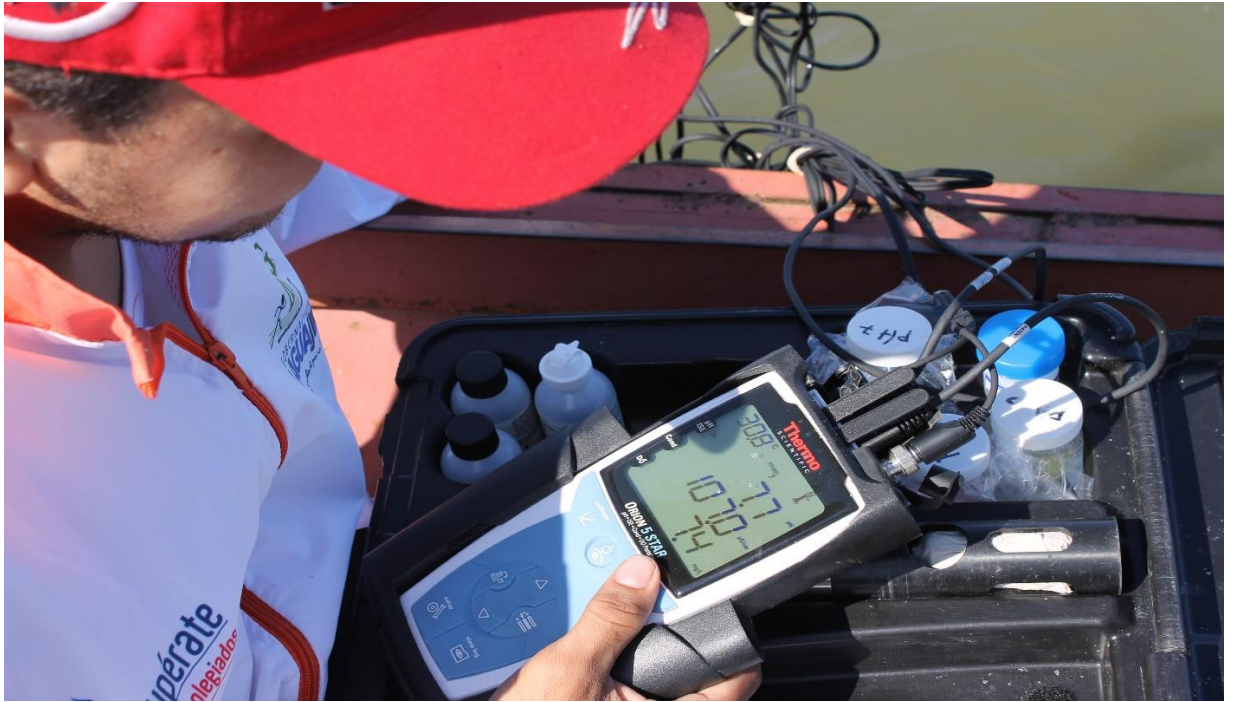
Contenido estomacal (Ninfa de *Campsurus decoloratus*)



Contenido estomacal (fracción de pez, lamprea)



Toma de parámetros fisicoquímicos del agua en la ciénaga.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar, A. (2005). Los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua. *Revista digital universitaria*, 2.
- Aristizabal, V. (2016). Lineamientos hidrológicos para la delimitación de humedales. casos de estudio: ciénaga de la zapatosa y complejo de esteros paz de ariporo. *Universidad Nacional de Colombia*, 27-46.
- Balmaseda, C., & Garcia, Y. (2014). Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11-16.
- Barón, B. (2006). Relaciones ecomorfológicas y dieta en siete especies de peces (characidae) en afluentes de la quebrada y aharcaca (amazonia colombiana) capturados en un periodo de época seca. Bogota.
- Benjumea, C., Mayra, S., & Villabona, L. (2018). Variación espacial y temporal de nutrientes y total de sólidos en suspensión en la cuenca de un río de alta montaña tropical. *Scielo*, 9-11.
- Bistoni, M., Hued, A., Videla, M., & Sagretti, L. (1999). Efectos de la calidad del agua sobre las comunidades ícticas de la region central de Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*.
- Bistoni, M., Hued, A., Videla, M., & Sagretti, L. (1999). Efectos de la calidad del agua sobre las comunidades ícticas de la region central de Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*, 326-328.

- Boyd, C. (2017). *Global aquaculture alliance*. Obtenido de Boyd, C. (2017). Global aquaculture alliance. Obtenido de <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/el-fitoplancton-y-su-impacto-en-la-calidad-del-agua/>
- Carpenter, S. (2008). Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Ecological Society of America*, 3-8.
- Castañeda, G., Cruz, P., Moraes, G., Yossa, M., & Casallas, P. (2016). Efecto de la densidad de siembre sobre el peso corporal y sobre el peso corporal y sobrevivencia de larvas de bagre rayado (*Pseudoplatystoma* sp) en un sistema cerrado de circulación. *Scielo*, 59.
- Chang, C. (2015). Effects of ammonia exposure on apoptosis, oxidative stress and immune response in pufferfish. *Sciencedirect*, 61-71.
- Cifuentes, R.; González, J.; Montoya, G.; Jara, A.; Ortiz, N.; Piedra, P.; Habit, E. (2012). Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana*, 101-110
- Clavario, S. (2019). Método del índice de importancia relativa. *Scribd*.
- Cole, G. (1988). *Manual de limnología*. Buenos Aires: Hemisferio Sur.
- Consultora de aguas. (2016). Obtenido de http://www.cdaguas.com.ar/pdf/aguas/06_Nitratos_en_agua_potable.pdf
- Corpamag. (29 de Agosto de 2016). *Corporación autonoma regional del magdalena*. Obtenido de http://www.corpamag.gov.co/archivos/POMCAS/NSS%202805-02_01-Aprest.pdf
- Corpocesar. (7 de Noviembre de 2017). *corporación autonoma regional del Cesar*. Obtenido de

http://www.corpocesar.gov.co/Firman_convenio_para_la_declaratoria_de_50_mil_hectareas.html

Corponor. (2018). *Corporación autónoma regional de la Frontera Nororiental*. Obtenido de

http://corponor.gov.co/calidad_agua/2019/5_DOCUMENTOS_RESUMEN_CALIDAD_BIOLOGICA_DEL_AGUA/3_ANALISIS_DE_LA_CALIDAD_DEL_AGUA_AFECTACIONES_COMUNIDADES_HIDROBIOLOGICAS.pdf

Espejo, M. (2017). *Determinación de la calidad fisicoquímica del agua del humedal el juncal y su reconocimiento como ecosistema estratégico dentro de la educación básica primaria*. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Fernández, C., & Vázquez, Y. (2006). Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología del instituto superior minero metalúrgico de Moa*, 4-10.

Fontúbel, F. (2005). Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del lago titikaka (Bolivia) . *Scielo*.

García, E. (2016). Effect of historical contamination in the fish community structure of a recovering temperate coastal lagoon. *ScienceDirect*, 221-230.

Gil, A. (2014). *Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río garagoa*. Manizales: Universidad de Manizales.

Hernandez, S. (2015). *Indicadores de calidad ambiental de humedales*. Manizales:

Universidad Católica de Manizales.

Ideam. (1997). *Dr calderon labs*. Obtenido de

http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_ST.htm

Boada, N., Rojas, J., Prieto, C., Moreno, J., & Aguilar, F. (2019). Análisis morfométrico e índices corporales del capitán de la sabana. *Scielo*.

Jiménez, M., & Vélez, M. (2006). Analisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Universidad Nacional de Colombia*.

Karr, J., Fausch, k., Angermeier, p., Yant, P., & Schollosser, I. (1986). Assessing Biological Integrity in Running Waters A Method and Its Rationale. *Illinois Natural History Survey*, 1-28.

Lasso, C. (2014). Rayas de agua dulce (Potamotrygonidae) de Suramérica. Parte I. Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Brasil, Guyana, Surinam y Guayana Francesa: diversidad, bioecología, uso y conservación. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales . *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*, 195-206.

Ledesma, C., Bonansea, M., Rodriguez, C., & Sanchez, A. (2013). Determinacion de indicadores de eutrofizacion en el embalse del Río Tecero, Córdoba (Argentina). *Revista ciencia agronomica*.

Lopez, O., & Lechuga, M. (2001). Contaminantes en los cuerpos de agua del sur de sonora. *Scielo*.

- MAPSA. (Junio de 2007). *Asociación civil de investigación y desarrollo*. Obtenido de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/alcalinidad.pdf
- Mariñelarena, A., & Gómez, S. (2008). *Eutrofización en las lagunas pampeanas. Efectos secundarios sobre los peces. Instituto de limnología "Dr. R. A. Ringulet, 48. Ministerio de ambiente*. (21 de abril de 2018). Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3774-cienaga-de-zapatoza-se-convierte-en-humedal-de-categoria-internacional>
- Mojica, J., Usma, J., Álvarez, R., & Lasso, C. (2012). *Libro rojo de peces dulceacuicolas de Colombia*. Bogota: Humblot.
- Ochoa, D., & Gonzales, J. (2008). Estrés oxidativo en peces inducido por contaminantes ambientales. *Revista medicina veterinaria y zootecnia - universidad nacional*, 118.
- Pérez. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Scielo*.
- Pickett, & White. (1985). *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Knoxville, Tennessee: Harcourt Brace Jovanovich.
- Pütz, P. (2008). *Eliminación y determinación de fosfato*.
- Ramírez, Restrepo, & Cardeñosa. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. formulaciones. *Scielo*.
- Ramírez, Restrepo, & Viña. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. formulaciones y aplicación. *Scielo*.

- Ramos, H., & Grijalba, M. (2011). Bioecología de la raya de agua dulce potamotrygon magdalenae (duméril, 1865) (myliobatiformes) en la ciénaga de sabayo, Guaimaral, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*
- Ramsar. (2015). *RAMSAR*. Obtenido de <https://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-importancia-de-los-humedales>
- Rangel, O. (2012). Colombia diversidad biótica publicación especial No. 7. Las ciénagas del departamento del cesar: Zapatosa y ciénagas del sur biodiversidad y conservación. *Universidad Nacional de Colombia*, 41.
- Rangel, O. (2012). Las ciénagas del departamento del Cesar: Zapatosa y ciénagas del Sur, Biodiversidad y Conservación. *Instituto de ciencias naturales*.
- Roldán, G. (6 de abril de 2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Scielo.org*, 260.
- Ruiz, S. (2018). Reproducción de la cabrilla pinta *Epinephelus labriformis* en la Bahía de Navidad, Jalisco, México. *Scielo*, 2-5.
- Sardiñas, O. (2004). Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato. *Revista cubana de higiene y epidemiología*.
- SWRCB. (2013). *Oxígeno Disuelto (OD)*. Estado de california: California estate water resources control board.
- Torres, D. (2008). Diagnóstico de la calidad del agua de la Microcuenca Sancotea. *INGENIO LIBRE*, 9.

- Valverde, A., Moreno, E., & Ortiz, Y. (2015). Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano utilizando índices de contaminación. *Ciencias biológicas y medio ambiente*, 15-21.
- Villamarín, C. (2008). *Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos del Ecuador y Perú. Diseño de un sistema de medida de la calidad del agua con índices multimétricos*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Viloria, J. (2008). *Economía extractiva y pobreza en la ciénaga de zapatosa*. Cartagena: Centro de estudios económicos regionales.
- Wiederholm, J. (1993). *Freshwater Biomonitoring Using Individual Organisms, Populations, and Species Assemblages of Benthic Macroinvertebrates*. Winnipeg.
- Zabala, A. (2017). *Diagnóstico ambiental de la ciénaga de ayapel a través de la variación temporal de los aspectos morfo funcionales del fitoplancton y un indicador de calidad ecológica*. Medellín: Universidad de antioquia.