

**EVALUACIÓN DE LA CAPTURA DE CO₂ DE LAS MACRÓFITAS
PREDOMINANTES EN LA CIENAGA DE ZAPATOSA ZONA DE INFLUENCIA
INTERSECCIÓN DEL RÍO CESAR**



AUTOR:

EDWAR DANIEL CRUZ LERMA

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR - CESAR**

2024

**EVALUACIÓN DE LA CAPTURA DE CO₂ DE LAS MACRÓFITAS
PREDOMINANTES EN LA CIENAGA DE ZAPATOSA ZONA DE INFLUENCIA
INTERSECCIÓN DEL RÍO CESAR**

AUTOR:

EDWAR DANIEL CRUZ LERMA

DIRECTOR:

YIM JAMES RODRIGUEZ DÍAZ

ASESORES:

ELIANA MARGARITA MOSCOTE VIDES

KARINA CASTELLANOS ROMERO

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

VALLEDUPAR – CESAR

2024

DEDICATORIA

Esta tesis de grado es dedicada con todo el cariño a la mujer que ha estado conmigo en cada uno de mis logros, mi señora madre, María Asunción Lerma Ramírez, quien con su amor y esfuerzo pudo llevar, ella sola, a su hijo hasta la educación superior y estudiar una carrera profesional de la mejor forma posible a pesar de las adversidades. También dedico esta tesis a mi hermana Yalena María Cruz Lerma, por su apoyo a enfrentar las dificultades siempre en busca por el bien de los dos.

A mi amada Jeylin Zharith Mejia Bendeck por su amor, paciencia y comprensión, siendo apoyo en este viaje hacia este título.



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por todas las bendiciones otorgadas en su infinita misericordia por el cual pude culminar este proyecto. A mi familia por siempre estar al tanto de mis logros y avances.

A mis compañeros más cercanos, Oscar Raúl Serna Villareal y Roberto Carlos Martínez Romero, que con interminables horas de esmero se pudo lograr los retos impuestos a lo largo de toda la vida universitaria, con quienes se hizo más llevadero los momentos difíciles.

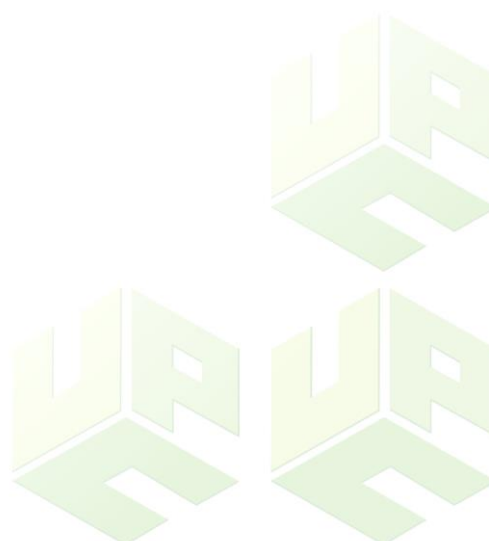
Agradecimiento a mi director de proyecto Yim James Rodríguez Díaz por las horas de asesoría incondicional a todo momento, que con su guía fundamental ayudo a dar un camino claro de lo que había que realizar y despejar todas las dudas junto a mi asesora Eliana Margarita Moscote Vides quienes ayudaron de manera fundamental a sacar este proyecto.



RESUMEN

Esta investigación se centró en buscar la captura de CO₂ por las especies macrófitas de la Ciénaga de Zapatosa, zona de influencia intersección del río Cesar, mediante del muestreo de biomasa vegetal aérea y radicular, además, hallar los atributos biológicos de la zona para correlacionar como influyen los parámetros del agua en ellos, realizando muestreos en época de sequía y lluvias, de allí se obtuvo que las especies que más capturaron CO₂ fueron *Neptunia oleracea*, *Hymenachne Amplexicaulis*, *Eichornia Crassipes* capturando hasta más de 10 gramos por m² y más de 600 gr/ m² en total por muestreo, resaltando el valor ecosistémico. Los muestreos determinaron que entre mayor cantidad de biomasa tenía la especie, esta contenía mayor cantidad de CO₂ y como parámetros del agua más influyentes en la presencia de macrófitas se encontró el oxígeno disuelto, la conductividad y la temperatura, así mismo, por la cantidad de especies que se encontraron se obtuvo bajos niveles de biodiversidad y dominancia.

Palabras claves: correlación, macrófitas, sequía, lluvia, captura, CO₂.



ABSTRACT

*This research focused on looking for the capture of CO₂ by the macrophyte species of the Ciénaga of Zapatosa, area of influence intersection of the Cesar River, through the sampling of aerial and root plant biomass, in addition, to find the biological attributes of the area to correlate how the water parameters influence them, carrying out sampling in the dry and rainy season, From there it was obtained that the species that captured the most CO₂ were *Neptunia oleracea*, *Hymenachne Amplexicaulis*, *Eichornia Crassipes*, capturing up to more than 10 grams per m² and more than 600 gr/m² in total by sampling, highlighting the ecosystem value. The sampling determined that the greater the amount of biomass the species had, the greater the amount of CO₂ and the most influential water parameters in the presence of macrophytes were dissolved oxygen, conductivity and temperature, likewise, due to the number of species that were found, low levels of biodiversity and dominance were obtained.*

Keywords: *correlation, macrophytes, drought, rainfall, capture, CO₂.*



INDICE

INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. Formulación del problema:	14
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	16
3. OBJETIVOS	18
3.1. OBJETIVO GENERAL	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. MARCO REFERENCIAL	19
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
4.2. MARCO TEÓRICO	21
4.2.1. <i>SISTEMAS LÓTICOS:</i>	21
4.2.2. <i>SISTEMAS LÉNTICOS:</i>	21
4.2.3. <i>HUMEDAL:</i>	22
4.2.4. <i>Macrófitas:</i>	22
4.2.5. <i>Fotosíntesis:</i>	22
4.2.6. <i>Ciclo del carbono:</i>	23
4.2.7. <i>Captura y almacenamiento de carbono:</i>	23
4.2.8. <i>Método de Walkley-Black:</i>	23
4.2.9. <i>Método de razón molar:</i>	24
4.2.10. <i>Método indirecto (DAP):</i>	24
4.2.11. <i>Muestras de agua:</i>	24
4.2.12. <i>Muestras de biomasa aérea:</i>	25
4.2.13. <i>Muestras de biomasa radicular:</i>	25
4.3. MARCO CONCEPTUAL	25
4.3.1. <i>Biodiversidad:</i>	25

4.3.2.	<i>Cambio climático:</i>	25
4.3.3.	<i>CONTAMINACIÓN:</i>	25
4.3.4.	<i>Ecosistema:</i>	26
4.3.5.	<i>Fauna:</i>	26
4.3.6.	<i>FLORA:</i>	26
4.3.7.	<i>Gases de Efecto Invernadero:</i>	26
4.4.	MARCO CONTEXTUAL	26
4.4.1.	<i>Caracterización y Descripción Geográfica:</i>	26
4.4.2.	<i>Aspectos de Contextualización Locativa:</i>	26
4.4.3.	<i>Representación Espacial y Geográfica:</i>	28
4.5.	MARCO LEGAL.....	29
5.	MARCO METODOLÓGICO.....	30
5.1.	LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN.....	30
5.2.	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	30
5.3.	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	30
5.4.	POBLACIÓN DE ESTUDIO	30
5.5.	MUESTRA POBLACIONAL	30
5.6.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	31
5.7.	ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO	31
5.7.1.	<i>Etapa 1: identificación de las macrófitas predominantes y las características del agua:</i>	31
	Actividad 1.2 clasificación de las especies vegetales (macrófitas):	31
	Actividad 1.3 ubicación de la zona para la toma de muestras de agua:.....	31
	Actividad 1.4 muestras de agua:	32
	Actividad 1.5 determinación de las características de las muestras de agua:	32

5.7.2. Etapa 2: estimación de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea y radicular de las plantas macrófitas vivas:.....	33
Actividad 2.1 toma de muestras de la biomasa aérea:	33
Actividad 2.2. Toma de muestra radicular:.....	34
Actividad 2.3 secado de especies seleccionadas:.....	34
Actividad 2.4 peso en seco:	34
Actividad 2.5 cálculo de la cantidad de Carbono:	34
5.7.3. Etapa 3: correlación de la dominancia de las macrófitas con los parámetros fisicoquímicos del agua en la zona de influencia intersección del rio Cesar:	36
Actividad 3.1 correlación de los parámetros del agua:	36
Actividad 3.2 correlación de los parámetros del agua con la dominancia:.....	36
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	37
6.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS MACRÓFITAS PREDOMINANTES Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA EN LA ZONA PARA SU CLASIFICACIÓN.....	37
6.1.1. Búsqueda Del Sitio.....	37
6.1.2. Clasificación De Las Especies Vegetales:.....	38
6.1.2.1. Especies encontradas en la temporada de lluvias.	38
6.1.2.1.1. Hymenachne Amplexicaulis	38
6.1.2.1.2. Eicchornia Crassipes	39
6.1.2.1.3. Thymus Zygis	39
6.1.2.1.4. Ludwigia Helminthoriza.....	40
6.1.2.1.5. Neptunia oleracea.....	40
6.1.2.2. Especies encontradas en la temporada de sequía.....	41
6.1.2.2.1. Eicchornia Crassipes	41
6.1.2.2.2. Hymenachne Amplexicaulis	42
6.1.2.2.3. Thymus Zygis	42

6.1.2.2.4.	Aizoaceae sp.	43
6.1.3.	<i>Ubicación De La Zona Para La Toma De Muestras De Agua:</i>	43
6.1.4.	<i>Muestras De Agua y determinación de las características</i>	44
6.1.4.1.	pH.....	44
6.1.4.2.	Conductividad.....	45
6.1.4.3.	Temperatura.....	45
6.1.4.4.	Oxígeno disuelto.....	45
6.1.4.5.	Turbiedad (UNT).....	46
6.1.4.6.	Transparencia.....	46
6.2.	ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA Y RADICULAR DE LAS PLANTAS MACRÓFITAS VIVAS.....	46
6.2.1.	<i>toma de muestras de la biomasa aérea.....</i>	46
6.2.1.1.	Muestras de biomasa aérea en época de lluvias.....	46
6.2.1.2.	Muestras de biomasa aérea en época de sequía	47
6.2.2.	<i>Toma de muestra radicular.....</i>	48
6.2.3.	<i>secado de especies seleccionadas y peso en seco.....</i>	48
6.2.3.1.	Biomasa aérea y radicular para la temporada de lluvias.....	48
6.2.3.2.	Biomasa aérea y radicular para la temporada de sequía.....	49
6.2.4.	<i>Cálculo de la cantidad de carbono.....</i>	49
6.2.4.1.	Cantidad de carbono capturado por las Macrófitas en la temporada de lluvias. 49	
6.2.4.2.	Cantidad de carbono capturado por las Macrófitas en la temporada de sequía. 52	
6.3.	ETAPA 3: CORRELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN, ABUNDANCIA Y CARACTERÍSTICAS DE LAS MACRÓFITAS CON LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA EN LA ZONA DE INFLUENCIA INTERSECCIÓN DEL RIO CESAR.....	56

6.3.1.	<i>correlación de los parámetros del agua.</i>	56
6.3.2.	<i>Correlación de los parámetros del agua con la dominancia.</i>	57
7.	CONCLUSIONES	59
8.	RECOMENDACIONES	62
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
6.	ANEXOS	71

LISTA DE FIGURAS

imagen 1.	<i>fórmula utilizada para el método razón molar.</i>	24
imagen 2.	<i>Ubicación del municipio de Chimichagua del departamento del Cesar - Colombia</i>	27
imagen 3.	<i>Ubicación del punto de muestreo, (1:18000)</i>	28
imagen 4.	<i>Ubicación del punto de muestreo con respecto al municipio de Saloa corregimiento de Chimichagua - Cesar.</i>	37
imagen 5.	<i>Las coordenadas del punto muestreado son: 9°12'27.6"N 73°43'56.4"W y a continuación se muestra evidencia del lugar en el que se realizó la práctica.</i>	38
imagen 6.	<i>distribución de las especies encontradas en la temporada de lluvias y sequía.</i>	38
imagen 7.	<i>Hymenachne Amplexicaulis.</i>	39
imagen 8.	<i>Eicchornia Crassipes.</i>	39
imagen 9.	<i>thymus zygis.</i>	40
imagen 10.	<i>Ludwigia Helminthoriza</i>	40
imagen 11.	<i>Neptunia Oleracea.</i>	41
imagen 12.	<i>Eicchornia Crassipes.</i>	41
imagen 13.	<i>Hymenachne Amplexicaulis.</i>	42
imagen 14.	<i>Thymus Zygis.</i>	42
imagen 15.	<i>Aizoaceae Sp.</i>	43
imagen 16.	<i>Punto donde se tomó la muestra de agua. coordenadas: 9°12'27.6"N 73°43'56.4"W</i>	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Parámetros fisicoquímicos</i>	33
Tabla 2. <i>Resultado de los parámetros fisicoquímicos en temporada de lluvias</i>	44
Tabla 3. <i>Resultado de los parámetros fisicoquímicos en temporada de sequía.</i>	44
Tabla 4. <i>Peso en seco de la biomasa aérea y radicular de las macrófitas en la temporada de lluvias.</i>	48
Tabla 5. <i>Peso en seco de la biomasa aérea y radicular de las macrófitas en la temporada de sequía.</i>	49
Tabla 6. <i>Carbono capturado en la biomasa aérea y radicular en temporada de lluvia.</i>	50
Tabla 7. <i>C capturado en la biomasa aérea y radicular en temporada de sequía.</i>	52
Tabla 8. <i>Cálculo de la cantidad de CO2 en gr/m2 para la temporada de lluvias.</i>	54
Tabla 9. <i>Cálculo de la cantidad de CO2 en gr/m2 para la temporada de sequía.</i>	54
Tabla 10. <i>Correlación de los parámetros del agua en temporada de lluvias y sequía.</i>	56
Tabla 11. <i>Atributos biológicos de las especies predominantes encontradas en ambas épocas</i>	57
Tabla 12. <i>Correlación de los parámetros fisicoquímicos del agua con la dominancia de la zona de influencia en época de lluvias y sequía.</i>	58

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los sistemas económicos ha generado el aumento de Dióxido de Carbono (CO₂) en la atmósfera por el desarrollo de las actividades antropogénicas e industrialización (Maqbool y Khan, 2013), esto trae consigo consecuencias a nivel nacional e internacional, llegando a ser un tema de interés para personas y autoridades ambientales.

El objetivo es evaluar la captura de CO₂ por las Especies Macrófitas (EM) predominantes de la Ciénaga de Zapatosa (CZ), en la zona de influencia de la intersección del Río Cesar. El propósito de esta investigación fue generar un aporte científico e ingenieril, y específicamente al campo de la Ingeniería Ambiental sobre el servicio que brindan las EM puesto a que, es poca la información encontrada y aún más escaso su estudio en el Departamento del Cesar.

El proyecto se desarrolló en un tiempo de aproximadamente doce meses, con los implementos y laboratorios del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar, además, cada procedimiento está soportado por referentes. La determinación del Carbono capturado se realizó estimando la biomasa en peso seco para luego multiplicarla por el factor de conversión de carbono 0,45 recomendado por Palomino y Cabrera (2007) que es proporcional a la biomasa y la recolección de muestras de agua de acuerdo con la guía del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2020), de estas se determinaron los parámetros fisicoquímicos necesarios para la posterior correlación con la distribución y abundancia de las EM.

Los principales resultados obtenidos son la cantidad de CO₂ capturado por las EM y diversidad.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las EM han sido de las más afectadas por el Cambio Climático (CC) debido al aumento gradual de la temperatura que ha ocasionado el deterioro de su hábitat puesto que, las EM no pueden adaptarse rápidamente a nuevas condiciones lo que trae consigo la desaparición de estas (Egea y Gonzalo, 2017).

Según los autores Ballesteros y Aristizábal (2007) Colombia presenta problemas relacionados al CC debido a actividades como la ganadería extensiva y la agricultura, considerados los principales emisores de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

En lo que corresponde a nivel regional según lo expuesto por Bonet (2007) el departamento del Cesar ha experimentado un crecimiento en su Producto Interno Bruto (PIB), gracias a las diferentes actividades realizadas en el corredor minero (La Jagua de Ibirico, Becerril, Chiriguaná y El Paso). Si bien esto trae mejoras en la economía de la región y el país como lo expresó el autor, no siempre se garantiza la calidad de vida, según la Agencia Nacional de Minería (2015) las actividades mineras están relacionadas con la producción de GEI, lo que empeora la salud de las poblaciones aledañas haciendo urgente la búsqueda de alternativas para combatir este fenómeno ambiental.

A nivel local, la CZ en lugares aledaños a la intersección del Río Cesar se presentan problemas relacionados con vertimientos de aguas residuales, según Gutiérrez et al. (2011) la CZ recibe una carga contaminante que debe estar en constante monitoreo para garantizar la protección del medio natural como lo son la fauna, agua y flora (principalmente EM). Asimismo, Chinchia (2012) afirma que verter aguas residuales domésticas con inadecuado tratamiento a la CZ trae consigo problemas ambientales, de salud pública, estéticos y turísticos.

Según Cruz et al. (2009), las EM poseen utilidades medicinales, artesanales, comestibles y ornamentales, el uso no sostenible de estas cualidades ha acelerado el deterioro del hábitat natural como lo es la intersección del Río Cesar en la CZ.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

Las EM debido a su capacidad para retener CO₂ son una alternativa para la reducción de los impactos generados por el hombre (Medrano et al., 2012). Por lo tanto, se desarrolló la investigación en la intersección del Río Cesar, pues en esta se encuentran EM con gran valor

ecosistémico, esto se pudo reafirmar dando respuesta a la siguiente pregunta: ¿cuál es la captura de CO₂ de las EM predominantes en la intersección del Río Cesar y su correlación con la cantidad respecto a las características del agua?



2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Los humedales como la CZ suelen retener por mucho más tiempo el carbono y los gases expulsados por la degradación de la materia orgánica debido a la poca presencia de luz, por ende, el proceso es más lento. Este ecosistema cumple un papel importante en la reducción de CO₂ atmosférico por lo que es fundamental su preservación y cuidado (Medrano et al., 2012).

Fue importante llevar a cabo la investigación porque mostró nuevas alternativas de sumideros de Carbono, además, de los bosques, que pueden ser útiles para mitigar los efectos antropogénicos, también porque es poca la información que se encuentra del servicio ecosistémico de este tipo de zonas por ende se hace necesario conocer estas funciones para que políticas ambientales contribuyan a la protección de estos ecosistemas (Palomino y Cabrera, 2007). Asimismo, conocer la captura de CO₂ de las EM y su correlación con las características del agua que las rodea.

La urgente búsqueda de soluciones contra el cambio climático ha fomentado la creación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) por parte de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), específicamente el objetivo 13 “Acción por el clima” (ONU, 2015). Por lo anterior, se consideran los servicios ecosistémicos de la CZ como un beneficio colectivo, por lo tanto, es importante su preservación y uso sostenible ya que garantizaría la estabilidad económica de las poblaciones aledañas y mitigaría los efectos del CC a nivel nacional y local. Recordemos también que la CZ comprende dos departamentos (Cesar y Magdalena) (Alcaldía de Chimichagua. 2022).

La investigación aportó datos de captura de Carbono de cada especie muestreada, posible identificación de macrófitas que antes no se encontraban en la zona, temperaturas para la estimación del peso en seco de acuerdo a la especie y la influencia de las propiedades del agua en la dominancia de las EM de esta manera ampliar la línea base del estudio de la captura de Carbono en estos hábitats en el programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2007) se afectarían cinco ámbitos de la vida: producción agrícola y seguridad alimentaria, estrés por escasez de agua, aumento del nivel del mar y exposición a desastres meteorológicos, transformación de los ecosistemas y disminución de la biodiversidad, e impactos en la salud humana. Por ello,

representa un aspecto importante de estudio para la comunidad internacional, nacional y regional.

Con todo lo dicho anteriormente se puede afirmar que el aporte ecosistémico de la CZ en la captura de CO₂ es de vital importancia y que, además, tiene uso social, económico y cultural para las poblaciones asentadas en su cercanía, desde el uso de la flora como alimento o medicina hasta el sustento diario a través de la pesca, siendo necesarias aquellas acciones e investigaciones que promuevan el buen manejo y su conservación.



3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la captura de CO₂ de las macrófitas predominantes en la Ciénaga de Zapatosa zona de influencia intersección Río Cesar.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los tipos de macrófitas predominantes junto con las características del agua en su entorno.
- Estimar la cantidad de Carbono almacenado en la biomasa aérea y radicular de las plantas macrófitas predominantes.
- Correlacionar atributos ecológicos de las macrófitas predominantes con los parámetros fisicoquímicos del agua de la zona que las rodea.



4. MARCO REFERENCIAL

A continuación, se presentan los fundamentos más recientes sobre la temática que han tenido un aporte significativo en el proyecto, a su vez, se muestran las bases teóricas, definición de conceptos más frecuentes en la investigación, la especificación del lugar donde se realizó el muestreo, y la normativa relacionada con el desarrollo del proyecto.

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Maldonado y Aparicio (2021), desarrollaron la investigación titulada “Estimación del almacenamiento de Carbono en la biomasa de macrófitas en la Bahía interior de Puno, lago Titicaca”, es un artículo científico que tuvo como propósito estimar la capacidad de captura de Carbono en las macrófitas presentes en la zona de estudio, los autores encontraron las especies de macrófitas: *Schoenoplectus tatora*, *Potamogeton strictus*, *Myriophyllum elatinoides* y *Elodea* el contenido de materia orgánica por el método de calcinación y posteriormente potamogeton. En el desarrollo metodológico del estudio se hizo la toma de muestras con dos repeticiones en cada punto y en diferentes meses del año, para luego estimar se determinó el porcentaje de Carbono en cada especie. Los resultados mostraron que la especie *S. tatora* es la que más había almacenado Carbono con un máximo de 1275 g/m^2 mientras que las otras especies tuvieron cantidades mucho menores Los aportes directos a la presente investigación fue la metodología para la toma de muestras, donde estas se toman en diferentes épocas del año para analizar sus atributos biológicos.

Velásquez (2019), en la tesis titulada “Captura y almacenamiento de Carbono relacionado con la Totora “*Schoenoplectus Salifornicus*” del Área de Conservación Regional Ibufera de Medio Mundo – Végueta” realizó una investigación para optar por el título de Maestro en Ecología y Gestión Ambiental, esta tuvo como objetivo general determinar la influencia de los depósitos de Carbono en relación a la totora “*Schoenoplectus californicus*” en el Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo – Végueta. En el desarrollo metodológico, se describen factores biofísicos y socioeconómicos de la zona de estudio para tomar las muestras siguiendo los lineamientos del ICRAF. determinar el carbono presente en las muestras por el método de Walkley-Black. En sus resultados obtuvo un total de carbono presente en las raíces y la biomasa aérea de $29,07 \text{ tC/ha}$ y al momento de cuantificar el dióxido de carbono obtuvo $106,39 \text{ tCO}_2/\text{ha}$.

Roa y Brown (2016), adelantaron la investigación titulada “Caracterización de la acumulación de Carbono en pequeños humedales andinos en la Cuenca Alta del Río Barbas (Quindío, Colombia)” la cual la presentaron como un artículo científico con la finalidad exponer los resultados del estudio, su principal objetivo fue el de caracterizar el proceso de captura de Carbono que se da en pequeños humedales andinos ubicados en la cuenca alta del río Barbas. Con respecto a su metodología, hicieron uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para hacer el inventario de humedales trasladando los datos tomados inicial por el GPS e imágenes satelitales para su posterior análisis espacial. Los resultados del estudio indican que el contenido de carbono por unidad de área en los tres humedales muestreados varía entre 80 y 117 KgC/m². El aporte directo que tiene este artículo científico a la investigación es la idea de que sistemas de información geográfica utilizar para la delimitación espacial de la zona bajo estudio.

Pérez et al (2015), realizaron la investigación llamada “Cuantificación de la captura de CO₂ por la flora nativa de totora en un humedal costero en Perú” el cual es un artículo científico que toma como objetivo general cuantificar el contenido de carbono almacenado en la flora nativa predominante (*Schoenoplectus californicus*) en los humedales de Villa María, Perú. En esta investigación primero se delimitó el área de estudio utilizando sistemas de información geográfica (SIG) donde posteriormente se hicieron muestreos aleatorios de 1 m², tanto de raíces como de biomasa aérea, luego se determinó el contenido de Carbono en las estructuras vegetales con el método de Walkley-Black para después estimar por medio del “factor de conversión de Carbono a Dióxido de Carbono” la captura de este último. Como resultados tuvo que la especie nativa poseía un valor de 84,05 tCO₂/ha en la captura de Dióxido de Carbono por unidad de área. Los aportes directos de esta investigación fueron el conocimiento de un método adicional para el cálculo de dióxido de carbono en las especies.

Caicedo y Herrera (2015), realizaron la tesis titulada “Determinación de la cantidad de CO₂ capturado y O₂ producido por los diferentes biotopos en el humedal Santa María del Lago” para optar por el título de Ingeniero Ambiental en la Universidad Santo Tomas en Bogotá, Colombia. Esta investigación tuvo como principal objetivo la estimación de cuanto CO₂ se captura y cuanto O₂ se produce durante la fotosíntesis de distintas macrófitas presentes en la zona de estudio, se apoyaron de información secundaria ya existente y del método de la razón molar para la determinación del CO₂ almacenado en las macrófitas, para la estimación de la

producción de O₂ utilizaron un modelo matemático en Matlab. Los resultados de la investigación en cuanto a la captura de carbono indicaron que la especie *Bidens laevis* es la que más almacena CO₂ y la que más producción de O₂ presenta. Las contribuciones de esta investigación son las temperaturas y tiempos utilizados eliminar la humedad de las muestras vegetales.

4.2. MARCO TEÓRICO

En este apartado se tratan todos los temas que abordan las distintas referencias consultadas con respecto a la teoría que concierne al tema de investigación.

4.2.1. Sistemas Lóticos:

Para Sánchez et al. (2007) en los sistemas lóticos los flujos superficiales forman un arroyo pequeño conformando microcuencas, este proceso se repite formando cuencas de dimensiones más grandes. El flujo de la mayoría de sistemas lóticos es turbulento esto se traduce en una velocidad del agua que varía constantemente dependiendo de la topografía de la zona, esta turbulencia mantiene en suspensión partículas sólidas.

La diversidad de especies suele alcanzar un máximo en la cuenca media de los ríos y cerca de la intersección de estos, la variabilidad de especies se ve disminuida ya que se presenta una reducción de la fotosíntesis acuática debido a que la velocidad de las aguas se reduce y el agua suele ser lodosa o muy turbia lo que disminuye la entrada de luz solar (Sánchez et al., 2007).

4.2.2. Sistemas Lénticos:

Son cuerpos de aguas cerrados donde las relaciones entre la profundidad, la superficie, la altitud, la posición geográfica, así como el régimen climático local, determinan la cantidad de nutrientes presentes, teniendo las categorías: oligotrófico, eutrófico o hipertrófico, siendo respectivamente bajo, medio y alto contenido de nutrientes. Si el sistema lentic recibe aguas de un río con régimen turbulento, la oxigenación será más eficiente, por el contrario, si el agua llega con un flujo laminar, tendrá poca oxigenación y dará lugar al crecimiento de especies con poca necesidad de oxígeno (Sánchez et al, 2007).

4.2.3. Humedal:

La convención RAMSAR (2016) expresa que los humerales son áreas de marismas, pantanos y turberas que están cubiertas de aguas, sean naturales o hechas por el hombre, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, con contenido de agua dulce, salobre o salada, también se incluyen extensiones de agua marina donde la profundidad cuando la marea está baja no sobrepase los seis metros. Estos son sistemas lénticos, en su área presentan una diversidad biológica notoria funcionando como un depósito de material genético vegetal, son fuentes de agua, sumideros de gases contaminantes y también originan productividad primaria de las que muchos animales dependen para poder vivir.

4.2.4. Macrófitas:

Pertenecen al Reino Vegetal, aunque vivan en el agua, la estructura de ellas es un cormo, es decir, consta de tallo, hojas y raíces. En estos componentes se aloja el CO₂ captado de la atmosfera siendo un porcentaje total de la biomasa presente. (Vila, 2006). Al respecto Cirujano et al. (2011) asegura que las EM se consideran buenos referentes de las condiciones en las que se encuentra el agua ya que son muy susceptibles a las variaciones de las condiciones físico-químicas, como por ejemplo la concentración de salinidad, la eutrofización, el régimen de inundación, etc. Los cambios de estos factores pueden causar alteraciones cualitativas y cuantitativas en las poblaciones vegetales y en la cadena trófica de los ecosistemas donde estén presentes.

4.2.5. Fotosíntesis:

La fotosíntesis es un proceso biológico que se da en las plantas, este puede darse en presencia o en ausencia de oxígeno, en las plantas esta es oxigénica y se da en los cloroplastos de las células vegetales de las hojas y en los tallos, en este proceso la energía de la luz solar se transforma en energía química, por medio de la producción de compuestos orgánicos como la glucosa a partir del CO₂ y de un agente reductor que en el caso de la fotosíntesis oxigénica es el agua. Debido a la utilización del CO₂ en el proceso, este tiene un impacto directo sobre la atmosfera (Alonso et al., 2020).

4.2.6. Ciclo Del Carbono:

Como expresa Jaramillo (2004) las plantas obtienen el CO₂ atmosférico por difusión debido a pequeñas porosidades presentes en las hojas llamadas estomas, después este gas es movilizado a los organelos encargados de realizar la fotosíntesis. Una parte del CO₂ regresará a la atmosfera, pero la otra parte será almacenada en la planta convirtiéndola en carbohidratos producto del proceso de fotosíntesis. En este ciclo predominan dos grandes intercambios anuales de Carbono los cuales son la captura del CO₂ de la atmósfera a las plantas como salida del proceso de fotosíntesis, y la devolución del CO₂ a la atmósfera como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica.

4.2.7. Captura Y Almacenamiento De Carbono:

Para Enríquez y Cremona (2017) el secuestro de carbono se entiende como un proceso de separación del Carbono que está inmerso en el CO₂ de la atmósfera por medio de la fotosíntesis, para después almacenarlo en un sumidero, que pueden ser bacterias fotosintéticas, bosques, suelo, el océano o algún otro ecosistema que cumpla con este servicio ecosistémico, como los humedales, tanto en su vegetación como en sus suelos. De igual forma la captura y el almacenamiento del Carbono en los suelos es importante ya que suelos con altas cantidades de materia orgánica son considerados sanos y fértiles. Existen diferentes metodologías para cuantificar y estimar las cantidades de Carbono secuestrado por la vegetación y el suelo.

4.2.8. Método De Walkley-Black:

El carbono orgánico presente en las muestras de biomasa aérea y subterránea se pueden determinar por medio del método Walkley-Black. La estimación se hace valorando la cantidad de Dicromato de Potasio que no ha sido reducido por la materia orgánica, un titulante como el Sulfato Ferroso (FeSO₄) y usando como indicador la Fenolftaleína (C₂₀H₁₄O₄) (García y Ballesteros, 2005). En esta investigación se utilizará un factor de conversión resultado de la utilización de este método en antecedentes para estimar el carbono contenido en el peso en seco de la biomasa y así hallar el porcentaje de carbono capturado en las EM de la zona de influencia.

4.2.9. Método De Razón Molar:

Es un método que tiene en cuenta los coeficientes de la ecuación de la fotosíntesis balanceada utilizando la estequiometría donde se realiza una relación de moles o moléculas entre dos de los compuestos que participan en la reacción química, estos son la Glucosa y el CO₂, con estos datos se prosigue a incorporar la ecuación en MatLab el cual proporcionará los datos del CO₂ almacenado este procedimiento es uno de los múltiples métodos que han propuesto los autores para la determinación de los depósitos de carbono en la biomasa vegetal (Caicedo y Herrera. 2015).

imagen 1.

fórmula utilizada para el método razón molar

$$X \text{ g C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 * \left(\frac{1 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{180 \text{ g C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$

Nota: tomado de Caicedo y Herrera, 2015.

4.2.10. Método Indirecto (Dap):

El método indirecto considera la utilización de las ecuaciones alométricas que existen en la literatura, estas fueron creadas a partir de metodologías directas con el fin de realizar estimaciones de captura de Carbono con un menor costo, para utilizar este método se tienen que realizar ciertas mediciones dependiendo de la ecuación alométrica que se vaya a utilizar, algunas de ellas exigen el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura y otras características de los árboles, existen investigaciones realizadas anteriormente utilizando este método con resultados precisos sobre el Carbono almacenado en las zonas de estudio (Fernández, 2017).

4.2.11. Muestras De Agua:

El tipo de muestra de agua a realizar se escogerá dependiendo de los parámetros que se vayan a medir y en esta investigación se hará uso del método simple, es decir, tomando la muestra en un lugar y tiempo determinado atendiendo a la metodología planteada por el IDEAM en 2020 con su guía metodológica para toma de muestras en fuentes de agua superficiales.

4.2.12. Muestras De Biomasa Aérea:

Se toman considerando la técnica utilizada por Suarez et al (2016) en los antecedentes de la investigación, estas se hacen mediante el método de establecimiento de parcelamientos y se recogen las muestras haciendo uso del muestreo aleatorio simple en el cual la posibilidad de escogencia de los sujetos es igual cada vez que se vaya a tomar una muestra.

4.2.13. Muestras De Biomasa Radicular:

Para la toma de muestras de este tipo de estructura vegetal se tendrán en cuenta las recomendaciones de los antecedentes consultados, estos sugieren las profundidades a las cuales se recomienda realizar el muestreo, realizar un parcelamiento y la designación de cuadrantes lo cual facilitará la toma de estas muestras de biomasa subterránea para determinar el Carbono almacenado en estas (Mita, 2019).

4.3. Marco Conceptual

A continuación, se presentarán los aspectos conceptuales de relevante utilidad en el desarrollo de la temática.

4.3.1. Biodiversidad:

Variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas (CDB, 1992).

4.3.2. Cambio Climático:

Cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales o por actividades humanas (ONU,2022).

4.3.3. Contaminación:

Introducción de sustancias nocivas u otros elementos físicos en un ambiente, que provocan que este sea inseguro o no apto para su uso (Merriam-Webster, 2023).

4.3.4. Ecosistema:

Un ecosistema es una estructura de interacción de los organismos y su medio inorgánico, que es abierto y, en cierta medida, capaz de autorregularse (Klotzli, 1993).

4.3.5. Fauna:

Conjunto de especies animales que habitan una región geográfica, que son propias de un periodo geológico. (CONAFOR,2009)

4.3.6. Flora:

Conjunto de plantas de un país o de una región (RAE, 2022).

4.3.7. Gases De Efecto Invernadero:

Son aquellos gases acomodados en el ambiente terrestre que absorben la radiación infrarroja del sol y que, con ello, retienen y aumentan la temperatura en la atmósfera (WWF, 2018).

4.4. Marco Contextual

Se presenta la localización donde se llevará a cabo el proyecto.

4.4.1. Caracterización Y Descripción Geográfica:

Chimichagua se encuentra a orillas de la Ciénaga de Zapatosa y es un municipio ubicado al nororiente de Colombia y al centro del departamento del Cesar se encuentra a 9° de longitud del meridiano este de Bogotá, capital del país y a 63° de longitud Oeste del meridiano de Grenwinch, este limita al norte con el municipio de Astrea, al sur con los municipios de Pailitas y Tamalameque , por el este con los municipios de Curumaní y Chiriguaná, y por el Oeste con el municipio El Banco perteneciente al departamento del Magdalena (Alcaldía de Chimichagua. 2022).

4.4.2. Aspectos De Contextualización Locativa:

Debido a la evidente cercanía al Complejo Cenagoso La Ciénaga de Zapatosa el municipio basa su economía en la pesca que se hace mucho más evidente en la cabecera municipal, al PIB de este lugar también aportan labores como lo suele ser la agricultura, la ganadería y la pesca (Alcaldía de Chimichagua. 2022).

imagen 2.

Ubicación del municipio de Chimichagua del departamento del Cesar - Colombia



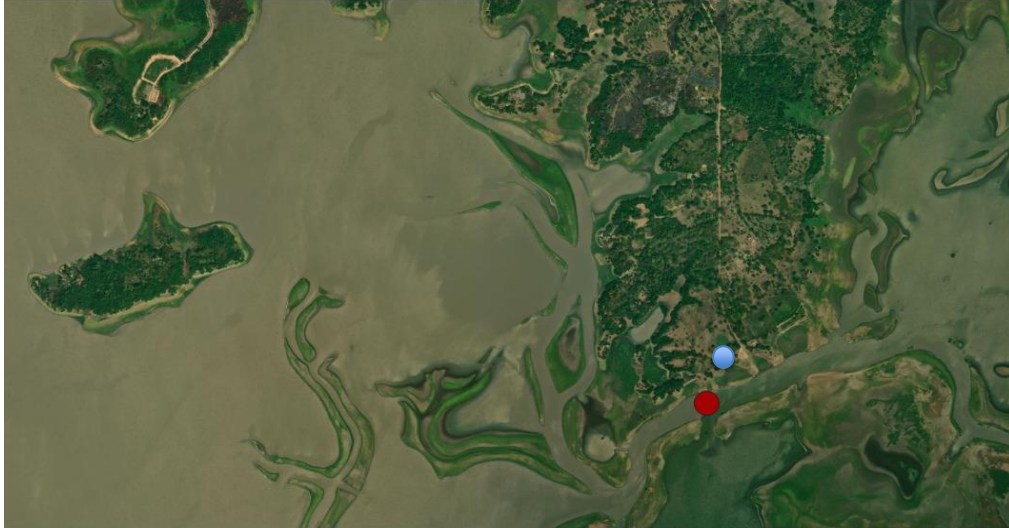
Nota: tomado de Google Maps 23 de mayo de 2012.

Dentro del municipio, en la zona correspondiente a la CZ se puede encontrar el lugar en el que el Rio Cesar desemboca a la CZ, cerca al mirador Los Placeres, se puede diferenciar fácilmente por los colores que hay entre estos dos cuerpos de agua dulce, puesto que el agua que entra es un poco más oscura que el agua del cuerpo receptor, conociéndose este como la intersección del Rio Cesar con la CZ, se planea realizar la investigación en el lugar más cercano a dicho encuentro (Jiménez, 2016).

4.4.3. Representación Espacial Y Geográfica:

imagen 3.

Ubicación del punto de muestreo, (1:18000)



Nota: tomado de Satélite Bing 2023 vía Qgis. Siendo el punto azul la zona correspondiente a Los Placeres y el punto rojo la intersección escogida ($9^{\circ}14'18.5''N$ $73^{\circ}46'38.5''W$).

Hay que resaltar que el muestro no se hizo exactamente en la intersección indicada, sino en la zona más cercana a esta, dependiendo de las condiciones de accesibilidad, seguridad y EM presentes para muestrear.



4.5. MARCO LEGAL

A continuación, se mostrará la normativa colombiana relacionada con la investigación.

NORMATIVA	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
Constitución Política de Colombia, 1991	Art 63. Bienes inalienables, imprescindibles e inembargables. Art 79. Derecho a un ambiente sano. Art 80. Planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.	Por medio de estos artículos este proyecto sienta las bases para fundamentar la ejecución del mismo, puesto que, busca el uso sostenible de zonas de interés ecosistémico.
Convención RAMSAR, 1971	Tratado para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos.	La investigación promoverá la conservación de la zona de influencia en la que se llevará a cabo.
Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD), 1992	Medidas de conservación, reparto equitativo y desarrollo sustentable.	Este convenio es pertinente porque promueve el interés de la investigación.
Ley 165 de 1994	Aprobación del Convenio sobre la Diversidad Biológica de 1992.	Esta ley es importante porque se amplía el marco normativo que defienden las zonas con amplia diversidad biológica como lo es la CZ
Ley 357 de 1997	Aprobación de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas.	justifica la realización del proyecto debido a la importancia de los humedales a nivel internacional.
Decreto 1594 de 1984	Usos de agua en los humedales.	Aporta las bases para el uso del agua en la zona escogida para muestreo.
Decreto 190 de 2004	Artículo 96. Definición de los usos de los humedales.	Esta aportara a la investigación el comportamiento a seguir dentro de la zona para su buen uso.
Decreto-Ley 2811 de 1974	Código de los Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente.	Mediante el cual se soporta la necesidad de llevar a cabo la investigación.
Resolución 196 de 2006	Guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia.	Esta es importante porque servirá de referente para brindar recomendaciones o conclusiones en el proyecto.

Nota: elaborada por el autor, 2024.

5. MARCO METODOLÓGICO

A continuación, se muestra la metodología que se siguió para la obtención de resultados y el orden de los hechos. Se muestra por medio de etapas cada una comprendida de distintas actividades que permitieron dar alcance a los objetivos principales.

5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación por defecto es la que confiere al Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar de la facultad de Ingenierías y Tecnológicas conocida como: Sostenibilidad y Gestión Ambiental. La sub-línea de investigación corresponde al componente de Gestión Integral de la Biodiversidad y del Patrimonio Ambiental y el área temática según la sub-línea de investigación es Ecosistemas estratégicos para la conservación y desarrollo de la región (Acuerdo N°003, 2021).

5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación es cuantitativo porque se buscó la obtención de resultados numéricos para la correlación de más de una variable en un ámbito objetivo mediante procedimientos de laboratorio (Hernández et al., 2014).

5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación tiene un alcance correlacional, porque buscó evaluar la relación de distintas variables como lo son los parámetros físico – químicos del agua con la dominancia de las EM, fue de tipo descriptivo en la cual se buscó conocer la interacción de las especies vegetales en los procesos de captura de CO₂ (Hernández et al., 2014).

5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Especies de macrófitas predominantes encontradas en la zona de influencia correspondiente al municipio de Chimichagua cerca a la intersección del Río Cesar y La CZ.

5.5. MUESTRA POBLACIONAL

Biomasa vegetal aérea, radicular y muestras de agua mediante el muestreo puntual.

5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño es de tipo no experimental puesto que solo se analizaron los sucesos ocurridos del sitio visitado sin intervenir de manera significativa y según el tiempo que se requiere para tomar las muestras se puede afirmar que se cuenta con un diseño Transversal. (Hernández et al, 2003).

5.7. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO

Para la realización del proyecto se llevó a cabo las siguientes etapas y actividades.

5.7.1. Etapa 1: Identificación De Las Macrófitas Predominantes Y Las Características Del Agua:

Actividad 1.1 búsqueda del sitio:

Se esclareció la entrada al lugar y la ubicación de este con sus coordenadas facilitando la labor con la utilización de software como QGIS la idea se tomó de lo recomendado por Ccoropuna, T. (2018) así especificar claramente el lugar junto a imágenes de Google Maps.

Se tuvo que recorrer la ciénaga en lancha hasta avistar una superficie con suficiente variedad vegetal para realizar un muestreo oportuno que cumpliera con los requerimientos de la investigación.

Actividad 1.2 clasificación de las especies vegetales (macrófitas):

Se contó con iconografías presentes en catálogos forestales y fotografías que ayuden al reconocimiento de las especies encontradas (Chang y Mandarachi, 2021), después de esto se procedió a especificar en mapas las especies encontradas que tengan predominancia sobre las demás por medio de colores y una leyenda.

Actividad 1.3 ubicación de la zona para la toma de muestras de agua:

Se tomaron lo más cercano a los puntos de interés siempre y cuando se garantice accesibilidad, seguridad, lejos de vertimientos o intervenciones antrópicas o mezclas rápidas por parte de la corriente siguiendo paso a paso lo sugerido por el “instructivo de toma y preservación de muestras sedimentos y agua superficial para la red de monitoreo de calidad” del IDEAM.

Actividad 1.4 muestras de agua:

Las variables a estudiar se realizaron mediante muestreos puntuales puesto que las variables pueden cambiar en composición o valor al ser mezcladas con otras muestras, se hicieron muestras para el oxígeno disuelto, conductividad, pH y temperatura (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales 2020). Las variables anteriores se determinaron in – situ a excepción de la turbiedad que se midió con los equipos suministrados por el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar.

Para el cálculo de la turbiedad se rotuló el envase; se enjuagó tres veces el envase con el agua que se iba a muestrear, desechando el agua de enjuague; se tomó la muestra de agua sin dejar espacio de aire; se cerró el envase de manera correcta y se almacenaron las muestras en cavas con hielo para su preservación a una temperatura no mayor de 6 ° C, hasta el momento de analizarlas en el laboratorio de Ciencias Ambientales de la Universidad Popular Del Cesar.

La transparencia del cuerpo de agua se midió con el uso del equipo conocido como disco Secchi, es un sistema conformado por un disco de color blanco visible debajo del agua atado a una cuerda y una plomada que permite que este pueda sumergirse fácilmente, el Secchi se adentra en el cuerpo de agua y se deja descender hasta que ya no sea visible, después se tomó la profundidad a en la que ya no era posible ver el disco teniendo en cuenta la humedad marcada en la cuerda del equipo y la medida que este brinda en metros.

Cada parámetro se muestreo por triplicado.

Actividad 1.5 determinación de las características de las muestras de agua:

En esta actividad se seguirá lo propuesto por el sugeridos por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 24th edition* que propone los códigos siguientes para cada método:

Tabla 1.
Parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Código	Unidades	Métodos	Equipo
pH	4500-H	-	Electrométrico	Sonda multiparamétrica
Conductividad	2510	μS/cm	Electrométrico	Sonda multiparamétrica
Temperatura	2550	°C	Electrométrico	Sonda multiparamétrica
Oxígeno disuelto	4500-O	mg/L	Electrométrico	Sonda multiparamétrica
Turbiedad	2130-B	UNT	Nefelométrico	Turbidímetro
Transparencia	-	m		Disco Secchi

Nota: elaborador por el autor, 2024.

5.7.2. *Etapa 2: Estimación De La Cantidad De Carbono Almacenado En La Biomasa Aérea Y Radicular De Las Plantas Macrófitas Vivas:*

Actividad 2.1 toma de muestras de la biomasa aérea:

Se utilizaron transeptos con mínimo 3 parcelas de 1m² separadas entre sí por 5m cada parcela estaba dividida en 25 subcuadrantes de 0,04m² ubicados a conveniencia en las zonas limnéticas, sublitoral y litoral más abundantes en EM, para tomar de cada parcela una muestra y almacenada en bolsas de papel, esterilizadas y cada una rotulada con el respectivo nombre de la especie, en el caso de no conocer el nombre de la especie in - situ se rotulo con un nombre clave, para luego identificarse (Chang y Mandarachi, 2021).

Se recorrió la zona de intersección de la Ciénaga de Zapatosa con el Rio Cesar a bordo de una chalupa perteneciente a uno de los pesqueros de la zona, en busca de un lugar con variabilidad favorable para el muestreo, desembarcó en una la zona sub litoral permitiendo la toma de un transepto de manera perpendicular al cuerpo de agua, utilizando las cuadrantes hechos en PVC para poder distribuir los subcuadrantes.

De cada cuadrante se tomó un registro fotográfico para posteriormente identificar las la abundancia de cada especie al momento de revisar todas las fotos del transepto, luego se recogió la muestra con la ayuda de tijeras de jardín, desde que se colecciono la muestra se procedió a reducir su porcentaje de humedad secándolas con papel absorbente lo mejor posible.

Actividad 2.2. Toma de muestra radicular:

Las raíces de las especies que se encontraron en los cuadrantes, se retiró el exceso de arena con brochas y toallas de papel absorbente, al estar en suelos sumergidos, extraer la especie del suelo fue muy fácil puesto que, con solo halarla, esta salía con sus componentes de biomasa área como radicular, se requirió la utilización de guantes y tijeras para separarlas.

Por cada parcela se tomó una muestra radicular de cada especie, si esta se repetía en la siguiente parcela igual se tomaba la muestra.

Actividad 2.3 secado de especies seleccionadas:

Las especies eran desembolsadas y pesadas en una báscula de alta precisión, en un beaker posteriormente tarado, en este se ubicó una muestra de la especie y así obtener su peso húmedo luego para conocer el peso en seco de las especies, Villate (2015) recomienda una temperatura de 60 °C a la cual se debe someter la muestra durante 24 horas. Así mismo Ccoropuna, T. (2018). Propone una temperatura de 65 °C, pero Suárez et al. (2016) dice que la temperatura de secado debe ser 50 °C.

Actividad 2.4 peso en seco:

En este estudio se tomó lo sugerido por Villate (2015) y se secaron las especies a una temperatura de 60 °C durante 24 horas con el fin de eliminar el peso exceso de agua y hallar el peso seco (Caicedo y Herrera, 2015) volviendo a pesar la muestra en un recipiente tarado.

Actividad 2.5 cálculo de la cantidad de Carbono:

La biomasa es considerada como la materia viva que no ha sufrido cambios importantes en su composición, esta se puede relacionar con el contenido de carbono de la especie. Por la interacción de las EM con el ciclo del Carbono se puede afirmar que parte de su estructura vegetal corresponde a Carbono orgánico distribuyéndose en proteínas, grasas, carbohidratos y fibras (Aldave y Aponte, 2019), conformando un 0.45 de las especies (Palomino y Cabrera 2007).

Para reducir la cantidad de error en el análisis de minerales diferentes al carbono, se determinó el peso de las cenizas calcinando una muestra de biomasa radicular y aérea, a una temperatura de 650 °C en la mufla durante 3 horas minerales u otras sustancias.

De lo anterior, conociendo el peso en seco de la biomasa de cada especie se puede determinar la cantidad de carbono contenido al multiplicar este valor por el factor de conversión 0.45 debido a que, el contenido de carbono es proporcional a la biomasa de ahí hallar la cantidad de CO₂ capturado con el coeficiente 3,67 que sale de la relación de los pesos moleculares del CO₂ y el carbono siendo $\frac{44CO_2}{12C}$.

Para hallar el %MO solo basta con restar el peso húmedo al peso en seco después del secado a 650 grados dividirlo entre el peso húmedo y multiplicarlo por 100%

Con los datos obtenidos se utilizarán las ecuaciones propuestas por Caicedo y Herrera (2015):

Determinación de la biomasa

$$CH\% = \left(\frac{Ph - Ps}{Ps} \right) * 100$$

CH% = Contenido de humedad

Ps = Peso Seco

Pc = Peso calcinado

$$\text{Biomasa (gr)} = \frac{ps - pc}{\left(1 + \left(\frac{CH\%}{100}\right)\right)}$$

Pt = Peso Total.

Matéria orgánica de la especie:

$$\%MO = \left(\frac{P1 - P2}{p1} \right) * 100$$

P1 = Peso antes de calcinar.

P2 = peso después de calcinar.

Carbono por especie:

$$\%C = 0.45\%MO$$

0.45 = factor de conversión del %C a materia orgánica.

%MO = materia orgánica

%C = carbono

CO₂ capturado:

$$CO_2 = C * \frac{44CO_2}{12C}$$

CO₂ = Dióxido de carbono

C = porcentaje de carbono.

Cantidad de minerales eliminados:

% minerales = 100 - %MO

5.7.3. Etapa 3: Correlación De La Dominancia De Las Macrófitas Con Los Parámetros Físicoquímicos Del Agua En La Zona De Influencia Intersección Del Rio Cesar:

Actividad 3.1 correlación de los parámetros del agua:

Se correlaciono los parámetros del agua de ambas temporadas de estudio para obtener una diferencia significativa entre los valores obtenidos en periodo de lluvias y sequía mediante el coeficiente de correlación de Spearman.

Actividad 3.2 correlación de los parámetros del agua con la dominancia:

Se correlacionaron los resultados obtenidos con el uso del Software SPSS y PAST con los parámetros del agua para con la dominancia de macrófitas que se encontraron en cada una de las visitas al sitio, así dar conclusiones de cómo estas propiedades fisicoquímicas del agua pueden afectar a las especies en su hábitat (Paez y Roper, 2021).

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

De acuerdo a las etapas descritas en el apartado anterior los resultados obtenidos para cada una de ellas en el primer y segundo muestreo realizado en temporada de lluvias (14/10/23) y sequía (13/04/24) fueron los siguientes:

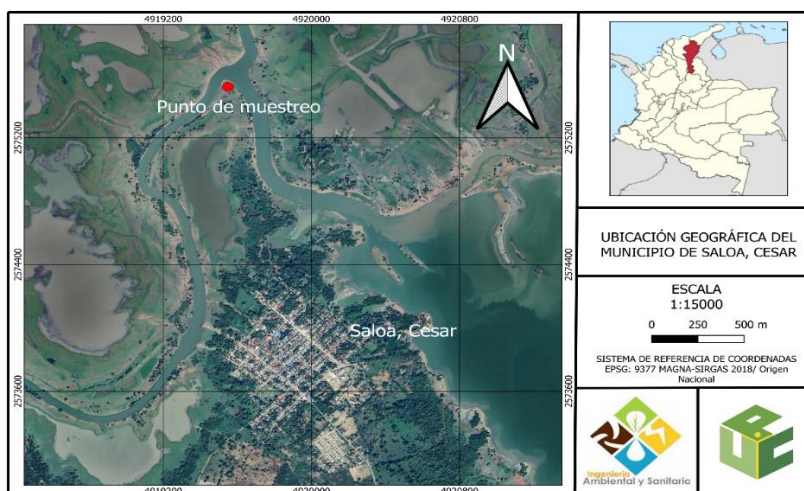
6.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS MACRÓFITAS PREDOMINANTES Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

6.1.1. Búsqueda Del Sitio

La zona en la que se tomó el muestreo se escogió por su cercanía a la intersección del Río Cesar con el CCZ y la variedad de especies vegetales en el sitio, notables a simple vista.

imagen 4.

Ubicación del punto de muestreo con respecto al municipio de Saloa corregimiento de Chimichagua - Cesar.



Nota: mapa elaborado en QGIS. Elaborado por el autor, 2024.

imagen 5.

Las coordenadas del punto muestreado son: 9°12'27.6"N 73°43'56.4"W y a continuación se muestra evidencia del lugar en el que se realizó la práctica.



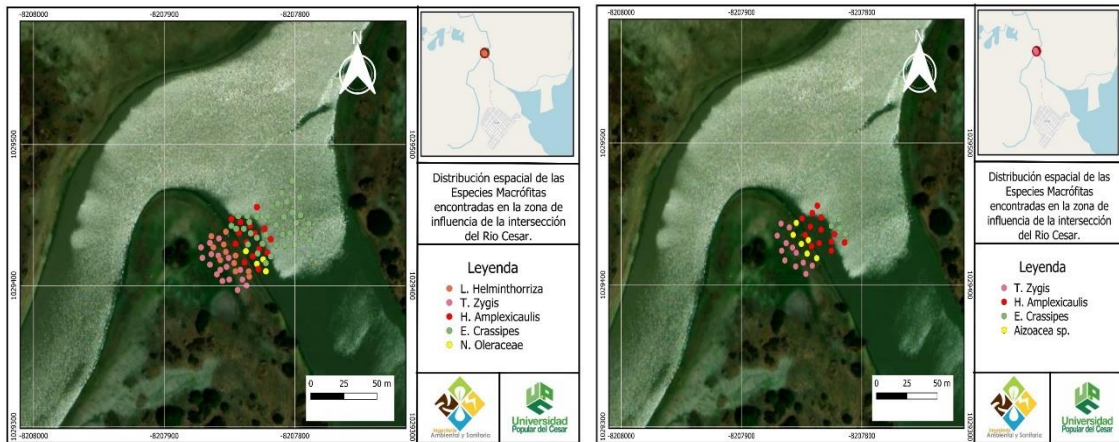
Nota: Elaborado por el autor, 2024.

6.1.2. Clasificación De Las Especies Vegetales:

6.1.2.1. Especies encontradas en la temporada de lluvias.

imagen 6.

distribución de las especies encontradas en la temporada de lluvias y sequía.



Nota: la imagen derecha (temporada de sequía) y la imagen izquierda (temporada de lluvias) son una representación la distribución de las especies en la zona. Elaborado por el autor, 2024.

6.1.2.1.1. Hymenachne Amplexicaulis (hierba de pantano).

Esta macrófita se encontraba de manera flotante, con tallos largos y poca cantidad de hojas y raíces, esta se encuentra en conglomerados sobre el agua y no va enraizada al suelo lo que hace que esta se dé solo en zonas limnéticas y litorales por arrastre de los vientos y las olas.

imagen 7.

Hymenachne Amplexicaulis



Nota: elaborado por el autor, 2024.

6.1.2.1.2. *Eichornia Crassipes* (buchón de agua).

Es conocida comúnmente como buchón de agua, es una especie invasora, pero a la vez sirve de hábitat para insectos y reposadero de aves que llegan a la ciénaga como lugar de paso, esta se encontró de manera prominente en las zonas litorales y limnéticas por conglomerados (Rojas, 2021).

imagen 8.

Eichornia Crassipes



Nota: elaborado por el autor, 2024.

6.1.2.1.3. *Thymus Zygis* (tomillo salsero).

Esta macrófita se encontró en mayor proporción a las demás y sobre la zona sublitoral, se encontraba en suelo húmedo y seco, y principalmente enraizada, con raíces más largas y profundas es la primera especie avistada en el muestreo de esta temporada en traer consigo un aspecto adornado por flores pequeñas de tono blanco que daban un estilo ornamental.

imagen 9.

thymus zygis



Nota: elaborado por el autor, 2024.

6.1.2.1.4. *Ludwigia Helminthorriza.*

La especie se caracteriza por ser enraizada con hojas circulares y pequeñas, su muestreo se realizó en la zona sublitoral que es el sitio donde está se encontró al realizar 3 cuadrantes, sus raíces se encontraban menos enraizadas que las de la especie *Thymus zygis*.

imagen 10.

Ludwigia Helminthorriza



Nota: elaborado por el autor, 2024.

6.1.2.1.5. *Neptunia oleracea.*

Esta especie se encontró en la zona más alejada del cuerpo de agua, la única de todas las muestreadas que poseía espinas y se encontraba en la zona sublitoral, raíces enraizadas sobre el suelo seco y con una altura de tallo mayor a todas las especies muestreadas.

imagen 11.

Neptunia Oleracea



Nota: elaborado por el autor, 2024.

6.1.2.2. Especies encontradas en la temporada de sequía.

6.1.2.2.1. *Eicchornia Crassipes.*

Nuevamente fue la especie encontrada mayor número de veces para la época de sequía, el buchón de agua es una especie que se encuentra en conglomerados y así como se aprecia en la imagen se sacó directamente del agua, sin tener que perder parte de sus raíces por estar metidas en tierra o porque fuera difícil, solo basta con seleccionar la planta y halarla hacia arriba y ella saldrá de inmediato, sus raíces poseen abundante agua para esta ocasión se encontraron muestras en zona limnéticas pero fue mucho menor a la encontrada en época de lluvias.

imagen 12.

Eicchornia Crassipes.



Nota: elaborado por el autor, 2024.

6.1.2.2.2. *Hymenachne Amplexicaulis.*

Como se puede ver en la imagen el tallo de esta especie es largo y va extendido sobre la superficie del cuerpo de agua a su vez es una especie flotante y sus raíces se encuentran brotando a lo largo de su tallo, esta especie nuevamente apareció en el muestreo al igual que en la época de lluvias.

imagen 13.

Hymenachne Amplexicaulis.



Nota: elaborado por el autor, 2024.

6.1.2.2.3. *Thymus Zygis.*

Esta es una de las especies enraizadas que se repitieron del primer muestreo esta vez con una menor cantidad de especies avistadas y una menor proporción de flores alrededor de su tallo esto se debe a que la planta utiliza una menor cantidad de agua para realizar sus funciones, por ende, procede a producir una menor cantidad de flores.

imagen 14.

Thymus Zygis.



Nota: elaborado por el autor, 2024.

6.1.2.2.4. *Aizoaceae sp.*

En la época de sequía se encontró esta especie diferente a las vistas anteriormente en el primer muestreo, esta es tipo enraizada y se avistó en suelo seco y firme, posee tallo largo y hojas medianas.

imagen 15.

Aizoaceae Sp.



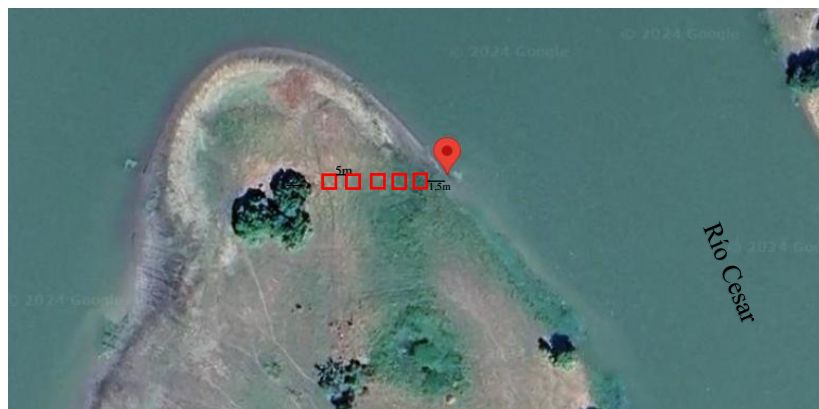
Nota: elaborado por el autor, 2024.

6.1.3. *Ubicación De La Zona Para La Toma De Muestras De Agua:*

Las especies vegetales eran recolectadas de manera perpendicular al cuerpo del agua para lo que estas se tomaron a 1,5 m del primer sub cuadrante del transepto, para su recolección se hizo uso de chalupas ubicadas de manera que permitiesen muestrear sin tener que adentrarse al agua con profundidad desconocida.

imagen 16.

Punto donde se tomó la muestra de agua. coordenadas: 9°12'27.6"N 73°43'56.4"W



Nota: Tomado de Google Earth 2023.

6.1.4. Muestras De Agua Y Determinación De Las Características:

Tabla 2.

Resultado de los parámetros fisicoquímicos en temporada de lluvias

Parámetros	Unidades	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Desviación estándar
pH	-	5.92	6.07	5.96	0,0964
Conductividad	μS/cm	162	167	165	2,6457
Temperatura	°C	31.5	31.8	31.6	0,1527
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.9	5.9	5.76	0,2309
Turbiedad	UNT	90	95	90	5
Transparencia	m	-	-	0,45	-

Nota: elaborado por el autor, 2024.

Tabla 3.

Resultado de los parámetros fisicoquímicos en temporada de sequía.

Parámetros	Unidades	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Desviación estándar
pH	-	5.74	6.31	5.99	0,269
Conductividad	μS/cm	322	335	327.33	6,807
Temperatura	°C	33.7	33.9	33.8	0,100
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.58	8.0	7.78	0,210
Turbiedad	UNT	86	88	84.33	4,726
Transparencia	m	-	-	0.41	-

Nota: elaborado por el autor, 2024.

6.1.4.1. pH.

El pH en ambas condiciones para lluvias y sequía se encuentra muy cerca el uno del otro obteniendo un valor de pH para la primera época de $5.96 \pm 0,269$ y para la segunda de $5.99 \pm 0,0964$ en conclusión el agua se encuentra en un valor de pH ácido, sin embargo el agua expuesta a condiciones naturales se ve susceptible a los diferentes gases atmosféricos y la temperatura lo que puede hacer que este valor descienda, dado que los valores de acidez fueron muy cercanos en ambas épocas no se evidencio una actividad que influenciara de manera

significativa en la variabilidad del pH de una temporada a otra además al estar en la zona de intersección del río Cesar con la Ciénaga de Zapatosa pudo considerarse una influencia de este en el valor de pH puesto que las descargas residuales en el río influyen en el deterioro del agua de lagos y embalses (Lorena et al., 2019).

6.1.4.2. Conductividad.

En el caso de la conductividad en época de lluvias se obtuvo un valor de $165 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 2,6457$ y para la época de sequía una conductividad de $327.33 \pm 6,807 \mu\text{S}/\text{cm}$ esta variación notable se debe a que cuando la temperatura aumenta la conductividad del agua también lo hace dado que los iones de sales que son los que causan la transferencia de energía se están moviendo mucho más rápido por la alta temperatura que se encuentra el agua constantemente, por la temporada de verano haciendo que los iones de las sales que se encuentran en el cuerpo de agua se disuelvan fácilmente.

6.1.4.3. Temperatura.

En este caso solo varió un poco la temperatura puesto que en sequía fue de $33,8 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,100$ y en lluvias fue de $31,6 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,1527$ aunque el aumento de un valor a otro no es mucho, esos grados de más en la temperatura sostenidos de manera gradual durante varios meses influyen de manera significativa en las características del agua como lo fue en el caso de la conductividad haciendo que esta aumentase en la temporada de sequía (Macías, 2022).

6.1.4.4. Oxígeno disuelto.

En el caso de la época de lluvias se obtuvo un valor de $5.76 \text{ mg}/\text{L} \pm 0,2309$ contra un valor de $7.78 \text{ mg}/\text{L} \pm 0,210$ en la época de sequía, el aumento de la temperatura trajo consigo el aumento de la conductividad, va relacionada con la salinidad, aumentándola, disminuyendo la cantidad de OD (oxígeno disuelto), en el agua, también el constante oleaje y movimiento brusco del agua generado por las olas gracias a las lluvias producía una mejor oxigenación del agua, sumado a esto que al estar desertadas zonas que antes se encontraban inundadas hizo que diferentes especies vegetales que ahí habitaban murieran, descomposición de estas como materia orgánica consumieron OD, sin embargo, el aumento del OD en esta época se debe a que el espejo de agua estaba libre de especies permitiendo la entrada de mayor OD de la atmósfera al agua (Suarez, 2012).

6.1.4.5. Turbiedad (UNT).

Se obtuvieron valores de 90 UNT \pm 5 en la época de lluvias contra 84.33 UNT \pm 4,726 en la época de sequía los valores de turbidez no son tan diferentes dado que el muestreo al realizarse en la intersección del río Cesar con La Ciénaga de Zapatosa, esta zona siempre se encuentra con un constante afluente proveniente de este río, lo que el movimiento de sus olas solo pudo variar un poco disminuyendo en verano por la escasez de lluvias, por lo tanto, menor cantidad de agua entrante favoreciendo a menor oleaje y generando menos agite del agua de la zona, a su vez este constante movimiento genera la poca concentración de sedimentos dado que el arrastre del agua no permite el fácil asentamiento de estos.

6.1.4.6. Transparencia.

En temporada de lluvias el disco secchi dejo de ser visible a una profundidad de 45 cm al realizar la misma prueba en temporada de sequía solo se necesitaron 41cm no es mucha la diferencia, pero es un dato que va de la mano con la poca variación de la turbiedad, así mismo, se puede apreciar en la visibilidad del secchi al sumergirlo puesto que entre más profundidad necesite para desaparecer por completo de la vista menos turbia será el agua.

6.2. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA Y RADICULAR DE LAS PLANTAS MACRÓFITAS VIVAS.

6.2.1. Toma De Muestras De La Biomasa Aérea.

6.2.1.1. Muestras de biomasa aérea en época de lluvias.

En la época de lluvias se contó un total de especies vegetales de 194 especies diferentes para los 5 cuadrantes, dado que solo se pueden contabilizar las especies que se encontraban dentro de los transeptos para el muestreo obteniendo así un total de 250 subcuadrantes teniendo una ocupación del 77,6% de la totalidad de los subcuadrantes muestreados.

Para esta muestra se obtuvo una cantidad de avistamientos de la especie *Hymenachne amplexicaulis* (hierba de pantano) equivalente a 80 subcuadrantes con una ocupación del 32%, seguida de la *Eichhornia crassipes* (buchón de agua) con un total de 52 y un porcentual de

20,8%, la *Ludwigia helminthoriza* con una cantidad de 18 avistamientos y un 7,2%, la *Thymus Zygis* (tomillo salsero) con un total de 40 subcuadrantes y un 16% y por último la *Neptunia oleracea* (dormilona) que solo se encontró en 4 subcuadrantes del total y una ocupación del 1,6% del total con vegetación.

6.2.1.2. Muestras de biomasa aérea en época de sequía.

En este caso se mantuvo la predominancia de la especie Hierba de Pantano (*Hymenachne amplexicaulis*) con una cantidad menor que en la época de lluvias como era de esperarse pero mayor a las demás especies en la misma época de sequía contando con un total de 48 subcuadrantes con presencia de esta de los 90 subcuadrantes que contaron con vegetación para los 250 subcuadrantes muestreados ocupando un total del 19,2% del porcentaje acumulativo de: 36% con vegetación presente, el restante no contaba con vegetación.

Seguida de ella se acercó lo que es la distribución del tomillo salsero (*Thymus Zygis*) con una igualdad de 31 especies y un valor de 12,4%, y el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) especie de bastante presencia en todo el recorrido al punto se muestreo solo conto con 6 subcuadrantes ocupados obteniendo así un 2,4% de ocupación, fue la segunda especie con menos cantidad de ejemplares en los cuadrantes solo superada por la *Aizoaceae sp* que solo se avistó 5 veces obteniendo un 2%.

Hubo especies que en la temporada de lluvias se encontraban a disposición que luego en sequía no, así mismo, las especies que dependían más de la cantidad de agua se disminuyó casi a su desaparición de la zona como en el caso de *Eichhornia crassipes* (buchón de agua) el cual bajo de una presencia de 52 subcuadrantes a 8, en las nuevas especies se notó como empezaban a penas a formar la abundancia durante la época puesto, que aunque, crecieron en un lugar que antes no estaban solo lograron ser un máximo de 5, la *Aizoaceae sp*, esto se debe a que apenas están comenzando a predominar la zona por la época, siendo más probable la reproducción de la especie.

También se espera que la *Eichhornia crassipes* llegue a desaparecer en su totalidad a lo largo de la temporada de sequía, puesto que, presentó una disminución en su población de manera más drástica pasando de un total 52 a 8 especímenes, reduciéndose en un 84.615%, esto se debe a que las zonas inundadas donde esta se encontraba ya estaba totalmente seca,

dado que el nivel del agua había bajado dejando a la macrófita sobre el suelo seco, lo que al ser una especie que crece en zona limnéticas hace imposible su supervivencia, el resto de especies fueron arrastradas por el agua debido a las fuertes brisas de la temporada.

Hymenachne amplexicaulis se mantiene como la especie predominante en la zona, esto se debe a que en la época de lluvias esta presente casi 100 subcuadrantes en el muestreo, aunque su número redujo en un 40% la cantidad inicial de especies permitió la presencia de esta aun en la zona con buena cantidad.

6.2.2. Toma De Muestra Radicular.

Para el muestreo de la parte radicular de la especie se obtuvo halando la muestra del agua completamente sin tratar de cortarla, las especies en la zona limnéticas son fáciles de extraer dado que las raíces no están enterradas como en el caso de las especies en la zona sublitoral, donde había que aplicar más fuerza para arrancarlas del suelo, se obtuvo un peso de la muestra en el laboratorio de hasta 2 gramos de raíces.

6.2.3. Secado De Especies Seleccionadas Y Peso En Seco.

6.2.3.1. Biomasa aérea y radicular para la temporada de lluvias.

Tabla 4.

Peso en seco de la biomasa aérea y radicular de las macrófitas en la temporada de lluvias.

Especies	Peso húmedo (gr)		Peso en seco (gr)	
	Tallo y hojas	Raíces	Tallo y hojas	Raíces
<i>Neptunia oleracea</i>	50.55	10.99	21.20	3.06
<i>Eichhornia crassipes</i>	52.08	62.48	4.21	8.74
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	63.43	22.30	6.86	3.05
<i>Thymus Zygis</i>	50.93	2.96	13.96	1.04
<i>Ludwigia helminthoriza</i>	67.2	8.04	7.94	1.06

Nota: elaborado por el autor, 2024.

De lo anterior la especie que más retuvo agua en sus organismos es el buchón de agua, esta especie tiende a retener una mayor cantidad de agua dado que se encuentra de manera flotante, además la gran cantidad de raíces favorecen a que esta retenga una mayor cantidad de

agua para poder cumplir con sus actividades fitorremediadoras como la depuración de aguas contaminadas por contaminantes emergentes (Rojas, 2021). Los pesos en húmedo disminuyeron a más de la mitad del peso de la especie en al estar secas en el laboratorio.

6.2.3.2. Biomasa aérea y radicular para la temporada de sequía.

Tabla 5.

Peso en seco de la biomasa aérea y radicular de las macrófitas en la temporada de sequía.

Especies	Peso húmedo (gr)		Peso en seco (gr)	
	Tallo y hojas	Raíces	Tallo y hojas	Raíces
<i>Eichhornia crassipes</i>	45.29	50.82	2.943	4.748
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	30.15	31.76	2.521	3.847
Thymus Zygis	49.96	1.96	9.663	0.468
<i>Aizoaceae sp</i>	28.47	3.11	7.510	0.934

Nota: elaborado por el autor, 2024.

Nuevamente en el segundo muestreo la *Eichhornia crassipes* fue la especie que más agua retuvo en su estructura, según lo encontrado por Atehortua y Gartner (2013) encontraron que la composición de esta especie era de incluso un 95% debido a su parte esponjada en el tallo lo que retiene agua, además, su estructura cuenta con presencia de grupos hidroxilo lo que posibilita enlaces con el hidrogeno, dicha cualidad es un punto importante para la retención de contaminantes de las aguas residuales que son cargadas al río y llegan a la Ciénaga, más en la parte de la intersección que es la primera zona de encuentro de ambos cuerpos de agua.

6.2.4. Cálculo De La Cantidad De Carbono:

6.2.4.1. Cantidad de carbono capturado por las Macrófitas en la temporada de lluvias.

Después de calcar todas las muestras en lapsos de 3 horas por especie a una temperatura de 650 °C para poder eliminar todos los minerales diferentes al carbono dentro de la especie se obtuvo lo siguiente:

Tabla 6.

Carbono capturado en la biomasa aérea y radicular en temporada de lluvia.

ESPECIES	Estructura planta	Peso Fresco gr alicuota	Peso Seco gr	CH %	Submuestra para calcinar gr	Muestra Calcinada (P3)	Materia Orgánica	% MO	% Minerales	Carbono fijado gr	% Carbono	Biomasa gr
<i>Eichornia Crassipes</i>	Raíz	62,48	8,74	86,01	5,00	3,41	1,59	31,80	68,20	0,72	14,31	0,85
<i>Eichornia Crassipes</i>	Tallo-Hojas	52,08	4,21	91,92	4,21	0,69	3,52	83,61	16,39	1,58	37,62	1,83
<i>Thymus Zygis</i>	Raíz	2,96	1,04	64,86	1,04	0,202	0,84	80,58	19,42	0,38	36,26	0,51
<i>Thymus Zygis</i>	Tallo-Hojas	50,93	13,96	72,59	5,00	1,097	3,90	78,06	21,94	1,76	35,13	2,26
<i>Neptunia oleracea</i>	Raíz	10,99	3,06	72,16	3,06	0,252	2,81	91,76	8,24	1,26	41,29	1,63
<i>Neptunia oleracea</i>	Tallo-Hojas	50,55	21,2	58,06	5,00	0,198	4,80	96,04	3,96	2,16	43,22	3,04
<i>Ludwigia Helminthorrhiza</i>	Raíz	8,04	1,06	86,82	1,06	0,595	0,47	43,87	56,13	0,21	19,74	0,25
<i>Ludwigia Helminthorrhiza</i>	Tallo-Hojas	67,2	7,94	88,18	5,00	0,566	4,43	88,68	11,32	2,00	39,91	2,36
<i>Hymenachne Amplexicaulis</i>	Raíz	22,3	3,05	86,32	3,05	1,373	1,68	54,98	45,02	0,75	24,74	0,90
<i>Hymenachne Amplexicaulis</i>	Tallo-Hojas	63,43	6,86	89,18	5,00	0,667	4,33	86,66	13,34	1,95	39,00	2,29

Nota: elaborado por el autor, 2024.

La especie con la mayor cantidad de agua retenida o con mayor porcentaje de humedad en su estructura fue el Buchón de Agua (*Eichornia Crassipes*) debido a su tallo y estolones que permiten el almacenamiento de agua, la especie que más capturo carbono fue la *Neptunia oleracea* en la biomasa aérea 43,22% de %C, seguida de la *Thymus Zygis* con un 37,62% de %C siendo las especies de la zona que más contribuyen al calentamiento global por su capacidad de retención de los gases productores del efecto invernadero, la especie vegetal que más aporta a la biomasa es la *Neptunia oleracea* con un 2,26gr esto se debe a la diferente proporción de tamaño de las especies. El total de carbono fijado para la temporada de lluvias fue

de: 12.77gr, dando resultados notables e importantes para el cuidado de estas zonas dado que se puede apreciar que, aunque hay pocas especies, brindan un servicio ecosistémico importante para la lucha contra el calentamiento global.



6.2.4.2. Cantidad de carbono capturado por las Macrófitas en la temporada de sequía.

Tabla 7.

Carbono capturado en la biomasa aérea y radicular en temporada de sequía.

Especies	Estructura planta	Peso Fresco gr alícuota	Peso Seco gr	CH %	Submuestra para calcinar gr	Muestra Calcinada (P3)	Materia Orgánica	% MO	% Minerales	Carbono fijado gr	% Carbono	Biomasa gr
<i>Eichornia Crassipes</i>	Raíz	50,82	4,748	90,66	4,75	2,735	2,01	42,40	57,60	0,91	19,08	1,06
<i>Eichornia Crassipes</i>	Tallo-Hojas	42,29	2,943	93,04	2,94	1,043	1,90	64,56	35,44	0,86	29,05	0,98
<i>Thymus Zygis</i>	Raíz	1,96	0,468	76,12	0,59	0,468	0,12	20,14	79,86	0,05	9,06	0,07
<i>Thymus Zygis</i>	Tallo-Hojas	49,96	9,663	80,66	5,00	1,043	3,96	79,14	20,86	1,78	35,61	2,19
<i>Aizoaceae Sp</i>	Raíz	3,11	0,934	69,97	0,93	0,171	0,76	81,70	18,30	0,34	36,77	0,45
<i>Aizoaceae Sp</i>	Tallo-Hojas	28,47	7,51	73,62	5,00	1,407	3,59	71,86	28,14	1,62	32,34	2,07
<i>Hymenachne Amplexicaulis</i>	Raíz	31,76	3,847	87,89	3,85	2,362	1,49	38,60	61,40	0,67	17,37	0,79
<i>Hymenachne Amplexicaulis</i>	Tallo-Hojas	30,15	2,521	91,64	2,52	0,5	2,02	80,17	19,83	0,91	36,07	1,05

Nota: elaborado por el autor, 2024.

La especie que más capturo carbono fue la *Thymus Zygis* con un valor de 1,78gr de carbono fijado, la especie que más apporto biomasa en esta época fue la *Aizoaceae sp* y la que más perdió minerales en el proceso de calcinación fue la *Thymus Zygis* con un valor de 79,86gr, nuevamente para esta fase la *Eichornia Crassipes* fue la especie con un mayor porcentaje de humedad debido a su estructura vegetal que permite el almacenamiento del agua más tiempo dado a su reducido tamaño y poco número de hojas como un tallo corto (Rojas, 2021) C fijado:7.13gr.

La especie con mayor contenido de biomasa aérea es la *Neptunia oleracea*, con un valor de 3,04gr correspondiente a la temporada de lluvias, donde es más fácil que estas especies crezcan y obtengan un mayor tamaño, esta especie no se encontró en el segundo muestreo por lo que la especie que ocupó su lugar en la época de sequía fue la *Thymus Zygis* con un total de biomasa de 2,19gr lo que favorece a este espécimen puesto a que en ambas temporadas estuvo con valor muy similar haciendo notar su adaptabilidad a ambos ambientes.

En el caso de la biomasa radicular se mantiene la predominancia de la cantidad de biomasa que aporta la especie *Neptunia oleracea* con un total de 1,63gr en su parte radicular, esto puede deberse al tamaño de sus raíces que eran mucho más largas y grandes que las demás, de la misma forma en la época de sequía la parte radicular con mayor cantidad de biomasa fue la *Eichornia Crassipes* con un peso de 1,04gr.

La especie que más capturo carbono es la *Neptunia oleracea* con 43,22% en la época de lluvias resultado que era de esperarse dado que la captura de carbono va relacionada con la cantidad de CO₂ que la especie conserva, esta especie había mostrado contener mayores cantidades de CO₂ en los anteriores resultados, en sequía la *Aizoaceae Sp.* obtuvo un valor de 36,77% siendo la segunda especie que más fijo carbono.

Los mayores valores de porcentajes de captura de C, CO₂ y carbono fijado se obtuvieron en la época de lluvias esto según esto se debe a que las macrófitas en época de sequía son sometidas a un estrés hídrico donde es necesario el riego adicional, ante la imposibilidad de este la planta recurre a la inhibición de la expansión foliar, lo que tare consigo una menor cantidad de biomasa aérea lo que hace que la captura de CO₂ sea menor en esta época del año (Buckeridge, 2011).

Se mantiene la tendencia en la época de lluvias pues la *Neptunia oleracea* capturo 41,29gr Carbono, pero esta vez en su biomasa radicular, en época de sequía fue la *Aizoaceae Sp* con un 36,77gr de carbono. La biomasa radicular capturo más carbono en época de lluvias que en verano esto se debe al estrés hídrico que es sometido la planta en verano.

Tabla 8.

Cálculo de la cantidad de CO₂ en gr/m² para la temporada de lluvias.

Especies	Estructura Planta	Submuestra Para Calcinar Gr	Muestra Calcinada (P3)	(Gr) MO	(Gr) Carbono	(Gr) CO ₂	Gr de CO ₂ por M ²
<i>Eichornia Crassipes</i>	Raíz	5,00	3,41	1,59	0,72	2,6258	65,6471
<i>Eichornia Crassipes</i>	Tallo-Hojas	4,21	0,69	3,52	1,58	5,8132	145,332
<i>Thymus Zygis</i>	Raíz	1,04	0,202	0,84	0,38	1,3839	34,5989
<i>Thymus Zygis</i>	Tallo-Hojas	5,00	1,097	3,90	1,76	6,4458	161,1451
<i>Neptunia oleracea</i>	Raíz	3,06	0,252	2,81	1,26	4,6374	115,935
<i>Neptunia oleracea</i>	Tallo-Hojas	5,00	0,198	4,80	2,16	7,9305	198,2625
<i>Ludwigia Helminthorrhiza</i>	Raíz	1,06	0,595	0,47	0,21	0,7679	19,1986
<i>Ludwigia Helminthorrhiza</i>	Tallo-Hojas	5,00	0,566	4,43	2,00	7,3227	183,0687
<i>Hymenachne Amplexicaulis</i>	Raíz	3,05	1,373	1,68	0,75	2,7695	69,2391
<i>Hymenachne Amplexicaulis</i>	Tallo-Hojas	5,00	0,667	4,33	1,95	7,1559	178,8987
				total	12,77	46,85	1171,3263

Nota: elaborado por el autor, 2024.

En esta tabla se muestra los gramos de carbono y de CO₂ capturado por las especies obteniendo resultados significativos para el muestreo donde se resalta un valor total de 12,77gr de carbono y un 1171,3263gr/m² de CO₂ total, la especie que más capturo gramos de Carbono fue la *Neptunia oleracea* con un total de 3,42gr la que menos tuvo fue *Thymus Zygis* con 2,14gr en el caso del CO₂ la *Neptunia oleracea* capturo 12,5679gr siendo la que mayor capturo y la que menos fue *Ludwigia Helminthorrhiza* 8,0906gr de CO₂.

Tabla 9.

Cálculo de la cantidad de CO₂ en gr/m² para la temporada de sequía.

Especies	Estructura planta	submuestra para calcinar gr	Muestra Calcinada (P3)	(gr) MO	(gr) CARBONO	(gr) CO ₂	gr de CO ₂ por m ²
<i>Eichornia Crassipes</i>	Raíz	4,75	2,735	2,02	0,91	3,3277725	83,1943
<i>Eichornia Crassipes</i>	Tallo-Hojas	2,94	1,043	1,90	0,85	3,1328955	78,3223
<i>Thymus Zygis</i>	Raíz	0,59	0,468	0,12	0,05	0,201483	5,0370
<i>Thymus Zygis</i>	Tallo-Hojas	5,00	1,043	3,96	1,78	6,5349855	163,3746
<i>Aizoaceae Sp</i>	Raíz	0,93	0,171	0,76	0,34	1,2534885	31,3372
<i>Aizoaceae Sp</i>	Tallo-Hojas	5,00	1,407	3,59	1,62	5,9338395	148,3459
<i>Hymenachne Amplexicaulis</i>	Raíz	3,85	2,362	1,49	0,67	2,457432	61,4358
<i>Hymenachne Amplexicaulis</i>	Tallo-Hojas	2,52	0,5	2,02	0,91	3,33603	83,4007
				total	7,13	26,18	654,4481

Nota: elaborado por el autor, 2024.

En la época de sequía la especie que más gramos de carbono y CO₂ capturo es la *Aizoaceae Sp*, un 1,96gr y 7,1887gr respectivamente, en el caso de la que menos apporto fue *Hymenachne Amplexicaulis* con un 1,58gr de carbono y 4,7934gr de CO₂, en su totalidad se capturo un 7,13gr de carbono y un 654,4481gr/m².

En la época de lluvias la biomasa aérea capturo mayor cantidad de carbono que la biomasa área en época de sequía factores como la reducción en la biomasa aérea, el estrés hídrico, la capacidad de captura del CO₂ de la *Neptunia oleracea* se debe a que las hojas de esta especie están en una disposición casi vertical que permite que casi ninguna hoja sobre pase el nivel de saturación y a su vez las hojas no sean sombreadas permitiendo la concentración de luz en sus hojas acelerando o contribuyendo a la fotosíntesis haciendo que capture más CO₂ que las demás especies encontradas en conglomerados o con menor tamaño del tallo (Ccoropuna, 2018), así mismo, se muestra a la *Eichornia Crassipes* con la menor cantidad de este gas atmosférico capturado en temporada de lluvias esto se debe a que las especies que crecen en un ritmo alarmante y en conglomerado capturan menos CO₂ que las que crecen lentamente debido al poco tiempo para producir fibras (Aldave y Aponte, 2019).

En la biomasa radicular la especie que más capturo CO₂ fue la *Eichornia Crassipes* en la temporada de sequía, se sabe que ante la ausencia de agua la especie vegetal trata de distribuir todos los nutrientes de la fotosíntesis a sus raíces, puesto a que al ser una especie que se encuentra sobre el agua necesita de esta de manera imprescindible haciendo que sus raíces capturen todo el CO₂ que su parte aérea la cual no es muy grande, no puedo compensar (Buckeridge, 2011).

Se calculó el CO₂ de las especies de la siguiente forma:

P_o: 2,94gr

P_f: 1,043gr

Se resta el P_o – el P_f obteniendo: 1,89gr siendo esto materia orgánica (MO), Este MO se multiplica por el coeficiente de 0,45 obteniendo: 0,85gr de carbono (C) ese valor de carbono se convierte en CO₂ al hacer una relación de los pesos atómicos de este compuesto:

$$\text{CO}_2 = 0,85\text{gr/C} \times \frac{44\text{CO}_2}{12\text{C}} = 3,11 \text{ grCO}_2 \text{ de aquí } \frac{(1*3,11)}{0,04\text{m}^2} = 77,98\text{gr/m}^2$$

Peso inicial antes de calcinar: 2,94, peso después de calcinar: 1,043.

6.3. ETAPA 3: CORRELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN, ABUNDANCIA Y CARACTERÍSTICAS DE LAS MACRÓFITAS CON LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA EN LA ZONA DE INFLUENCIA INTERSECCIÓN DEL RIO CESAR.

6.3.1. Correlación De Los Parámetros Del Agua.

Tabla 10.

Correlación de los parámetros del agua en temporada de lluvias y sequía.

Parámetros medidos	pH	Conductividad	Temperatura	Turbiedad	Oxígeno disuelto
pH	1	-0,371	-0,314	0,029	0,087
Conductividad	-0,371	1	0,957	-0,543	0,754
Temperatura	-0,314	0,943	1	-0,371	0,841
Turbiedad	0,029	-0,543	-0,371	1	-0,058
Oxígeno disuelto (OD)	0,087	0,754	0,841	-0,058	1

Nota: valores negativos indican una correlación inversa, valores positivos indican correlación notable y fuerte cuando el valor es cercano a 1. Elaborado por el autor, 2024.

Los parámetros que tuvieron una correlación negativa pH con conductividad y temperatura, conductividad y turbiedad, temperatura y turbiedad, oxígeno disuelto y la turbiedad, por otro lado, mostraron una correlación significativa la conductividad y el oxígeno disuelto, la temperatura el oxígeno disuelto la correlación más fuerte que hubo fue entre los datos de conductividad y temperatura.

La conductividad se relaciona con el OD debido a que cuando esta se altera es porque hay un cambio en la temperatura que hará aumentar o disminuirla afectando indirectamente el OD es decir cuando la temperatura aumenta la conductividad y disminuye el OD (Suarez, 2012).

La temperatura se relaciona con el OD dado que en época de lluvias donde la temperatura es más baja, el OD aumenta por el movimiento de las aguas debido a la lluvia a su vez, cuando esta aumenta el OD disminuye mostrando la influencia de un parámetro sobre el otro (Macías, 2022).

La evidente correlación entre la conductividad y la temperatura se debe a que a mayor temperatura mayor conductividad, puesto que, los iones de las sales que se encuentran en el agua se desestabilizan más rápido aumentando los valores de conductividad (Macías, 2022).

6.3.2. Correlación De Los Parámetros Del Agua Con La Dominancia.

Con la ayuda del software PAST y SPSS se obtuvo los índices de atributos para las especies de la zona y la correlación de los parámetros del agua con la dominancia de las EM.

Tabla 11.

Atributos biológicos de las especies predominantes encontradas en ambas épocas

	Periodo seco	Periodo de lluvias
Dominancia	0,2898	0,3824
Margalef	0,7593	0,6808
Individuos	194	82

Nota: elaborado por el autor, 2024.

La mayor diversidad (índice de Margalef) se presentó en la temporada de lluvias donde se encontraron mayor número de especies por ende mayor diversidad esto se debe a que en esta época el espejo de agua aumenta su tamaño por los que las macrófitas tendrán mayor área de crecimiento, sin embargo, según este índice la zona tuvo una diversidad de baja y poca dominancia (Saumett, 2021).

Este resultado va de la mano con lo obtenido por Perez et al. (2015), donde estudia especies de macrófitas como lo es la *Eichornia Crassipes*, también estudiada en este proyecto, en ambos periodos, lluvia y sequía, este autor concluyo que no hay una diferencia significativa entre los datos obtenidos de los atributos biológicos y la temporalidad. Este mismo autor también presento una mayor cantidad de dominancia de la zona en época de lluvias teniendo como especie predominante la *Eichornia Crassipes*.

Tabla 12.

Correlación de los parámetros fisicoquímicos del agua con la dominancia de la zona de influencia en época de lluvias y sequía.

Relación dominancia de la zona	Correlación con los parámetros fisicoquímicos del agua.				
	pH	Conductividad	temperatura	Turbiedad	Oxígeno disuelto
	-0,273	-0,759	-0,759	0,395	-0,893

Nota: valores negativos indican una correlación inversa, valores positivos indican correlación notable y fuerte cuando el valor es cercano a 1. Elaborado por el autor, 2024.

En este caso no hay una correlación importante entre los datos, solo en el caso de la turbiedad que aun así sigue siendo muy mínima, lo anterior significa que los parámetros que más aumentan a medida que las EM disminuyen su dominancia son: conductividad, temperatura y oxígeno disuelto esto se demostró con la poca cantidad de especie vegetales en época de sequía, donde hubo mayor conductividad y temperatura pero menor cantidad de especies encontradas, así mismo, en cuerpos donde su espejo de agua se encuentra cubierto por especies vegetales, en este caso el buchón de agua, el oxígeno disuelto disminuye, pero aumenta cuando las especies en la superficie van desapareciendo permitiendo el libre paso de los gases atmosféricos.

Por esta razón en la época de sequía se ve el aumento notorio de los valores de OD, puesto a que, muchos individuos flotantes habían desaparecido por el arrastre del viento y la disminución del nivel del agua permitiendo un espejo de agua libre de EM (Rojas, 2021).

A medida que las aguas empiezan su descenso comienzan a crecer especies que necesitan de la época de sequía para poder iniciar su proceso de crecimiento, puesto que estas utilizan la descomposición de la materia vegetal o la alta temperatura para su reproducción, este es el caso de la *Aizoaceae Sp* (Pérez, 2015).

7. CONCLUSIONES

Las especies Macrófitas con mayor captura de CO₂ contribuyendo significativamente al cuidado del medio ambiente, evitando el fenómeno del cambio climático y aportando un valor ecosistémico mayor fueron las especies conocidas como *Neptunia oleracea*, *Hymenachne Amplexicaulis*, *Eichornia Crassipes*, con respecto a este atributo ecológico la *Neptunia oleracea* es la macrófita que más CO₂ capturo, esto se debe a características como la biomasa acumulada de cada especie ya sea aérea o radicular, en la época de sequía la especie que más capturo CO₂ fue la *Aizoaceae Sp* una especie que apareció solo en esta época, aun así todas las especies representan un aporte significativo en la captura de este gas carbónico por lo que es necesario el cuidado de la zona para la preservación del estas.

Las características del agua si influyen en la cantidad de especies vegetales que se pudieron encontrar en los muestreos, así lo demostró la correlación de los parámetros fisicoquímicos del agua con la dominancia, en donde factores como la conductividad, el oxígeno disuelto y la temperatura al utilizar la correlación de Spearman para datos de distribución no normal demostraron ser inversamente proporcionales con el atributo ecológico evaluado, dando como respuesta que al aumentar los valores de dichos parámetros la cantidad de especies dominantes ira disminuyendo.

La época de sequía es desfavorable para la mayoría de macrófitas en los transeptos marcados, en esta época se presentó un menor número de ellas y una gran disminución principalmente en las que se encontraban en la zona limnética o flotantes como lo fue *Eichornia Crassipes* que obtuvo una disminución de individuos de más del 80% en esta época.

La especie que mayor dominancia presentó en toda la zona fue la *Eichornia Crassipes* especie que se encuentra principalmente en la zona limnética de la Ciénaga de Zapatosa, esta es una especie invasora, y su dominancia se debe a la amplia cantidad de individuos que se encontraban en conglomerado, además que, su presencia estaba alrededor de toda la zona de estudio.

Las especies con mayor biomasa aérea son las especies con mayor captura de CO₂, este es el caso de la *Neptunia oleracea* que en su estructura vegetal visible se pudo apreciar el tamaño de su tallo, el cual era más alto que el de las demás especies, así mismo, la biomasa aérea capturo siempre más CO₂ que la biomasa radicular en ambos muestreos.

El oxígeno disuelto en el agua aumenta a medida que la cantidad de EM flotantes disminuyen, las EM son un factor que puede influir en una disminución del oxígeno disuelto lo que impide la diversidad de animales acuáticos que ahí se puedan encontrar, además la descomposición de la biomasa también influye en la disminución del oxígeno disuelto en el agua, mostrando la correlación inversa de los parámetros del agua con los atributos biológicos.

Hubo una amplia desviación de los datos obtenidos en los parámetros fisicoquímicos del agua de un muestreo a otro, demostrando la variabilidad de la época de sequía a la época de lluvias lo que influyo de manera directa en la cantidad de especies encontradas, el único parámetro que mostró menos desviación fue el pH.

Las especies *Thymus Zygis* y *Eichornia Crassipes* prestan una característica ornamental ya que, fueron las únicas 2 especies que presentaron flores en su estructura vegetal, esta cualidad puede ser utilizada por los pobladores de cercanos a la zona para su comercialización por medio de un uso sostenible de ambas especies, puesto que, además de aportar significativamente al medio ambiente posee un valor ecosistémico necesario para la zona, trayendo consigo un valor decorativo.

La mayor cantidad de EM se encontraron en la zona litoral esparcidas de manera transversal a lo largo de todo el cuerpo de agua, aun así, la intersección del río Cesar con la Ciénaga de Zapatosa es un ecosistema en el cual al estar con la influencia directa del río hace que el constante arrastre del agua no permita que haya tanta variedad de EM y tampoco tanta abundancia, por eso otros humedales o zonas más alejadas a estas constantes mareas presentan mejores atributos biológicos.

Todas las EM presentan un porcentaje de humedad diferente, en las cuales la *Eichornia Crassipes* es la que mayor porcentaje de humedad tuvo, esto hace un efecto significativo en la temperatura y el tiempo que se ha de utilizar para poder secar todas las especies en el horno, después de haber realizado los 2 muestreos se concluyó que la temperatura apropiada para tener el peso seco de las EM de este proyecto fue una de 60 grados a un tiempo de 24 horas, tiempo después del cual todas salían secas.

La cantidad de CO₂ capturado en su totalidad para la época de lluvias fue de 1171,3263gr por m² y en la época de sequía fue de 654,4481gr/m², la época en la que más se

capturo CO₂ es en la época de lluvias esto va de la mano con la cantidad de especies que hubo de un muestreo a otro y la cantidad de biomasa aérea que se apreció en el periodo de lluvias y en el periodo seco en ambos casos obteniéndose datos mayores en la primera etapa.

Finalmente, de todo lo anterior se concluye que se cumplió con el objetivo de principal de la investigación y con cada uno de sus objetivos específicos que se habían propuesto inicialmente.



8. RECOMENDACIONES

Debido a los resultados obtenidos de las especies macrófitas en la captura de carbono y CO₂ se puede afirmar el valor ecosistémico que tiene la intersección del río Cesar con la Ciénaga de Zapatosa y su zona de influencia, si esos resultados se obtuvieron solo con especies que se tomaron de parcelas y cuadrantes propuestos al azar, la cantidad de carbono y dióxido de carbono que puede fijar toda la zona de la intersección debe ser mucho más significativa para un cuerpo de agua que comprende más de 400mil ha comprendidas en diferentes departamentos del Cesar, esto sobresalta un valor ecosistémico importante para contrarrestar los efectos provocados por el cambio climático y control de los gases que contribuyen al calentamiento global, mediante este proyecto se ratificó la importancia del uso sostenible de estas especies, pero a pesar de que este tipo de ecosistemas presenta una alternativa extra contra el cambio climático, es poco su conocimiento y línea base de este tema, por lo menos en el departamento del Cesar y mucho menor en el campo de estudio de la Universidad Popular Del Cesar

Por lo anterior, se recomienda que se realicen más proyectos como estos en más zonas de influencia de la CCZ, como lo pueden ser los municipios como Saloa o pueblos como Chimichagua y Chiriguana entre otros, así mismo, impulsar el desarrollo de estos proyectos para que las autoridades ambientales desarrollen medidas de uso sostenible que vayan de la mano con el cuidado de las EM, a su vez, los próximos estudiantes de las ciencias relacionadas al campo de la ingeniería ambiental puedan conocer fácilmente del aporte significativo que brindan este tipo de proyectos tanto para la comunidad local como de la región y toda a la que pueda llegar este proyecto.

No solo el aporte es de tipo ecosistémico sino de tipo ornamental por especies como la *Thymus Zygis* que posee flores en su tallo a las cuales se les puede dar adicional del que ya proveen solo por su existencia, o la *Eichornia Crassipes* la cual posee atributos importantes para la industria de elaboración de alimentos para animales de establos debido a la amplia cantidad de minerales que esta contiene en su estructura vegetal (Rojas, 2021).

Se recomienda en futuros muestreos en estos sitios realizar una valoración socioeconómica de los servicios ecosistémicos de la zona, para saber si las personas están

dispuestas a dar un pago monetario en contribución al cuidado de la ciénaga para conocer que tanto sentido de pertenencia y compromiso hay.

Dictar charlas a los pobladores que suelen rondar por la zona para que incentiven el cuidado de la zona y su preservación tanto como para las especies macrófitas como para el agua de la ciénaga de Zapatosa que también influye en estas.

Para obtener datos más precisos, cercanos a la realidad, al comportamiento de las especies macrófitas, las variaciones de los datos de pH, Oxígeno disuelto, diversidad, dominancia, correlaciones y distribución se recomienda realizar no solo un muestreo por temporada sino hasta 5 muestreos por época para obtener una mejor observación de cómo va variando la zona al cambiar los parámetros.

Los suelos de estos ecosistemas también cuentan con la característica de capturar carbono por lo que se recomienda en próximos trabajos realizar un análisis del carbono capturado en la biomasa aérea, biomasa radicular y en el suelo para luego proceder a realizar pruebas de suelo y hallar un carbono total sumando el aporte de la planta con el aporte de su suelo, así también se demostraría el cuidado del suelo como puede influir en el combate contra el calentamiento global.

Realizar las pruebas del agua en laboratorios con una mayor cantidad de implementos que permitan analizar mayor cantidad de parámetros para un estudio más completo en las características del agua para poder tener variables extras a correlacionar y conocimiento de que otros parámetros no estudiados en este proyecto pueden influir o no en los atributos biológicos de las especies macrófitas, esto con la intención de ampliar aún más el campo de investigación de proyectos como estos.

Utilizar temperaturas y tiempos variados dependiendo de las especies encontrada ayudara a tener un secado optimo, en este proyecto se recomienda la temperatura de 60 grados durante 24 horas para las especies que en el se mencionan.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuerdo N°003 de 2021 [Universidad Popular del Cesar]. Por medio del cual se adoptan las líneas de investigación de los programas de pregrado de la facultad de ingeniería y tecnológicas sede Valledupar, y se dictan otras disposiciones. 08 de julio de 2021.

Alcaldía Municipal de Chimichagua - Cesar, 2022 obtenido de: <https://www.chimichagua-cesar.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

Aldave, T., & Aponte, H. (2019). Estudio comparativo del porcentaje de carbono entre especies de flora vascular de los Pantanos de Villa (Lima-Perú). *Arnaldoa*, 26(2), 751-760.

ALDAVE, Telassim y APONTE, Héctor. 2019 Estudio comparativo del porcentaje de carbono entre especies de flora vascular de los Pantanos de Villa (Lima-Perú). *Arnaldoa* [online]. vol.26, n.2, pp.751-760. ISSN 1815-8242. <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26216>.

Alonso, S., Babino, Á., y Pellegrino, V. (2020). Fotosíntesis.

Alvis Ccoropuna, T. (2018). Almacenamiento de carbono en los humedales altoandinos del centro poblado Chalhuanca, Caylloma–Arequipa, 2017.

Atehortua, E. A., & Gartner, C. G. (2013). ESTUDIOS PRELIMINARES DE LA BIOMASA SECA DE EICHHORNIA CRASSIPES COMO ADSORBENTE DE PLOMO Y CROMO EN AGUAS. *Revista Colombiana de Materiales*, 1(N.4. abril de 2013.).

Ballesteros, H. B., y Aristizabal, G. L. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología (Bogotá, Colombia)*. 96p. <https://acortar.link/7SB5Fe>

Bonet, J. (2007). *Minería y desarrollo económico en el Cesar No85*. Banco de la República. Obtenido de: <https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-85.pdf>

Buckeridge, A. Y. (7 de abril de 2011). RESPUESTAS DE LAS PLANTAS ANTE LOS FACTORES AMBIENTALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL - REVISIÓN.

Colombia Forestal, vol.14(ISSN 0120-0739), vol.14 no.2. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392011000200006

Caicedo Villate, S. M., y Herrera Rivera, L. M. (2015) Determinación de la cantidad de CO₂ capturado y O₂ producido por los diferentes biotopos en el humedal Santa María del Lago. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2887/2015silviacaicedo.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Chang Ocaña, C., y Mandarachi Misari, L. M. (2021). Estimación de la captura de Carbono en las especies predominantes del humedal Tragadero-Junín. <https://repositorio.usil.edu.pe/items/adbe4bf3-5d80-4c57-82e0-af59fe860b2e/full>

Chinchia Fuentes, C. A. (2016). evaluación y monitoreo de la carga contaminante de las aguas residuales domesticas del municipio de chimichagua, cesar (doctoral dissertation).

Cirujano, S., Meco, A., y Cezón, K. (2011). Flora acuática: Macrófitos. Jornada de presentación del Tesoro Taxonómico para la clasificación del estado ecológico de las masas de agua continentales, TAXAGUA. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, España.

Comisión Nacional Forestal CONAFOR (2009). Manejo de vida silvestre. Obtenido de: <https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/manejo-de-vida-silvestre.pdf>

Convención Relativa a los humedales de Importancia Internacional, especialmente como hábitat de Aves Acuáticas – RAMSAR (2016). Introducción a la Convención sobre humedales (5ta ed.). Suiza: Secretaría de la Convención Ramsar.

Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). (1992). <https://www.cbd.int/undb/media/factsheets/undb-factsheets-es-web.pdf>

- Cruz, M. P., Estupiñán, A. C., Jiménez-Escobar, N. D., Sánchez, N., Galeano, G., & Linares, E. (2009). Etnobotánica de la región tropical del Cesar, Complejo Ciénaga de Zapatosa. Colombia diversidad Biótica VIII: media y baja montaña de la serranía de Perijá. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 417-47.
- Egea Tinoco, L. Gonzalo. (2017). Metabolismo de carbono y flujos de carbono orgánico disuelto (COD) en comunidades de angiospermas marinas: dependencia del estadio de colonización, eutrofización y factores relacionados con el cambio global. <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFichaConsulta.do?idFicha=506459#>
- Enríquez A. y Cremona M. (2017). Humedales patagónicos como reservorios de carbono. Una función poco reconocida en un mundo cambiante. Presencia N°67-2017. Serie de Divulgación N°3. Argentina
- Escobar, A. F. S., Ubaque, C. A. G., & Bohórquez, M. L. V. (2012). Identificación y evaluación de la contaminación del agua por curtiembres en el municipio de Villapinzón. Tecnura, 16, 185-193.
- Fernández, M. Y. (2017). Revisión de métodos para la estimación de captura de carbono almacenado en bosques naturales.
- García, J. y Ballesteros, M. (2005). Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos. Revista Colombiana de Química, 34(2)
- Hernández, Fernández y Baptista (2003), TEÓRIC, I. C. I. F. (2003). Metodología de la Investigación.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2020). INSTRUCTIVO DE TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS SEDIMENTOS Y AGUA SUPERFICIAL PARA LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL IDEAM
- Jaramillo, V. J. (2004). El ciclo global del carbono. Cambio climático: una visión desde México, 77.

Jiménez, C. M. J. (2016, 26 octubre). *La nociva llegada del río Cesar a la ciénaga Zapatosá*. El Pilón

| Noticias de Valledupar, El Vallenato y el Caribe Colombiano. <https://elpilon.com.co/la-nociva-llegada-del-rio-cesar-la-cienaga-zapatosa/>

Klotzli, F. (1993). *Ecosistema*. Handbuch zur Ökologie, pp. 288–295. Analytica, Berlin, Alemania.

LORENA, S. L. G. (2019). Factores que influyen en el pH del agua mediante la aplicación de modelos de regresión lineal. *Revista de la Universidad Internacional del Ecuador*, Vol. 4, No.2 pp. 59-71 (ISSN 2477-9024).

<http://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/index>

Luis Carlos Gutiérrez Moreno, Orlando Villa García, Walberto Troncoso Olivo DE, C. d. e. o., & retributiva, c. d. l. t. caracterización e impactos ambientales por vertimientos en tramos de la cuenca media y baja del río Cesar, Valledupar 2011.

Macías, D. G. (2022). *DETERMINACIÓN DE FACTORES FÍSICOQUÍMICOS EN CUERPOS LÉNTICOS EN EL PARAMO DEL MACIZO DE CALDAS*. Cuenca - Ecuador.

Maqbool C., Khan A. (2013). Biomass and Carbon Content of Emergent Macrophytes in Lake Manasbal, Kashmir: Implications for Carbon Capture and Sequestration. Department of Ecology and Environmental Sciences, Pondicherry Central University, Puducherry-605014, India.

Marco, L., Azario, R., Metzler, C., García, M. D., Marcó, L., y Azario, R. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 4(11). Obtenido de: [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf)

Medrano, R., Chupan, L., y Vila, M., (2012). Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha. *Apuntes de Ciencia y Sociedad*, 2(2), 110-117.

Merriam-webster. (2022). *Definición de pollution en el Merriam-Webster Online Dictionary*

Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M., & Jiménez, J. (2015). Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(5), 59-74.

Navarro, R. M. N., Espinosa Lloréns, Ma. del C., Gutiérrez., J. G., y Ruiz, M. R. (2005). *Validación de La Determinación de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas y Aguas Residuales*. Revista CENIC Ciencias Químicas, Vol. 36, No
<https://www.redalyc.org/pdf/1816/181620511015.pdf>

Organización de las naciones Unidas (ONU). (2015) *Objetivos de Desarrollo Sostenible*, obtenido de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>

Organización de las naciones Unidas (ONU). (2022) *Cambio Climático*. obtenido de: <https://www.un.org/es/climatechange/>

Paez Salamanca, D. L., y Roperó Rojas, S. Determinación estructural de la comunidad de macrófitas del humedal jaboque y su interacción con la calidad del agua como herramienta para la solución de la tendencia a la eutrofización.

Palomino y Cabrera Contreras, D. (2007). Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/800>

Pérez-Vásquez, N. D. S., Arias-Rios, J., & Quirós-Rodríguez, J. A. (2015). Variación espacio-temporal de plantas vasculares acuáticas en el complejo cenagoso del bajo Sinú, Córdoba, Colombia. *Acta biológica colombiana*, 20(3), 155-165.

Real Academia Española. (2022). *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed. <https://dle.rae.es>

ROJAS, A. D. R. M. (2021). *BUCHÓN DE AGUA (Eichhornia crassipes): UNA REVISIÓN*

BIBLIOGRÁFICA DE SU CAPACIDAD PARA REMOVER CONTAMINANTES DEL

AGUA [Artículo de revisión para optar al título de Ingeniera Ambiental,

UNIVERSIDAD

SANTO

TOMÁS].

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/31969/2021angierojas.pdf?sequ](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/31969/2021angierojas.pdf?sequence)

e

Sánchez, O. (2007). Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación.

Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México, 11.

Saumett, g. d. (2021). determinación del potencial de captura del carbono por macrófitas.

universidad del atlántico, puerto Colombia, atlántico.

Sequeiros Abarca, D., y Cazorla Galdos, J. (2020). Servicio ambiental de captura de carbono de los

bofedales del Centro Poblado Alto Perú, Tacna. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 2(2), 357 - 375.

<https://doi.org/10.47796/ing.v2i2.411>

Standard Methods. (2023). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Obtenido

de <https://www.standardmethods.org/>

Suárez Duque, D., Acurio, C., Chimbolema, S., y Aguirre, X. (2016). Análisis del carbono secuestrado

en humedales Altoandinos de dos áreas protegidas del ecuador. *Ecología Aplicada*, 15(2), 171-

177. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.756>

TORRES CERVERA, K. T., VANEGAS PADILLA, A. V., ROMERO BENJUMEA, L. B.,

CAHUANA MOJICA, A. C., ROYERO IBARRA, A. R., y RODRIGUEZ DÍAZ, Y. R. (2021,

21 junio). *lineamientos y guía orientadora para la estructuración y formulación del*

anteproyecto y proyecto de grado en el programa de ingeniería ambiental y sanitaria versión

003-2021.

TRUMPER K., BERTZKY M., DICKSON B., H HEIJDEN G., JENKINS M. y MANNING P. 2009.

¿La solución natural? El papel de los ecosistemas en la mitigación del cambio climático.

Evaluación rápida del PNUMA. UNEP-WCMC, Cambridge, UK.

WBGU. 1998. The accounting of biological sinks and sources under the Kyoto Protocol a step forwards or backwards for global environmental protection? German Advisory Council on Global Change (Consejo Consultivo Alemán sobre los Cambios Mundiales), Special Report, Bremerhaven.

World Wide Fund for Nature (WWF). (2019). *Cambio climático*. Disponible en:
<https://www.worldwildlife.org>.



6. ANEXOS

ANEXO 1. Llegada a la zona de muestreo.



ANEXO 2. Toma de muestras de biomasa.



ANEXO 3. Muestreo del agua.



ANEXO 4. secado de las especies y tamizado de las especies.



ANEXO 5. Certificado de ponencia de anteproyecto, The expo (nacional).

