

**EVALUACIÓN DE LA CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO DE LAS
MACRÓFITAS PREDOMINANTES EN LA CIENAGA DE ZAPATOSA ZONA DE
INFLUENCIA CHIRIGUANÁ, CESAR**



AUTOR:

ROBERTO CARLOS MARTINEZ ROMERO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2024

**EVALUACIÓN DE LA CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO DE LAS
MACRÓFITAS PREDOMINANTES EN LA CIENAGA DE ZAPATOSA ZONA DE
INFLUENCIA CHIRIGUANÁ, CESAR**

AUTOR:

ROBERTO CARLOS MARTINEZ ROMERO

DIRECTOR

YIM JAMES RODRIGUEZ DIAZ

DOCTOR EN EDUCACIÓN

ASESORES:

ELIANA MARGARITA MOSCOTE VIDES
INGENIERA AMBIENTAL Y SANITARIA

KARINA CASTELLANOS ROMERO
DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2024

DEDICATORIA

Con inmensa gratitud y cariño, dedico esta tesis de grado a mi padre, Franklin Javier Martínez Moreno, quien con su amor y consejo ha sido fuente constante de inspiración y apoyo en cada proceso de mi vida. Gracias a sus valores, trabajo y resiliencia ha trazado la ruta que con orgullo recorro. A mi madre, Rosmelia Romero, también le dedico este logro, por su enseñanza en la fe en Dios, la positividad y la bondad hacia los demás. A mi hermana, Steffany Julieth Martínez Romero, a quien dedico esta tesis por su constante ayuda. Por último, dedico esta tesis a mis abuelos paternos y maternos, los cuales con sus actos me levantaron y sostuvieron en los momentos de angustia y tristeza. Un reconocimiento especial para mi abuela Carmen Elena Moreno Maestre, quien siempre tuvo una sonrisa y abrazo reconfortante a mi disposición.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, elevo mi agradecimiento a Dios por haber permitido el desarrollo y culminación de este proyecto de grado. En cada paso realizado me ha guiado y me ha permitido avanzar con determinación y seguridad. A mi padre y madre, que por medio de sus sacrificios y amor han sentado las bases sobre la cual hoy me encuentro materializando la planificación de mi proyecto de vida. A mi querida hermana, cuyo respaldo y confianza me han fortalecido para seguir adelante.

Un agradecimiento especial a mis compañeros Edwar Daniel Cruz Lerma y Oscar Raúl Serna Villarreal, su amistad y colaboración ha sido un aspecto clave en el desarrollo de mi vida universitaria.

Con profundo respeto y admiración agradezco al director de esta tesis de grado, Yim James Rodríguez Díaz, quien junto a Eliana Moscote y Karina Castellanos, fueron guía fundamental en el desarrollo en esta investigación. Gracias.

Por último, agradezco a cada una de las personas no nombradas acá, pero que directa o indirectamente han sido de ayuda en mis procesos académicos y en la vida misma.

RESUMEN

La Ciénaga de Zapatosa es un ecosistema de gran importancia biológica debido a los servicios que provee al ambiente y a la población, a tal punto de ser incluido en la lista de humedales de importancia internacional para la conservación de la diversidad biológica. A pesar de esto, se encuentra amenazado debido a actividades como la agricultura, minería y vertimiento de aguas residuales; las cuales aumentan los nutrientes presentes en el agua, generando el ambiente idóneo para la presencia y desarrollo de macrófitas. Estas plantas tienen la capacidad de fijar el Dióxido de Carbono atmosférico y almacenarlo en sus estructuras en forma de carbono orgánico.

En la presente investigación se evaluó la captura de Dióxido de Carbono de las especies macrófitas predominantes en la Ciénaga de Zapatosa zona de influencia Chiriguaná, Cesar. Para lo cual se identificaron y muestrearon las macrófitas presentes en la zona, con el objeto de cuantificar la captura de Dióxido de Carbono presentada por cada especie.

La metodología utilizada para el muestreo y conocimiento de la distribución espacial de las macrófitas fue una adaptación al método del cuadrante y la cuantificación del Dióxido de Carbono capturado se realizó a través de los valores de materia orgánica obtenidos. En el punto seleccionado para la toma de muestra de macrófitas, también se realizó la toma de muestras de agua para la posterior caracterización de los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura del agua, transparencia Secchi.

Los muestreos fueron realizados en periodo seco y periodo lluvioso, de los cuales se registraron 5 especies de macrófitas en el periodo lluvioso y 3 especies de macrófitas en el periodo seco. La especie que presentó mayor captura de Dióxido de Carbono fue la especie *Neptunia oleracea*. Sin embargo, se identificaron diferencias en la captura para ambos periodos debido a la incidencia de los parámetros fisicoquímicos en los atributos ecológicos de las macrófitas. De acuerdo con los datos de captura de carbono, se concluyó que la Ciénaga de Zapatosa en la zona de influencia Chiriguaná, posee macrofitas con la capacidad de captura de Dióxido de Carbono atmosférico.

Palabras claves: Macrófitas, Cambio climático, Servicio ambiental, Dióxido de carbono.

ABSTRACT

The Ciénaga de Zapatosa is an ecosystem of great biological importance due to the services it provides to the environment and the population, to the point of being included in the list of wetlands of international importance for the conservation of biological diversity. Despite this, it is threatened due to activities such as agriculture, mining, and wastewater dumping, which increase the nutrients present in the water, creating the ideal environment for the presence and development of macrophytes. These plants have the capacity to fix atmospheric carbon dioxide and store it in their structures in the form of organic carbon.

In this research, the carbon dioxide capture of the predominant macrophyte species in the Ciénaga de Zapatosa zone of influence Chiriguaná, Cesar, was evaluated. For this purpose, the macrophytes present in the area were identified and sampled in order to quantify the carbon dioxide capture presented by each species.

The methodology used for the sampling and knowledge of the spatial distribution of the macrophytes was an adaptation of the quadrat method and the quantification of the Carbon Dioxide captured was carried out through the values of organic matter obtained. At the point selected for macrophyte sampling, water samples were also taken for subsequent characterization of the following physicochemical parameters: pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, water temperature, Secchi transparency.

*Sampling was conducted in dry and rainy periods, of which 5 species of macrophytes were recorded in the rainy period and 3 species of macrophytes in the dry period. The species that presented the highest carbon dioxide capture was *Neptunia oleracea*. However, differences were identified in the capture for both periods due to the incidence of physicochemical parameters on the ecological attributes of the macrophytes. According to the carbon sequestration data, it was concluded that the Ciénaga de Zapatosa in the Chiriguaná area of influence has macrophytes with the capacity to capture atmospheric carbon dioxide.*

Key words: *Macrophytes, Climate change, Environmental service, Carbon dioxide.*

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
3. OBJETIVOS	6
3.1. GENERAL.....	6
3.2. ESPECÍFICOS.....	6
4. MARCO REFERENCIAL.....	7
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
4.2. MARCO TEÓRICO.....	9
4.2.1. <i>Sistemas lóticos</i>	9
4.2.2. <i>Sistemas lénticos</i>	9
4.2.3. <i>Humedal</i>	10
4.2.4. <i>Macrófitas</i>	10
4.2.5. <i>Fotosíntesis</i>	10
4.2.6. <i>Ciclo del carbono</i>	11
4.2.7. <i>Fijación de carbono</i>	11
4.2.8. <i>Muestras de agua</i>	12
4.2.9. <i>Muestras de biomasa aérea</i>	12
4.2.10. <i>Muestras de biomasa radicular</i>	12
4.3. MARCO CONCEPTUAL	12
4.3.1. <i>Cambio climático</i>	12
4.3.2. <i>Gases de efecto invernadero</i>	12
4.3.3. <i>Biodiversidad</i>	13

4.3.4.	<i>Ecosistema</i>	13
4.4.	MARCO CONTEXTUAL	13
4.5.	MARCO LEGAL.....	15
5.	MARCO METODOLÓGICO.....	16
5.1.	LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN.....	16
5.2.	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
5.3.	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
5.4.	POBLACIÓN DE ESTUDIO	16
5.5.	MUESTRA POBLACIONAL	16
5.6.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
5.7.	ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO	17
5.7.1.	<i>Etapas 1: identificación de las macrófitas predominantes y las características del agua en su entorno.</i>	17
5.7.2.	<i>Etapas 2: estimación la cantidad de CO₂ almacenado en la biomasa aérea y radicular de las plantas macrófitas predominantes.</i>	19
5.7.3.	<i>Etapas 3: correlación de los atributos ecológicos de las macrófitas con los parámetros fisicoquímicos del agua del CCZ, zona de influencia del municipio de Chiriguana, Cesar.</i>	22
6.	RESULTADOS Y ANALISIS	23
6.1.1.	<i>Ubicación</i>	23
6.1.2.	<i>Identificación de macrófitas</i>	25
6.1.3.	<i>Establecimiento de puntos de muestreo de agua</i>	31
6.1.4.	<i>Recolección de muestras de agua</i>	31
6.1.5.	<i>Caracterización de las muestras de agua</i>	32
6.2.1.	<i>Recolección de muestras de biomasa aérea y radicular</i>	36
6.2.2.	<i>Secado de las especies macrófitas:</i>	36
6.2.3.	<i>Cuantificación de la cantidad de carbono en EM:</i>	38

6.3. CORRELACIÓN DE LOS ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE LAS MACRÓFITAS CON LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA DEL CCZ, ZONA DE INFLUENCIA DEL MUNICIPIO DE CHIRIGUANÁ, CESAR.	42
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES.....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
ANEXOS	57

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Reacción química de la fotosíntesis	11
Figura 2. Ubicación del municipio de Chiriguaná, Cesar	14
Figura 3. Ubicación del municipio del punto de muestreo y el municipio de Chiriguaná, Cesar	24
Figura 4. Imágenes del lugar de muestreo en el periodo seco y lluvioso	24
Figura 5. Distribución espacial de las macrófitas en periodo seco	26
Figura 6. Distribución espacial de las macrófitas en periodo lluvioso	26
Figura 7. <i>Eichhornia crassipes</i>	28
Figura 8. <i>Ludwigia helminthorrhiza</i>	29
Figura 9. <i>Neptunia Oleracea</i>	30
Figura 10. <i>Hymenachne amplexicauli</i>	30
Figura 11. <i>Ceraptopteris sp</i>	31
Figura 12. Diferencias de cobertura de macrófitas en periodo lluvioso y periodo seco	34

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Marco legal aplicable al proyecto	15
Tabla 2. Equipos y métodos utilizados en la medición de parámetros	19
Tabla 3. Cobertura de macrófitas en el periodo lluvioso	27
Tabla 4. Cobertura de macrófitas en el periodo seco	27
Tabla 5. Datos fisicoquímicos del agua	32
Tabla 6. Datos de peso húmedo de macrófitas.....	36
Tabla 7. Datos de peso seco de macrófitas	37
Tabla 8. Porcentajes de contenido de humedad de macrófitas	37
Tabla 9. Datos de peso calcinada de macrófitas	38
Tabla 10. Estimación de captura de Dióxido de carbono por macrófitas en periodo lluvioso	39
Tabla 11. Estimación de captura de Dióxido de carbono de macrófitas en periodo seco.....	41
Tabla 12. Coeficientes de correlación de Spearman entre variables fisicoquímicas del agua para periodo seco y lluvioso	42
Tabla 13. Atributos ecológicos de macrófitas muestreadas en periodo lluvioso y seco	43
Tabla 14. Coeficientes de correlación de Spearman entre los atributos ecológicos y los parámetros fisicoquímicos del agua para el periodo lluvioso	44
Tabla 15. Coeficientes de correlación de Spearman entre los atributos ecológicos y los parámetros fisicoquímicos del agua para el periodo seco	44

INTRODUCCIÓN

Se ha hecho evidente el aumento de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) debido al desarrollo de actividades antropogénicas relacionadas con el sector industrial y los modelos económicos predominantes (IPCC, 2007). Este aumento tiene implicaciones a nivel internacional, nacional, regional y local; por esto la problemática representa un reto para las autoridades ambientales y para centros poblados afectados.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la captura de CO₂ de las Especies Macrófitas (EM) predominantes en el Complejo Cenagoso de Zapatosa (CCZ) zona de influencia Chiriguana-Cesar, y su desarrollo permitió aportar al campo de la ingeniería y la comunidad científica información útil sobre dicha temática, debido a las pocas investigaciones encontradas al respecto. Además, a partir de esta se buscó aumentar el reconocimiento del CCZ como fuente de captación de CO₂ emitido por los departamentos en los que se encuentra localizada.

De esta misma manera, la investigación se desarrolló en un periodo de aproximadamente 12 meses y el análisis de muestras tuvo lugar en las instalaciones de laboratorios del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar de acuerdo con metodologías soportadas por fuentes como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). El método para la estimación de Carbono fue el sugerido por los autores Caicedo y Herrera, acompañado por metodologías de muestreo y tratamiento de muestras.

Posterior a la obtención de los datos resultantes del tratamiento de muestras se realizó la correlación de algunas de las características fisicoquímicas del agua de la zona de estudio, como lo son el potencial de Hidrógeno (pH), oxígeno disuelto, turbiedad, temperatura del agua y conductividad con atributos ecológicos de las EM encontradas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el transcurso de los últimos años se han incrementado las emisiones de CO₂, y consigo la de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Según el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) las emisiones de GEI como el CO₂, Óxido Nitroso (N₂O) y Metano (CH₄) han aumentado debido a las actividades antropogénicas desarrolladas desde el año 1760, fecha que remarca los inicios de la revolución industrial.

El desarrollo de las emisiones de CO₂ se debe principalmente al uso de combustibles fósiles, deforestación e incendios (Montero et al., 2005), además de la liberación de grandes cantidades del gas por la degradación de los humedales, lo cual contribuye con el aumento de la temperatura atmosférica y, por ende, el cambio climático (Palomino et al., 2008). Este cambio de la temperatura global genera la pérdida de la biodiversidad de bosques, humedales, lagos, entre otros. Además de que repercute en el funcionamiento de los ecosistemas y de los medios de vida que dependen de la misma (FAO, 2017).

En este mismo sentido, Benavides et al. (2007) mencionan que en Colombia las principales causales del cambio climático son las actividades relacionadas con la agricultura y la ganadería extensiva e intensiva, estudios realizados para el Segundo Reporte Bienal de Actualización de GEI ante la Convención del Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC), afirman que en el año 2017 los sistemas ganaderos en Colombia generaron aproximadamente 54.3 Mton CO₂-eq, lo que representa el 21% de las emisiones totales del país.

Estas emisiones tienen consecuencias como el aumento de enfermedades, lluvias y sequías extremas, pérdida de la biodiversidad y derretimiento de los glaciares. Según el IDEAM (2004), los glaciares colombianos pierden entre 50 centímetros y un metro de espesor al año, provocando el aumento en promedio de 1.8 milímetros (mm) del nivel del mar por año, esto desde 1960; en los últimos diez años la cifra ha ascendido a 3.1 mm, generando que en las costas colombianas el nivel medio del mar haya aumentado 10 cm en el caribe y 22 cm en el pacífico.

A nivel regional, con base a estudios realizados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2021) se tiene que el Producto Interno Bruto (PIB) del Departamento del Cesar se encuentra integrado en un 38,8% por las actividades mineras, las cuales en su mayoría son desarrolladas en el llamado “corredor minero” conformado por los municipios de La Jagua de Ibirico, Becerril, Chiriguaná y El Paso.

El aporte de la minería en el Departamento del Cesar no solo ha sido económico-social debido a la generación de empleo, sino que, de acuerdo con la Agencia Nacional de Minería, las actividades mineras son emisoras de gases como el CO₂, Monóxido de Carbono (CO), Ácido Sulhídrico (H₂S), Anhídrido Sulfuroso (SO₂), Óxido Nítrico (NO) y Dióxido De Nitrógeno (NO₂); lo cual intensifica la problemática ambiental del cambio climático.

De acuerdo con la situación expuesta, se plantea al CO₂ como un gas representativo en lo que concierne al cambio climático y al calentamiento global, por lo tanto, el uso de EM podría ser una alternativa para disminuir dicha problemática, ya que cuentan con la capacidad de fijar CO₂ y almacenarlo en forma de carbono orgánico (Medrano et al., 2012).

Por lo anterior se contará como zona de estudio el CCZ zona de influencia Chiriguaná-Cesar debido a que en esta se encuentran EM con funciones relacionadas al almacenamiento y retención de carbono, aportando valor y beneficios ecológicos para el ecosistema. Por lo que el objetivo de la presente investigación será evaluar la captura de CO₂ de EM presentes en la zona de influencia anteriormente mencionada.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con esto se pretende dar respuesta al siguiente interrogante: ¿Cuál es la capacidad de captura de CO₂ de las EM predominantes en el área geográfica de la cuenca baja del Río Cesar?

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Las EM son organismos de vital importancia por el papel que desempeñan en los ecosistemas, de acuerdo con Caicedo y Herrera (2015) estas proporcionan un hábitat, protección y alimento para diferentes especies tanto acuáticas como terrestres, tienen un uso primordial en la depuración de aguas de efluentes contaminados y sirven de materia prima para algunas empresas, a su vez son un factor llamativo en lo que corresponde al desarrollo sostenible y variabilidad climática.

Lo anterior es importante ya que en la zona de influencia de Chiriguaná-Cesar se realizan vertimientos de agua residuales municipales. Caicedo y Herrera (2015) afirman que las EM son excelentes bioindicadores que ayudan a establecer la calidad del agua del entorno gracias a su capacidad de acumular sustancias tóxicas.

De igual manera, Duque et al. (2016) resalta la importancia de la protección de estos ecosistemas a nivel global por su labor en el almacenamiento de carbono y la baja descomposición de la materia orgánica que cumplen las especies vegetales y suelos presentes en este.

Lo expuesto nos hace considerar el aporte de las EM a nivel nacional e internacional en el cumplimiento del objetivo 13 “acción por el clima” y el objetivo 15 de “vida de ecosistemas terrestres” trazados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) al 2030, y los objetivos trazados por el gobierno, el cual pretende reducir las emisiones de GEI en un 51% para el mismo año (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). Por lo cual, es necesaria la búsqueda de alternativas que contribuyan al cumplimiento de las metas mencionadas, por esto, la investigación de esta temática adquirió importancia.

Esta investigación tuvo como intención identificar las EM predominantes en la zona de influencia, conocer la cantidad de CO₂ que capturan y correlacionar las características del agua que las rodea con su actividad ecosistémica. Lo anterior permitió informar a las poblaciones aledañas el beneficio ambiental de las EM, ya que algunas empresas utilizan estas EM como materia prima y algunas personas como alimento o fines medicinales.

Cabe resaltar que fue importante realizar esta investigación debido a la baja cantidad de información que se dispone sobre la captación o almacenamiento de carbono en los humedales (Chang & Mandarachi, 2021), específicamente en la zona a estudiar. Siendo esto de gran relevancia debido a que el CCZ comprende un área entre dos departamentos como lo es Cesar y Magdalena, razón por la cual los conocimientos aquí generados sirven como fuente de aprovechamiento para dos departamentos y aportan a la ampliación de la línea base de la temática y de los proyectos presentados en la Universidad Popular del Cesar.

El desarrollo de esta investigación permite conocer el beneficio ambiental que aportan las EM, lo cual promueve la preservación y mejoramiento por parte de las autoridades ambientales regionales por medio de la correcta ejecución de planes de manejo.



3. OBJETIVOS

3.1.GENERAL

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

3.2.ESPECÍFICOS

- Identificar las macrófitas predominantes y las características del agua en su entorno.
- Estimar la cantidad de CO₂ almacenado en la biomasa aérea y radicular de las macrófitas predominantes vivas.
- Correlacionar los atributos ecológicos de las macrófitas con los parámetros fisicoquímicos del agua del CCZ, zona de influencia del municipio de Chiriguaná, Cesar.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Mita (2019), en la tesis “Evaluación de la captura de carbono en los bofedales de la laguna de Conococha en base a la especie de flora predominante del área de estudio - Provincia de Recuay - Departamento de Ancash” realizó una investigación con el objetivo de evaluar la capacidad de captura de carbono de los bofedales de la laguna de Conococha en base a las especies de flora predominante. Con respecto a su metodología, se escogió y delimitó el área de estudio utilizando imágenes satelitales y posteriormente en campo se determinó las especies de flora predominantes para luego hallar su captura de carbono, se concluye que *Distichia filamentosa* B. tuvo una captura de carbono arbustivo de 14.3316 tC/ha. La biomasa subterránea fue de 108.4632 t/ha y captura de carbono radicular de 48.8084 tC/ha, haciendo un total de captura de carbono vegetal de 63.1401 tC/ha. El aporte directo de la tesis a la presente investigación fueron los lineamientos para la toma de muestras radiculares de las EM.

Chang & Madariachi (2017), realizaron la investigación llamada “Estimación de la captura de carbono en las especies predominantes del humedal Tragadero-Junín” con la finalidad de evaluar la capacidad de captura de carbono de las especies predominantes en el humedal Tragadero-Junín, en el desarrollo metodológico se consideraron 12 puntos de muestreo y la recolección de muestra de las especies vegetales y el suelo se llevó a cabo siguiendo los lineamientos del Centro Mundial Agroforestal. Los resultados de esta investigación fueron que las especies vegetales capturaron 342.45 tC/h mientras que en el suelo se encontraban almacenados 193.60 tC/h. Por lo tanto, el reservorio de CO₂ en el humedal Tragadero en mayo del 2021 es de 4,095.14 tCO₂/h, El aporte directo al presente estudio fue la metodología que se siguió para la identificación y clasificación de las especies vegetales.

Sequeiros & Cazorla (2020), en la investigación titulada “Servicio ambiental de captura de carbono de los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, Tacna” tomaron como objetivo estimar el carbono capturado como parte del servicio ambiental de regulación en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, para cumplir con este objetivo realizaron la toma de muestras

siguiendo los lineamientos del Centro Mundial Agroforestal (2009) tomando tres tipos de muestras; biomasa aérea, turba/necromasa y suelo orgánico con el fin de calcular el carbono orgánico almacenado, posteriormente se usaron análisis de laboratorio para la determinación de la fracción de carbono y densidad aparente del suelo para luego hallar el almacenamiento de carbono total, como resultados tuvieron que el carbono total almacenado fue 157,18 tC/h, demostrando con esto que los bofedales tienen un alto potencial de captura de carbono. El aporte a esta investigación fue la constante que se utilizó para hallar la cantidad de dióxido de carbono por unidad de área.

Caicedo y Herrera (2015), en la investigación titulada “Determinación de la cantidad de CO₂ capturado y O₂ producido por los diferentes biotipos en el humedal Santa María del Lago” realizaron la identificación de macrófitas presentes en la zona de estudio con el objetivo de comparar la producción de oxígeno (O₂) y la captación de Dióxido de Carbono (CO₂). Para lo anterior utilizaron el método de razón molar, para la determinación cuantitativa de O₂ y CO₂, en la determinación del oxígeno disuelto en los diferentes biotopos seleccionados usaron el método Winkler modificado a través del uso de un kit de oxígeno disuelto mediante el cual realizaron muestreo in situ. En su investigación también desarrollaron un modelo matemático con ayuda del programa MATLAB en el cual compararon la producción de CO₂ y O₂ de cada especie de macrófitas. Como resultado obtuvieron que la especie que capturó más CO₂ y que produce más O₂ fue el Bastoncillo amarillo (*Bidens laevis*). El aporte directo de esta investigación fue las ecuaciones utilizadas para la estimación de biomasa.

Alvis (2018), estimó el contenido de carbono en los humedales altoandinos del centro poblado Chalhuanca, Caylloma - Arequipa. En la metodología de la investigación se realizó un muestreo en octubre del 2017, donde se usó la imagen satelital LandSat 8 ubicó 30 puntos de muestreo en manera aleatoria, visualizando todos los datos con el software QGIS. Se tomaron las muestras y se enviaron al laboratorio donde se determinó el contenido de carbono orgánico presente en la biomasa aérea, suelo orgánico, bajo suelo y suelo mineral mediante el método Walkey-Black. Como resultados se obtuvo el carbono total almacenado con relación al área total del bofedal de Chalhuanca, estimada en 882.54 ha, es de aproximadamente 795 415. 65 TCO₂.

Los aportes directos a la investigación fueron las recomendaciones que hace el autor sobre el uso del software QGIS para la ubicación de puntos.

Suárez et al. (2016), en su trabajo de investigación analizaron el potencial de captura de carbono en los humedales la Reserva Ecológica Antisana (REA) y el Parque Nacional Cajas (PNC) del Ecuador. En su desarrollo metodológico cuantificaron la contribución de cada humedal a la captura de carbono orgánico. Esta fue evaluada a través de un muestreo sistemático con trabajo de campo y laboratorio, en el cual se intervinieron 3 humedales presentes en las áreas protegidas los cuales contaban con diferentes estados de conservación. Sus resultados exponen que el carbono orgánico total de los humedales de la REA tiene una media 683.01 ± 284.64 mientras, en el PNC la media fue de 320.06 ± 95.09 . Los aportes directos de esta investigación fue la forma en la cual realizaron el muestreo a través de cuadrantes que atravesaban la zona a estudiar.

4.2.MARCO TEÓRICO

A continuación, se presenta aquellos aspectos teóricos relacionados con la temática a desarrollar.

4.2.1. Sistemas lóticos

Son aquellos que siguen una sola dirección en entorno a la topografía o pendiente predominante, son de vital importancia para las diferentes especies vegetales y animales dependiendo de la pendiente del terreno. Según Sánchez et al. (2007) cuando estos sistemas tienen pendientes suaves hay mayor sedimentación favoreciendo el crecimiento de comunidades planctónicas y especies acuáticas. Caso diferente a los cuerpos loticos con pendiente fuerte donde la cantidad de oxígeno disuelto aumenta y su agua es más clara.

4.2.2. Sistemas lénticos

Para Sánchez et al. (2007) estos cuerpos de agua son ecosistemas cerrados que no vierten sus aguas, lo que favorece al crecimiento de especies con poca necesidad de Oxígeno gracias a sus profundidades a las cuales la luz solar no llega.

4.2.3. Humedal

Clasificados entre los ecosistemas lénticos, estos cuentan con características tanto para especies acuáticas como terrestres donde el agua es el elemento fundamental que controla la vida existente en el ecosistema. Los humedales cuentan con diversas funciones gracias a sus características de cuerpos lenticos, sirven para amortiguar crecientes y detener inundaciones a su vez, la gran diversidad de especies vegetales que llegan a aparecer en ellos debido a la concentración o sedimentación de nutrientes sirven de sumideros de CO₂ favoreciendo a la regulación del clima (Caicedo y Herrera, 2015).

4.2.4. Macrófitas

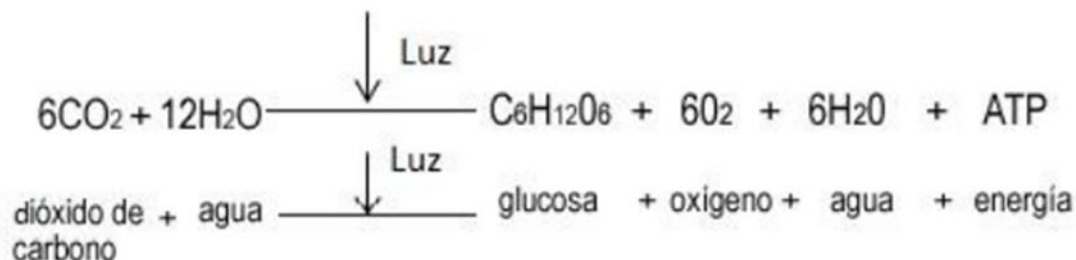
Son las principales causantes de la función captadora de CO₂ presente en los humedales, entre estas especies podemos diferenciar sus tipos según a su crecimiento puesto que todas son macrófitas no todas crecen en iguales condiciones, algunas solo crecen debajo del espejo de agua, otras emergen, crecen directamente sobre el suelo del humedal o encima del espejo de agua sin tener sus raíces unidas al sustrato (suelo), estas son consideradas el inicio de la cadena trófica en estos ecosistemas dado que en ellas se da la fotosíntesis (Caicedo y Herrera, 2015).

4.2.5. Fotosíntesis

La materia orgánica o biomasa de las plantas macrófitas en este caso, convierten el CO₂ atmosférico en un compuesto complejo llamado glucosa (C₆H₁₂O₆) además de otros productos de este proceso como Oxígeno O₂ y agua, esto se da en presencia de luz solar por ende es más evidente la función captadora de CO₂ en aquellas plantas superficiales y emergentes, una vez la luz solar llega a las hojas esta penetra su estructura para llegar a los cloroplastos y efectuarse el proceso en las células Mesofílicas. El proceso se describe de mejor manera en la figura 1. (Caicedo y Herrera, 2015).

Figura 1.

Reacción química de la fotosíntesis



Nota. La figura presenta la reacción química de la fotosíntesis. Tomado de Caicedo & Herrera, 2015.

4.2.6. *Ciclo del carbono*

Los seres vivos juegan un papel importante en él, como lo es el caso de las plantas quienes toman el carbono que se encuentra en el CO₂ atmosférico, llegando a formar parte de un porcentaje de la composición de la biomasa vegetal mediante la fotosíntesis que estas realizan, dicho carbono al unirse con el agua forma carbohidratos, al mismo tiempo que se libera oxígeno a la atmosfera, de lo anterior solo un resto se queda en la planta, otro se libera a través de partes de ella y una última fracción de ese carbono es consumida por los animales, los cuales junto con las especies de flora son descompuestos por microorganismos encontrados en el suelo para mediante ese proceso el gas sea devuelto a la atmosfera acabando con el ciclo (Orellana et al., 2012).

4.2.7. *Fijación de carbono*

Este se encuentra en todo el ciclo biogeoquímico del carbono y sucede principalmente por la acción de las plantas macrófitas y el suelo, el primer agente de cumplir esta función son las especies vegetales convirtiéndolo en O₂ mediante la acción de la fotosíntesis llegando a conformar un 50% de la biomasa vegetal, después es el suelo en el cual este se llega a transformar en metano gracias la acción de microorganismos anaerobios que se encuentran en estos, en los suelos inundados de los humedales este carbono dura retenido más tiempo por esta misma razón (Caicedo y Herrera. 2015). Para hallar el carbono fijado por las especies vegetales podemos encontrar diferentes métodos.

4.2.8. Muestras de agua

Mediante el método simple tomándose muestras en un lugar y tiempo determinado el tipo de muestra a realizar dependerá de la finalidad del parámetro a analizar siguiendo los fundamentos metodológicos propuestos la guía metodología para toma de muestras en fuentes de agua superficiales del IDEAM (2020).

4.2.9. Muestras de biomasa aérea

Mediante el método de establecimiento de parcelamientos tomándose las muestras con la técnica del muestreo aleatorio simple, es decir que todos los sujetos contenidos dentro de la población tienen la misma posibilidad de ser seleccionados, técnica realizada en antecedentes similares a la investigación justificando la escogencia de este para el proyecto (Suárez et al., 2016).

4.2.10. Muestras de biomasa radicular

Según antecedentes previamente consultados se recomienda para la toma de este tipo de biomasa la designación de cuadrantes que permitirán la recolección de las muestras radiculares a las profundidades recomendadas por los antecedentes (Mita. 2019).

4.3. MARCO CONCEPTUAL

En este apartado se definirán aquella terminología de mayor uso en la investigación.

4.3.1. Cambio climático

Este es la variabilidad de los datos estadísticos registrados de las condiciones climáticas de la tierra que se han mantenido durante mucho tiempo (IPCC, 2007).

4.3.2. Gases de efecto invernadero

Son gases emigrantes de la atmósfera, pueden ser de origen natural y antrópico, este tipo de compuestos absorben y dispersan la radiación por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes (IPCC, 2007).

4.3.3. Biodiversidad

Hace referencia a los tipos de vida de un área, la variedad de especies animales, vegetales e incluso microorganismos (WWF, 2019).

4.3.4. Ecosistema

Conjunto de comunidades vegetales, animales y de microorganismos, y su medio biótico y abiótico que interactúan entre sí (Convenio Sobre Diversidad Biológica, 1992).

4.4.MARCO CONTEXTUAL

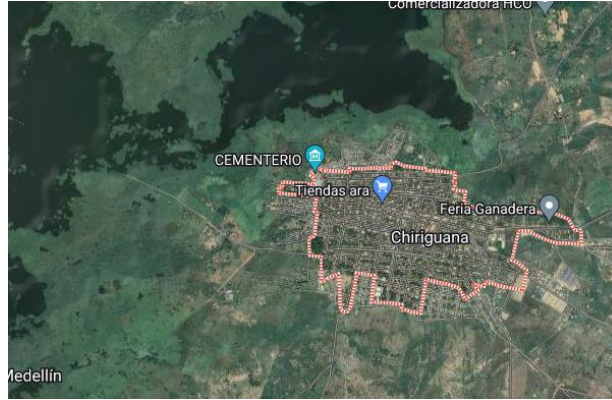
Chiriguaná es un municipio situado al centro del departamento del Cesar; hace parte de los municipios que conforman el corredor minero de la región, es por esto por lo que se encuentra caracterizada por las actividades minera que se realizan en este, principalmente la explotación de carbón en minas de cielo abierto. Geográficamente el municipio de Chiriguaná está ubicado a los 9°, 22 minutos de latitud Norte, 37 minutos de longitud Este de Greenwich, posee una temperatura media de 30°C y topográficamente cuenta con zonas montañosas con elevaciones de hasta 1500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), su cabecera municipal sobre una planicie de unos 40 m.s.n.m (Alcaldía Municipal de Chiriguaná, 2020)

La extensión territorial del municipio de Chiriguaná es de alrededor de 1.131,59 km² de zona geográfica. Está situado al oeste, en el pie de la Serranía del Perijá. Su parte oriental posee diversas zonas de nacimientos de agua, además, cuenta con diversidad de pisos térmico y climas variados. Chiriguaná, limita por el norte, con los municipios de El Paso y La Jagua de Ibirico, por el sur con el municipio de Curumaní, por el occidente con el municipio de Chimichagua, y por el oriente con la república de Venezuela (Alcaldía Municipal de Chiriguaná, 2020).

Las principales actividades económicas del municipio son la agricultura (maíz, sorgo, yuca, café, caña de azúcar, plátano y arroz), la minería (carbón) y la ganadería (Alcaldía Municipal de Chiriguaná, 2020).

Figura 2.

Ubicación del municipio de Chiriguaná, Cesar



Nota. La imagen representa la ubicación geográfica del municipio de Chiriguaná-Cesar. Tomado de Google Maps, 2023.



4.5.MARCO LEGAL

Seguidamente se expondrá la normatividad relacionada con la temática.

Tabla 1.

Marco legal aplicable al proyecto

Normativa	Descripción	Aplicación
Convención RAMSAR, 1971	Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas.	Por medio del desarrollo de esta investigación se promoverá la conservación del CCZ.
Convenio Sobre la Diversidad Biológica (CDB), 1992	Medidas para la conservación y el desarrollo sostenible.	Este convenio incrementa el interés de esta investigación debido al ecosistema en donde se desarrolló.
Constitución Política de Colombia, 1991	Art 63. Bienes públicos. Art 79. Derecho a un ambiente sano. Art 80. Manejo y aprovechamiento de los recursos naturales	La ejecución de este proyecto se encuentra fundamentada en los artículos descritos, debido a la identificación de servicios ecosistémicos prestados por las EM.
Ley 165 de 1994	Aprobación del Convenio sobre la Diversidad Biológica de 1992	En esta ley se amplía el marco normativo que cobija a zonas con amplia diversidad biológica, como lo es el CCZ.
Ley 357 de 1997	Aprobación de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas.	Esta ley incrementa la importancia de este proyecto debido al reconocimiento internacional del CCZ como zona de intercambio biológico.
Decreto-Ley 2811 de 1974	Código de los Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente.	A partir del desarrollo de esta investigación se expondrá la importancia de la protección de este tipo de ambientes.
Decreto 1594 de 1984	Usos de agua en los humedales.	Este decreto aporta las bases para el uso del agua del lugar de muestreo.
Decreto 190 de 2004	Artículo 96. Definición de los usos de los humedales.	El aporte de este decreto a la investigación fue el correcto proceder en la zona para su cuidado.
Resolución 196 de 2006	Guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia.	Esta resolución es importante debido a que servirá de apoyo para brindar recomendaciones y conclusiones del proyecto.

Nota. En la tabla se encuentran la normatividad aplicable al proyecto, las cuales se deben tener en cuenta para el desarrollo de este. Elaborado por autor, 2024.

5. MARCO METODOLÓGICO

A continuación, se expondrá la metodología seguida para dar un orden claro a los hechos, fenómenos encontrados y resultados obtenidos. Se verá de manera explícita las etapas y actividades que permitieron cumplir con los objetivos principales y específicos planteados.

5.1.LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación que compete es la que confiere al Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar de la facultad de ingenierías y Tecnológicas que lleva como nombre “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 al cuál se encuentra adscrita esta investigación es a la de “Ecosistemas estratégicos para la conservación y desarrollo de la región” (Torres et al., 2021).

5.2.ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de esta investigación es cuantitativo ya que se buscó la obtención de datos numéricos para su posterior correlación con otras variables en un ámbito objetivo y por medio de procedimientos realizados en laboratorio (Hernández et al., 2014).

5.3.ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de esta investigación fue correlacional ya que buscó evaluar la relación o grado de asociación entre distintas variables como lo fueron los parámetros fisicoquímicos del agua con la abundancia, distribución y características de las EM predominantes en la zona de estudio (Hernández et al., 2014).

5.4.POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio corresponde a las EM predominantes encontradas en la zona de influencia de Chiriguaná-Cesar en periodo seco y periodo lluvioso.

5.5.MUESTRA POBLACIONAL

La muestra poblacional es no probabilística ya que todos los individuos de la población no tenían las mismas posibilidades de ser seleccionados.

5.6.DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Hernández et al. (2003) se puede afirmar que el diseño fue de tipo no experimental dado que solo se pretende observar los fenómenos ocurridos en el lugar para luego ser analizados también según Sampieri (2003) se puede decir que gracias al tiempo requerido en el que serán tomadas las muestras se cuenta con un diseño Transversal.

5.7.ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO

Para llevar a cabo esta investigación fueron planteadas las siguientes etapas y actividades:

5.7.1. Etapa 1: identificación de las macrófitas predominantes y las características del agua en su entorno.

Actividad 1.1. Ubicación:

Se especificó la entrada al sitio y ubicación de este con sus coordenadas mediante la utilización del software QGIS recomendado por Alvis, T. (2018) para resaltar en mapas el lugar de muestreo.

La entrada al lugar de muestreo se realizó de forma vehicular, en el lugar conocido como “Puerto de Chiriguaná”, una vez situados se procedió a escoger el punto en el cual se realizarían los muestreos de agua y EM, de acuerdo con la cantidad de EM presentes y la accesibilidad al mismo. En el periodo de lluvias el traslado hacia el punto de muestreo se realizó caminando ya que la vía se encontraba inundada y con barro, por lo que se requirió de botas pantaneras para el acceso, caso contrario a la temporada seca en la que se pudo llegar a cercanías del punto utilizando el vehículo.

Actividad 1.2. Identificación de macrófitas:

La identificación de EM en la zona de muestreo se realizó a simple vista y se utilizó como guía fotografías encontradas en catálogos forestales (Chang & Mandarachi, 2021) y en referentes en los cuales se hayan realizado inventarios de EM en lugares similares. Posterior a esto, se registró en mapas de imágenes satelitales las EM encontradas en el ecosistema mediante la señalización con colores y su respectiva leyenda.

Actividad 1.3. Establecer puntos de muestreo de agua:

La toma de muestra se realizó en puntos cercanos a las especies de interés y, además, se tuvo en cuenta la accesibilidad, seguridad, y la ubicación lejana de vertimientos, intervenciones antrópicas o mezcla por corriente o turbulencia. Cada procedimiento fue realizado siguiendo lo sugerido por el “Instructivo de toma y preservación de muestras de sedimentos y agua superficial para la red de monitoreo de calidad” del IDEAM.

Actividad 1.4. Recolectar muestras de agua:

El procedimiento de la toma de muestras de agua se realizó siguiendo los pasos propuestos por el IDEAM para la toma de muestras en fuentes superficiales, teniendo en cuenta que las variables sometidas a análisis se deben y/o pueden estudiarse mediante muestreos puntuales.

Se tomaron muestras para el posterior análisis de los siguientes parámetros fisicoquímicos: turbiedad, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH, temperatura del agua y transparencia Secchi (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales 2020). Los anteriores parámetros fueron determinados en el punto de muestreo (in-situ), a excepción de la turbiedad, y cada uno de los parámetros fueron hallados con los equipos suministrados por el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar.

En la obtención de muestras de agua para la realización de pruebas de turbiedad se hizo uso de envases rotulados, los cuales fueron juagados tres veces con agua del punto de muestreo seleccionado, posterior a esto se tomó la muestra de agua sin dejar espacio de aire; se cerró el envase y se almacenó en cavas con hielo para su preservación a una temperatura menor o igual a los 6 °C hasta su análisis en laboratorio.

Para la medición de la transparencia Secchi se utilizó un equipo conocido como “Disco de Secchi”, este consiste en un disco de colores negro y blanco que en una de sus caras se encuentra atado a una cuerda y en otra posee una plomada que permite sumergirlo. Su uso se basa en la entrada del disco en el cuerpo de agua y en el descenso hasta que no pueda ser visible, cuando esto sucede se saca el disco y se mide hasta el punto en el cual llegó la humedad en la cuerda, teniendo como resultado la medida de la profundidad hasta la cual pudo ser visto el disco.

Actividad 1.5. Caracterizar las muestras de agua:

Respecto a la caracterización de las muestras de agua recolectadas los procedimientos realizados se hicieron de acuerdo con lo determinado por las guías de los *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 24th edition*. En la tabla 2 se muestran los respectivos códigos de cada metodología aplicada.

Tabla 2.

Equipos y métodos utilizados en la medición de parámetros

Parámetro	Unidad	Código Standard Methods	Equipo De Medición	Método
Turbiedad	UNT	2130-B	Medidor de turbidez Hanna HI93703	Nefelométrico
Oxígeno disuelto	mg/L	4500-O	Medidor Portátil Impermeable de Oxígeno Disuelto y DBO Hanna HI98193	Electrométrico
pH		4500-H	Tester de pH/TDS/Conductividad Hanna HI98129	Electrométrico
Conductividad eléctrica	μS/cm	2510	Tester de pH/TDS/Conductividad Hanna HI98129	Electrométrico
Temperatura del agua	°C	2550	Tester de pH/TDS/Conductividad Hanna HI98129	Electrométrico
Transparencia Secchi	m		Disco de Secchi	

Nota. Previo al uso de cada uno de los equipos, fue realizada su calibración. Elaborada por autor, 2024.

5.7.2. Etapa 2: estimación la cantidad de CO₂ almacenado en la biomasa aérea y radicular de las plantas macrófitas predominantes.

Actividad 2.1. Toma de muestra biomasa aérea y radicular:

Para la toma de muestra de biomasa aérea y radicular primeramente se trazaron transeptos con 5 cuadrantes o parcelas de área de 1m², cada uno de estos separados 5m entre sí y ubicados a conveniencia en las zonas litoral y sublitoral del punto de muestreo. Cada cuadrante estuvo comprendido por 25 subcuadrantes de área de 0,04m². Posterior al trazado de transeptos y

ubicación de los cuadrantes, se realizó la toma de muestra de EM, por cada EM identificada se tomó una muestra de un subcuadrante ocupado por la especie, las muestras fueron dispuestas en bolsas de papel debidamente rotuladas (Chang & Mandarachi, 2021).

En un inicio fueron tomadas las muestras de las EM completas, es decir, con su parte aérea y radicular unida, percatándose de usar brochas y toallas para quitar la mayor cantidad de arena y barro. Una vez almacenadas las muestras a una temperatura cercana a los 4°C y trasladadas al laboratorio, se realizó la separación de la biomasa aérea y radicular haciendo uso de tijeras de jardinería.

Actividad 2.2. Secado de las especies:

Una vez encontradas las muestras en el laboratorio, fueron pesadas para conocer su peso húmedo y luego secadas en un horno a una temperatura recomendada por Tinoco (2017), el cual sugiere una temperatura de 60 °C por un tiempo de 24 horas.

Actividad 2.3. Cuantificar la cantidad de carbono:

Al obtener el peso seco de las muestras de biomasa aérea y radicular de las EM, se sacó una submuestra de 5gr de peso para la posterior entrada a mufla a una temperatura de 650°C y tiempo de 3 horas, esto con la finalidad de obtener el porcentaje de materia orgánica y carbono almacenado en cada especie.

Según Palomino y Cabrera (2007) al conocer el peso en seco de una especie vegetal se puede determinar el porcentaje de carbono almacenado al multiplicar su porcentaje de materia orgánica por el factor 0,45 ya que el contenido de carbono es proporcional al de materia orgánica, posterior a obtener el porcentaje de carbono se halló la cantidad de CO₂ capturado por medio del factor que proviene de la relación de pesos moleculares de CO₂ y el carbono (44CO₂/12C) cuyo valor es de 3,67.

A continuación, se presentan las ecuaciones propuestas por Caicedo y Herrera (2015) para conocer la cantidad CO₂ capturado por las EM.

Determinación del porcentaje de contenido de humedad:

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

CH% = Contenido de humedad

Ps = Peso Seco

Ph = Peso Húmedo

$$\text{Biomasa (gr)} = \frac{P_{\text{seco}} - P_{\text{calcinado}}}{\left(1 + \left(\frac{CH\%}{100}\right)\right)}$$

Determinación del porcentaje de materia orgánica:

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

P1 = Peso antes de calcinar.

P2 = peso después de calcinar.

Determinación del porcentaje de carbono por especie:

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

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

%MO = materia orgánica

%C = carbono

Determinación del CO₂ capturado:

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

CO₂ = Dióxido de carbono

C = porcentaje de carbono.

Determinación de la cantidad de minerales presentes:

$$\%minerales = 100 - \%MO$$

5.7.3. Etapa 3: correlación de los atributos ecológicos de las macrófitas con los parámetros fisicoquímicos del agua del CCZ, zona de influencia del municipio de Chiriguaná, Cesar.

Actividad 3.1. Correlacionar los parámetros del agua:

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización de los parámetros del agua, se correlacionaron los datos por medio del coeficiente de correlación de Spearman, la cual consiste en una medida no paramétrica la cual no dio razón de la fuerza y la dirección de la asociación entre los parámetros del agua.

Actividad 3.2. Correlacionar los parámetros del agua y atributos ecológicos:

Por medio del uso del software Past se midió la dominancia, equitabilidad e índice de Margalef de las macrófitas para ambos muestreos, posterior a esto mediante el software SPSS se realizó la correlación de los datos de atributos ecológicos encontrados con los datos de la caracterización de los parámetros del agua por medio del uso del coeficiente de correlación de Spearman, con estos se buscó determinar la influencia de las propiedades fisicoquímicas del agua en las EM encontradas en la zona de influencia (Paez y Roper, 2021)

6. RESULTADOS Y ANALISIS

De acuerdo con las etapas descritas en las estrategias y desarrollo metodológico de esta investigación, presentamos los resultados y análisis de sus fases asociadas con la caracterización de los parámetros fisicoquímicos del agua, identificación de EM, estimación del CO₂ capturado por cada EM y cuantificación de los atributos biológicos de las EM en periodo lluvioso y seco en la zona de influencia de Chiriguaná, Cesar.

Los resultados obtenidos nos ofrecieron una imagen detallada de las propiedades del agua de la zona, lo que permitió avanzar hacia la etapa de identificación de las EM, cuantificación de sus atributos biológicos y la posterior correlación con los parámetros fisicoquímicos del agua y los atributos ecológicos.

6.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS MACRÓFITAS PREDOMINANTES Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA EN SU ENTORNO.

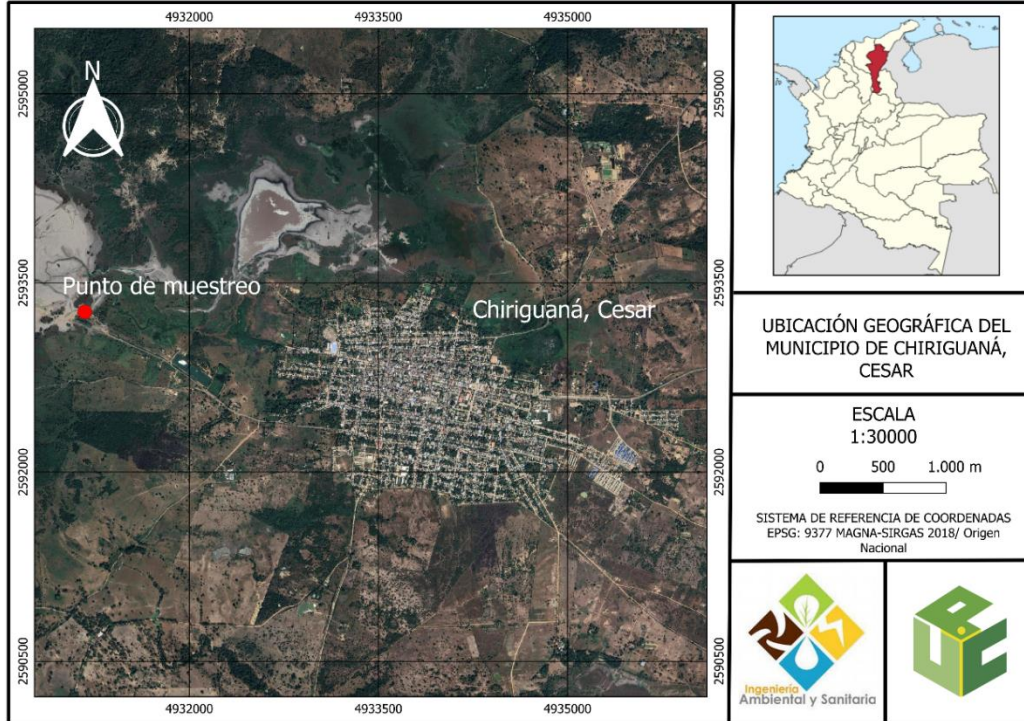
A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el cumplimiento de esta etapa.

6.1.1. Ubicación

Las coordenadas del punto de muestreo son: 9°22'06.5"N 73°37'38.1"W. En la Figura 3, realizada con el software QGIS se encuentra la ubicación del lugar y punto de muestreo.

Figura 3.

Ubicación del municipio del punto de muestreo y el municipio de Chiriguana, Cesar



Nota. Representación gráfica del lugar y punto de muestreo de las EM y agua. Elaborada por el autor, 2024.

Las diferencias más notorias de la zona de influencia entre un periodo y otro fue la cobertura por EM y el nivel de agua, esto puede observarse en la figura 4.

Figura 4.

Imágenes del lugar de muestreo en el periodo seco y lluvioso



Nota. Fotografías del periodo seco y periodo lluvioso de la zona de muestreo. Elaborado por autores.

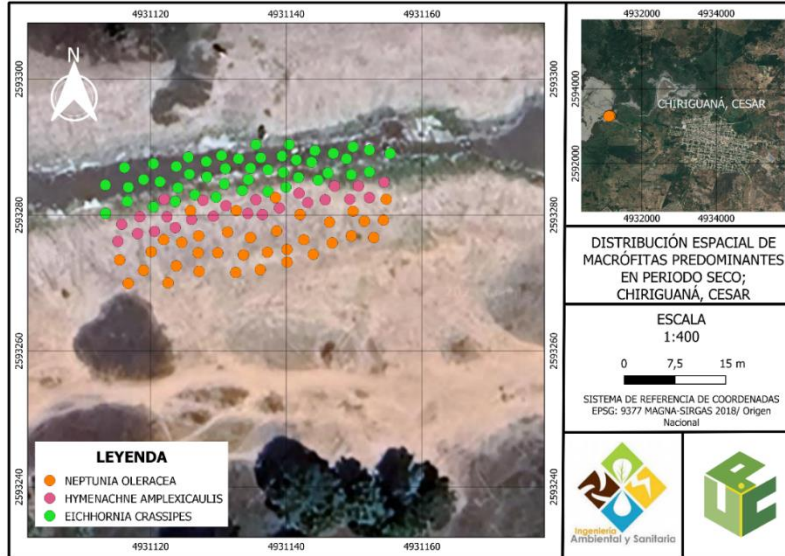
6.1.2. Identificación de macrófitas

Debido a que los muestreos fueron realizados en periodo seco y lluvioso, hubo especies que no fueron encontradas en ambas tomas de muestras. Las siguientes EM fueron identificadas en periodo lluvioso: *Eichhornia crassipes*, *Ludwigia helminthorrhiza*, *Neptunia Oleracea*, *Hymenachne amplexicaulis*, *Ceraptopteris sp.* Las siguientes EM fueron identificadas en periodo seco: *Eichhornia crassipes*, *Neptunia Oleracea*, *Hymenachne amplexicaulis*. De acuerdo con lo anterior se puede afirmar que las especies *Ludwigia helminthorrhiza* y *Ceraptopteris sp* no fueron encontradas en ambos muestreos. Lo anterior se debe a que hubo disminución del espejo de agua al cambiar de un periodo al otro, por lo que se puede generar la disminución de la frecuencia y abundancia de EM debido a la falta de agua, la competencia con otras especies colonizadoras y las adaptaciones ineficientes debido al tipo de especie, como es el caso de la especie *Ludwigia helminthorrhiza* ya que pertenece al grupo de especies vegetales acuáticas estrictas (hidrófitas), las cuales crecen extendidas sobre la superficie de agua y no poseen la cualidad de ocupar sustratos más firmes (Cumana Campos, 2010).

A continuación, se presenta en la Figura 5 la representación gráfica de la distribución de las EM en la zona de influencia de Chiriguaná, Cesar para el periodo seco y lluvioso.

Figura 5.

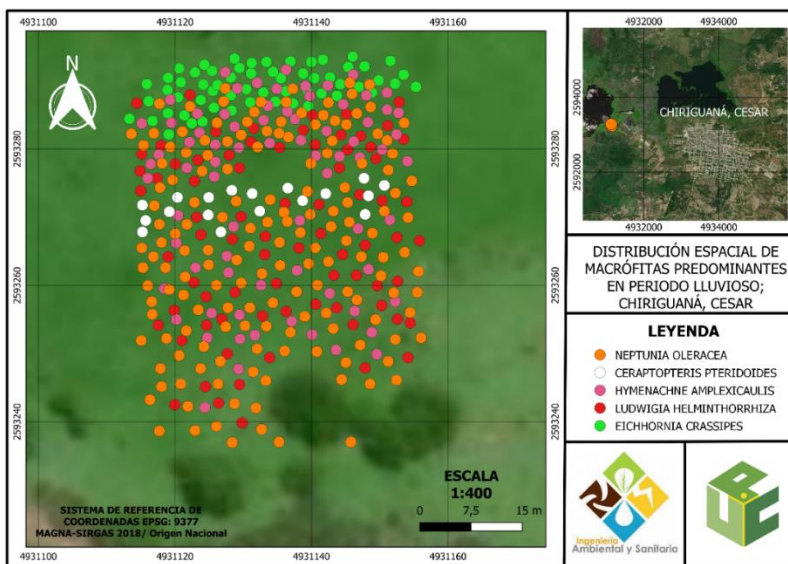
Distribución espacial de las macrófitas en periodo seco



Nota. Las imágenes utilizadas en la representación gráfica fueron tomadas del satélite de Google. Elaborado por el autor, 2024.

Figura 6.

Distribución espacial de las macrófitas en periodo lluvioso



Nota. Las imágenes utilizadas en la representación gráfica fueron tomadas del satélite de Bing. Elaborado por el autor, 2024.

Como puede observarse en las tablas 3 y 4, la amplitud de la zona cubierta por EM fue mayor en el periodo lluvioso en comparación con el periodo seco, esto se debe a que en el periodo lluvioso las condiciones fueron favorables para el desarrollo y crecimiento de EM, por lo que el nivel de agua de la zona era mayor.

Tabla 3.

Cobertura de macrófitas en el periodo lluvioso

Especies	Subcuadrantes	Cobertura (%)
Eichhornia crassipes	8,4	2,24
Ludwigia helminthorrhiza	74,3	19,81
Neptunia oleracea	235,55	62,81
Hymenachne amplexicaulis	35,3	9,41
Ceropteris pteridoides	6,8	1,81
Sin macrófitas	14,65	3,91
	375	100,00

Nota. El porcentaje de cobertura reportado es de acuerdo con los cuadrantes trazados y no a la totalidad del área del lugar de muestreo. Elaborado por el autor, 2024.

De acuerdo con los anteriores datos, tenemos que la especie que presentó mayores porcentajes de cobertura en el periodo lluvioso fue la especie *Neptunia oleracea*.

Tabla 4.

Cobertura de macrófitas en el periodo seco

Especies	Subcuadrantes	Cobertura (%)
Eichhornia crassipes	25	6,67
Neptunia oleracea	1,6	0,43
Hymenachne amplexicaulis	0,3	0,08
Sin macrófitas	348,1	92,83
	375	100,00

Nota. El porcentaje de cobertura reportado es de acuerdo con los cuadrantes trazados y no a la totalidad del área del lugar de muestreo. Elaborado por el autor, 2024.

De acuerdo con los anteriores datos, tenemos que la especie que presentó mayores porcentajes de cobertura en el periodo seco fue la especie *Eichhornia crassipes*.

6.1.2.1. *Eichhornia crassipes*

El Buchón de agua, cuyo nombre científico es *Eichhornia crassipes* es una planta acuática perenne, la cual se utiliza como especie ornamental en estanques debido a sus llamativas flores de color púrpura o violeta. Originaria de Brasil y con alta capacidad de reproducción y adaptación, permitiendo extenderse a más de cincuenta países de los cinco continentes. En la actualidad, *Eichhornia crassipes* se encuentra distribuida en las regiones trópicas y subtropicales del planeta (Guevara Granja & Ramírez Cando, 2015). Esta especie ha sido caracterizada por su alto contenido de biomasa, lo cual la hace útil en procesos bioquímicos y termoquímico, por lo que puede ser utilizada en procesos de digestión para la producción de biogás (Carlini, Castellucci, & Mennuni, 2018).

Figura 7.

Eichhornia crassipes



Nota. Fotografías de *Eichhornia crassipes* identificada en la zona de muestreo. Tomada por el autor, 2024.

6.1.2.2. *Ludwigia helminthorrhiza*

La *Ludwigia helminthorrhiza* es una planta herbácea que hace parte de la familia Onagraceae, que se encuentra presente en Centroamérica y Suramérica, específicamente en ambientes húmedos y pantanosos. Se caracteriza por ser flotante y con algunas raíces infladas,

blancas y esponjosas, presenta flores blancas y hojas con forma redondeada que en algunas se encuentran distribuidas en forma de rosetas (Méndez Santos & González-Sivilla, 2020).

Figura 8.

Ludwigia helminthorrhiza



Nota. Fotografías de *Ludwigia helminthorrhiza* identificada en la zona de muestreo. Tomada por el autor, 2024.

6.1.2.3. *Neptunia Oleracea*

La Dormilona, cuyo nombre científico es *Neptunia Oleracea* es una planta herbácea que hace parte de la familia fabaceae, poco ramificada, acuática, generalmente flotante. Posee hojas pinadas con la particularidad de ser sensibles, es decir, que se cierran al contacto (H. Peck & E. Serviss, 2011). Es una especie que crece fácilmente en climas tropicales húmedos, originaria de America, Asia y África donde se observa mayormente en aguas estancadas o a orillas de ríos de curso lento. En épocas de disminución del nivel del agua, esta planta puede enraizarse temporalmente en el fondo (Bernal, Gradstein, & Celis, 2015).

Figura 9.

Neptunia Oleracea



Nota. Fotografías de *Neptunia Oleracea* identificada en la zona de muestreo. Tomada por el autor, 2024.

6.1.2.4. *Hymenachne amplexicaulis*

La *Hymenachne amplexicauli*, conocida como hierba de pantano, es una planta acuática que forma densas colonias en ambientes inundables en zonas tropicales y subtropicales de América, habita a la orilla de ríos, lagos y terrenos pantanosos salobres desde el nivel del mar hasta los 1400 metros de altitud. Generalmente se encuentra enraizada al sustrato, pero posee tallos que permanecen en la superficie del agua. Los tallos de esta especie pueden llegar a medir de 1 a 2 metros de alto. Esta especie ha sido introducida en algunas zonas debido a que produce toneladas de forraje de buena calidad y de propicio consumo de ganado vacuno, búfalos y caballos (Gordon & Feo, 2007).

Figura 10.

Hymenachne amplexicauli



Nota. Fotografías de *Hymenachne amplexicauli* identificada en la zona de muestreo. Tomada por el autor, 2024.

6.1.2.5. *Cerapteris sp*

Conocido como cilantro silvestre y de nombre científico *Cerapteris sp* es un helecho de encaje que posee hojas anchas y aspecto robusto. Es encontrado en zonas tropicales del continente americano. Su coloración es verde y generalmente sus raíces se encuentran adheridas al sustrato (Quintero Cardozo, 2021).

Figura 11.

Cerapteris sp



Nota. Fotografía de *Cerapteris sp* identificada en la zona de muestreo. Tomada por el autor, 2024.

6.1.3. Establecimiento de puntos de muestreo de agua

Debido a que se realizaría la correlación de los parámetros fisicoquímicos del agua con los variables analizadas en las EM, la elección del punto de muestreo de agua debía encontrarse cercano al punto de recolección de muestra de las EM, teniendo en cuenta factores como la profundidad mínima recomendada por el IDEAM.

6.1.4. Recolección de muestras de agua

La recolección de las muestras de agua para el periodo lluvioso se realizó durante la mañana del 15 de octubre de 2023, y para el periodo seco se realizó durante la mañana del día 14 de abril de 2024.

6.1.5. Caracterización de las muestras de agua

Los parámetros fisicoquímicos caracterizados en ambos muestreos fueron: turbidez, oxígeno disuelto, pH, conductividad, temperatura del agua y transparencia. Algunos de estos parámetros fueron hallados en el sitio de muestreo, estos fueron: pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura del agua y transparencia. El único parámetro que fue hallado en las instalaciones de la Universidad Popular del Cesar fue la turbidez. Cada uno de los parámetros fue hallado por triplicado y posteriormente encontrado el promedio, el cual fue registrado en la tabla 5.

Tabla 5.

Datos fisicoquímicos del agua

Parámetros Fisicoquímicos	Periodo Lluvioso				Periodo Seco			
	VMin	VMax	Promedio	σ	VMin	VMax	Promedio	σ
Turbiedad (UNT)	26,20	27,00	26,52	0,43	492,00	496,00	493,33	2,31
Oxígeno Disuelto (mg/L)	8,18	8,41	8,30	0,12	7,24	7,71	7,54	0,26
pH	6,47	7,12	6,84	0,33	7,80	8,33	7,97	0,31
Conductividad Eléctrica (μ S/cm)	229,00	230,00	229,33	0,51	479,00	489,00	482,67	5,51
Temperatura del Agua (°C)	32,90	33,40	33,13	0,25	29,70	31,20	30,50	0,76
Transparencia Secchi (m)	NE	NE	0,32	0,00	NE	NE	0,05	0,00

Nota. Registro de datos fisicoquímicos del agua en periodo lluvioso y seco. Elaborado por autor, 2024.

VMin: valor mínimo

VMax: valor máximo

NE: no encontrado

σ : desviación estándar

De acuerdo con los resultados obtenidos se realizó el siguiente análisis de cada uno de los parámetros:

6.1.5.1.pH

El promedio de pH de la muestra de agua para el periodo lluvioso fue de 6,84, recordando que el pH tiene un rango de 1 a 14, siendo 7 un valor de pH neutro. El valor encontrado para este periodo nos permite deducir que el agua de la zona de influencia posee un comportamiento ligeramente ácido con cercanía a la neutralidad, lo cual indica una correcta actividad fotosintética de las especies vegetales situadas en su interior (Barrero & Márquez, 2015). Las condiciones neutras o cercanas a la neutralidad también se pueden traducir en un equilibrio entre los iones hidronio (H_3O^+) y iones hidroxilo (OH^-) en el agua. Para el periodo seco se tuvo un valor de 7,97 lo cual indica un valor situado en el rango alcalino, en comparación al del periodo lluvioso obtuvimos un pH mayor por razones como la disminución de la temperatura del agua, según Ávila Pérez, García Ibañez y Rosas-Acevedo (2015) un incremento de la temperatura involucra una disminución del pH y, por lo tanto, genera disminución en el pH del agua.

6.1.5.2. Turbiedad

Para el periodo lluvioso se tuvo un valor de 26.28 UNT, este valor puede deberse a factores como la presencia de sedimentos, materia orgánica y contaminantes en el agua. Para el periodo seco se tuvo un valor de 493 UNT, indicando un aumento significativo de la turbiedad respecto al periodo anterior, esta situación puede estar relacionada con aportes de vertimientos realizados por la empresa encargada del tratamiento de aguas residuales del municipio, teniendo en cuenta que en este periodo el nivel de agua es menor y, por ende, la dilución de los vertimientos realizados también, generando un aumento en la turbiedad (Murillo Hinestroza & Vargas Porras, 2014).

Existen diversas causas contribuyentes con los niveles de turbiedad encontrados, una de estas puede ser las actividades agropecuarias realizadas en cercanías de la Ciénaga, en relación con esto fue evidenciado que en el periodo seco se utilizan las zonas anteriormente inundadas como terreno de pastoreo, lo cual facilita la llegada de sedimentos al CCZ. Otro factor incidente en la turbiedad del agua de la zona de influencia es la actividad minera a la que se encuentra expuesto el territorio, ya que durante las operaciones mineras gran cantidad de material particulado es liberado al ambiente, parte de este material llega a la ciénaga y genera un aumento de partículas suspendidas en el agua.

6.1.5.3. Oxígeno disuelto

Los valores de oxígeno disuelto para los muestreos correspondientes a los periodos seco y lluvioso fueron de 7,54 mg/L para el periodo seco y 8,24 mg/L para el periodo lluvioso. Según Wetzel (2005) los valores de oxígeno disuelto en aguas superficiales dependen de la interacción de la superficie con la atmósfera, la radiación solar, viento y los procesos fotosintéticos llevados a cabo en la superficie e interior de la columna de agua. En el muestreo del periodo seco fue evidente la cobertura total de la superficie del agua por EM, situación que no fue vista en el periodo lluvioso, esto puede observarse en la figura 12.

Figura 12.

Diferencias de cobertura de macrófitas en periodo lluvioso y periodo seco



Nota. Fotografías del lugar de muestreo en periodo lluvioso y periodo seco. Tomada por el autor, 2024.

En la imagen correspondiente al periodo lluvioso podemos observar que la cobertura de la superficie por EM es menor, por lo que hay mayor paso luz solar, lo cual favorece a mejores procesos fotosintéticos al interior de la columna de agua, al haber menor cobertura también se presenta un mayor contacto de la superficie del agua con el viento, siendo éstas dos razones de los valores de oxígeno disuelto mayores a los del periodo seco.

Los valores promedios presentados para el periodo lluvioso y seco presentan relación con el valor reportado en el estudio sobre las ciénagas del departamento del Cesar, realizado por

Rangel et al., (2012) en donde señala que las concentraciones de oxígeno disuelto tienen un promedio general de 7,45 mg/L.

6.1.5.4. Conductividad eléctrica

Para el periodo seco se registró un valor de conductividad de 482 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y para el periodo lluvioso un valor de 229 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores de conductividad se encuentran relacionados con las concentraciones de iones y sólidos disueltos, por lo que es un parámetro relevante que nos brinda información sobre el aumento de la contaminación en el agua (Cárdenas Cadme & Macías Criollo, 2022).

Teniendo en cuenta que en el periodo seco se presentó menor espejo y nivel del agua, las concentraciones de sales, metales y sólidos disueltos en el agua sería mayor, es por esto por lo que en este periodo se presentó un valor de conductividad eléctrica superior al valor del periodo lluvioso.

6.1.5.5. Temperatura del agua

Respecto a la medición de la temperatura del agua tenemos que para el periodo lluvioso se registró un valor de 32,9 °C y para el periodo seco de 30,5 °C. Según Lauer y Rafiqpoor (2000) la temperatura depende de la altitud, la humedad del aire y la radiación solar. Los muestreos debido a que fueron realizados en un mismo punto, no hubo variación de la altitud (30 msnm). Por lo que los factores variables serían la humedad del aire y la radiación solar. Tanto el aire como la radiación solar necesitan contacto con la superficie del agua para tener cambios determinantes en la temperatura de esta, por lo que la cobertura del espejo de agua por EM sería un factor determinante para permitir la aireación y el paso de la luz. Por lo que, en el periodo seco, en el cual se presentó mayor cobertura de la superficie acuática por EM se registraron temperaturas menores.

6.1.5.6. Transparencia Secchi

La profundidad a la que fue visible el Disco de Secchi en el periodo seco fue de 5 cm y en el periodo lluvioso fue de 32 cm. La transparencia medida con el Disco de Secchi está dada en función de la luz reflejada por la superficie del disco, a mayor concentración de material en suspensión menor será la transparencia (Preisendorfer, 1986). Por lo que la razón de la diferencia

de profundidad a la que fue vista el disco en un periodo y otro se debe a la mayor presencia de partículas en suspensión en el periodo seco.

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

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las actividades establecidas para el cumplimiento del segundo objetivo específico propuesto en la presente investigación de proyecto de grado.

6.2.1. *Recolección de muestras de biomasa aérea y radicular*

Al ser establecidos los cuadrantes con área de 1m² se inició el proceso de toma de muestras de la biomasa aérea y radicular de las EM encontradas en los cuadrantes trazados, para su posterior almacenamiento y separación de la biomasa aérea y radicular, la cual fue realizada en las instalaciones de los laboratorios del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar.

6.2.2. *Secado de las especies macrófitas:*

Anterior al proceso de secado de las especies se pesaron las EM para conocer el peso húmedo de la biomasa aérea y radicular, en la tabla 6 se encuentran registrados los datos de los pesos en húmedo.

Tabla 6.

Datos de peso húmedo de macrófitas

Especies	Periodo Lluvioso		Periodo Seco	
	BA (gr)	BR (gr)	BA (gr)	BR (gr)
<i>Eichhornia crassipes</i>	52,76	41,38	58,76	13,19
<i>Ludwigia helminthorrhiza</i>	37,64	10,69	NE	NE
<i>Neptunia oleracea</i>	62,79	19,72	39,49	9,9
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	66,03	23,14	42,6	8
<i>Ceratopteris sp</i>	92,19	9,68	NE	NE

Nota. Datos de peso húmedo de la biomasa aérea y radicular de las EM del CCZ, zona de influencia Chiriguaná-Cesar. Elaborada por el autor, 2024.

BA: biomasa aérea

BR: biomasa radicular

Una vez obtenido los pesos en húmedo se realizó el secado por medio del uso de un horno. La temperatura de secado fue de 60°C y el tiempo de secado fue de 24 horas, sin embargo, hubo especies que en el muestreo correspondiente al periodo lluvioso hubo que secarlas 36 horas debido a que aún se encontraban con contenido de humedad, estas EM fueron *Eichhornia crassipes*, *Hymenachne amplexicaulis* y *Ceraptopteris sp*. Posterior al secado fueron pesadas las EM y los datos del peso seco fueron registrado en la tabla 7.

Tabla 7.

Datos de peso seco de macrófitas

Especies	Periodo Lluvioso		Periodo Seco	
	BA (gr)	BR (gr)	BA (gr)	BR (gr)
<i>Eichhornia crassipes</i>	3,21	2,67	3,23	1,07
<i>Ludwigia helminthorrhiza</i>	2,93	0,8	NE	NE
<i>Neptunia oleracea</i>	4,77	3,18	9,2	3,05
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	5,03	2,33	2,1	1,79
<i>Ceraptopteris sp</i>	14,1	1,81	NE	NE

Nota. Datos de peso seco de la biomasa aérea y radicular de las EM del CCZ, zona de influencia Chiriguaná-Cesar. Elaborada por el autor, 2024.

Al tener los datos de los pesos seco y húmedo de las EM es posible conocer el porcentaje del contenido de humedad de cada especie, dato que se encuentra registrado en la tabla 8.

Tabla 8.

Porcentajes de contenido de humedad de macrófitas

Especies	Periodo Lluvioso		Periodo Seco	
	BA (%)	BR (%)	BA (%)	BR (%)
<i>Eichhornia crassipes</i>	93,92	93,55	94,50	91,89
<i>Ludwigia helminthorrhiza</i>	92,22	92,52	NE	NE

<i>Neptunia oleracea</i>	92,40	83,87	76,70	69,19
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	92,38	89,93	95,07	77,63
<i>Cerapteris sp</i>	84,71	81,30	NE	NE

Nota. Datos de porcentaje de contenido de humedad de EM en periodo seco y lluvioso del CCZ, zona de influencia Chiriguaná-Cesar. Elaborada por el autor, 2024.

De acuerdo con los anteriores datos tenemos que la especie que mantuvo mayores porcentajes de contenido de humedad fue *Eichhornia crassipes*. Lo anterior pudo deberse a la estructura morfológica y fisiológica de la especie. Esta posee hojas, tallos y estolones con alta retención de agua y nutrientes lo que la ayuda a sobrevivir en condiciones adversas del medio ambiente, como lo es la sequía o los cambios en los niveles de agua (Smith & Smith, 1989). Esta también pudo ser la razón por la cual la *Eichhornia crassipes* fue identificada en ambos muestreos.

El resultado del porcentaje de contenido de humedad para la especie *Eichhornia crassipes* se aproxima a lo reportado por Atehortua & Gartner (2013) quienes encontraron que la biomasa aérea de esta especie contiene una humedad superior al 90%. Situación similar fue presentada en la investigación realizada por Harun et al (2011), ya que reportaron que la planta contiene alrededor del 95% de humedad. Los anteriores autores incluyeron como causante la presencia de grupos hidroxilos en la estructura vegetal, lo que posibilita a la formación de enlaces de hidrógeno.

6.2.3. Cuantificación de la cantidad de carbono en EM:

Una vez terminado los procesos de secado de las plantas se sacó una submuestra (Se estableció un peso de 5 gr de submuestra, sin embargo, no todas las EM cumplieron con este peso, para aquellas que no cumplían con este peso se introdujo la cantidad existente) de biomasa aérea y radicular seca de cada una de las EM para llevarlas a calcinar a una temperatura de 650°C durante 3 horas. Posterior a esto fueron pesadas y registrados los valores en la tabla 9.

Tabla 9.

Datos de peso calcinada de macrófitas

Especies	Periodo Lluvioso		Periodo Seco	
	BA (Gr)	BR (gr)	BA (gr)	BR (gr)
<i>Eichhornia crassipes</i>	0,56	1,072	1,241	0,619
<i>Ludwigia helminthorrhiza</i>	0,466	0,295	NE	NE
<i>Neptunia oleracea</i>	1,113	0,283	0,445	0,186
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	0,898	1,06	0,752	1,062
<i>Cerapteris sp</i>	1,882	0,27	NE	NE

Nota. Resultado de datos de peso calcinado de las EM predominantes del CCZ, zona de influencia Chiriguaná-Cesar. Elaborada por el autor, 2024.

Luego de conocerse los pesos calcinados de cada una de la EM se procedió a estimar la captura de CO₂ de cada una de estas en los periodos muestreados. Los datos fueron registrados en las siguientes tablas.

Tabla 10.

Estimación de captura de Dióxido de carbono por macrófitas en periodo lluvioso

Especies	Periodo Lluvioso									
	MO (gr)		Carbono (gr)		CO ₂ (gr)		CO ₂ (gr/m ²)		Biomasa (gr)	
	BA	BR	BA	BR	BA	BR	BA	BR	BA	BR
<i>Eichhornia crassipes</i>	2,65	1,80	1,19	0,81	4,37	2,97	109,31	74,17	1,37	0,93
<i>Ludwigia helminthorrhiza</i>	2,46	0,51	1,11	0,23	4,07	0,83	101,64	20,83	1,28	0,26
<i>Neptunia oleracea</i>	3,66	2,90	1,65	1,30	6,03	4,78	150,85	119,50	1,9	1,58
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	4,10	1,61	1,85	0,72	6,77	2,66	169,21	66,41	2,13	0,85
<i>Cerapteris pteridoides</i>	3,12	1,54	1,40	0,69	5,14	2,54	128,62	63,53	1,69	0,85

Nota. Resultado de estimación de CO₂ capturado por macrófitas del CCZ en periodo lluvioso, zona de influencia Chiriguaná-Cesar. Elaborado por el autor, 2024.

MO: materia orgánica

Demostración del cálculo de CO₂ capturado por la especie *Eichornia crassipes* en el periodo lluvioso:

Una vez obtenidos el peso submuestra seca y el peso calcinado de la BA y BR de la especie *Eichornia crassipes* realizaron los cálculos para conocer la cantidad de materia orgánica presente.

$$MO = PS - PC$$

PS: peso submuestra

PC: peso calcinado

Para la BA se obtuvo

$$MO = 3,21gr - 0,56gr = 2,65gr$$

Para la BR se obtuvo

$$MO = 2,87gr - 1,07gr = 1,80gr$$

Posteriormente se calcula la cantidad de carbono almacenado en la especie por medio de la multiplicación de la materia orgánica por el factor 0,45

$$C = MO \times 0,45$$

C: carbono almacenado

Para la BA se obtuvo

$$C = 2,65gr \times 0,45 = 1,19gr$$

Para la BR se obtuvo

$$C = 1,80gr \times 0,45 = 0,81gr$$

Con los valores anteriormente encontrados se realizó el cálculo del CO₂ almacenado para la cantidad de muestra recolectada en el área de un subcuadrante, es decir 0,04 m². El cálculo se realizó de la siguiente forma:

$$CO_2 = C \times \frac{44 \text{ gr/mol } CO_2}{12 \text{ gr/mol } C}$$

Para la BA se obtuvo

$$CO_2 = 1,19gr \times \frac{44 \text{ gr/mol } CO_2}{12 \text{ gr/mol } C} = 4,37gr$$

Para la BR se obtuvo

$$CO_2 = 0,81gr \times \frac{44 \text{ gr/mol } CO_2}{12 \text{ gr/mol } C} = 2,97gr$$

Lo anterior se podría escalar a un m² de muestra de la especie, para lo cual se tendrían los siguientes valores de CO₂ capturado por metro cuadrado.

Para la BA se obtuvo

$$CO_2 = 1m^2 \times \frac{4,37}{0,04m^2} = 109,31gr/m^2$$

Para la BR se obtuvo

$$CO_2 = 1m^2 \times \frac{2,97}{0,04m^2} = 74,17gr/m^2$$

Tabla 11.

Estimación de captura de Dióxido de carbono de macrófitas en periodo seco

Especies	Periodo Seco									
	MO (gr)		Carbono (gr)		CO ² (gr)		CO ² (gr/m ²)		Biomasa (gr)	
	BA	BR	BA	BR	BA	BR	BA	BR	BA	BR
<i>Eichhornia crassipes</i>	1,99	0,45	0,90	0,20	3,29	0,75	82,13	18,73	1,02363	0,2366
<i>Neptunia oleracea</i>	4,56	2,86	2,05	1,29	7,52	4,72	187,89	118,02	2,57777	1,691
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	1,35	0,73	0,61	0,33	2,22	1,21	55,61	30,20	0,69103	0,4121

Nota. Resultado de estimación de CO₂ capturado por las EM predominantes del CCZ en periodo seco, zona de influencia Chiriguaná-Cesar. Elaborado por el autor, 2024.

De acuerdo con los muestreos realizados en ambos periodos, la especie que registró mayor cantidad de CO₂ capturado fue *Neptunia Oleracea*, esto se debe a la cantidad de biomasa presente en la especie, según () debido al ciclo del carbono, la biomasa también contiene parte de carbono, cerca de un 50% de la biomasa es carbono orgánico. De acuerdo a lo anterior, se afirma que a mayor contenido de biomasa mayor carbono almacenado y por ende, mayor CO₂ capturado por una especie vegetal (Pearson, Walker, & Brown, 2005).

6.3. CORRELACIÓN DE LOS ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE LAS MACRÓFITAS CON LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA DEL CCZ, ZONA DE INFLUENCIA DEL MUNICIPIO DE CHRIGUANÁ, CESAR.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las actividades establecidas, las cuales consisten en correlaciones realizadas para el cumplimiento del tercer objetivo específico propuesto en la presente investigación.

6.3.1. Correlación de los parámetros del agua:

Debido a que se quiere conocer la influencia de un parámetro sobre otro, se realizó la correlación de los parámetros fisicoquímicos caracterizados para cada uno de los periodos muestreados. A continuación, se encuentra la tabla con los resultados de los coeficientes de correlación obtenidos.

Tabla 12.

Coefficientes de correlación de Spearman entre variables fisicoquímicas del agua para periodo seco y lluvioso

Parámetros Fisicoquímicos	Oxígeno Disuelto	Turbiedad	pH	Conductividad Eléctrica	Temperatura del Agua
Oxígeno Disuelto	1,00	-0,67	-0,94	-0,90	0,71
Turbiedad	-0,67	1,00	0,58	0,79	-0,73
pH	-0,94	0,58	1,00	0,84	-0,77
Conductividad eléctrica	-0,90	0,79	0,84	1,00	-0,75
Temperatura del agua	0,71	-0,73	-0,77	-0,75	1,00

Nota. Valores inferiores a cero indican una relación negativa entre las variables, y valores superiores a cero indican una relación positiva entre las variables. Elaborado por el autor, 2024.

De acuerdo con la anterior tabla, se tiene que los parámetros que obtuvieron una correlación positiva alta fueron oxígeno disuelto y temperatura, turbiedad y conductividad, pH y conductividad, la correlación positiva más alta fue presentada entre el pH y la conductividad, esto puede deberse a la presencia de sales alcalinas, tales como los carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y fosfatos de metales alcalinos y alcalinotérreos en el agua. Las sales anteriormente

mencionadas al disolverse en el agua liberan iones hidroxilo (OH^-) que reaccionan con el agua y forman hidróxidos de metales, incrementando el pH del agua.

Los parámetros que obtuvieron correlación negativa alta fueron oxígeno disuelto y pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, turbiedad y temperatura del agua, conductividad y temperatura del agua, la correlación negativa más fuerte fue presentada entre el oxígeno disuelto y pH. El pH agua afecta la solubilidad del oxígeno disuelto.

En aguas dulces, a medida que el pH disminuye, la capacidad del agua para retener oxígeno también decrece, debido a que los iones de hidrógeno reaccionan con los iones de oxígeno y forman partículas de agua, reduciendo así la cantidad de oxígeno disuelto. Sin embargo, los datos obtenidos nos indican que a medida que disminuye el pH aumenta el oxígeno disuelto, esto se debe a que los datos más altos de oxígeno disuelto se presentaron en simultaneo con los datos menores de pH, la razón de este fenómeno puede ser el oleaje, el oleaje en el periodo lluvioso (periodo donde se presentaron menores valores de pH, pero mayores de oxígeno disuelto) fue mayor y la cobertura por EM flotantes fue menor en relación al espejo de agua presente, por lo cual hubo mayor incidencia del oleaje y por ende mayor intercambio de oxígeno entre el agua y el aire. Según Peña (2007) entre mayor turbulencia se presente en el agua, habrá mayor absorción de oxígeno, debido a que la superficie del agua está expuesta al aire, caso contrario presentan las aguas estancadas, las cuales retienen y absorben menos oxígeno.

6.3.2. Correlación de los parámetros fisicoquímicos del agua con los atributos ecológicos:

Para realizar la correlación de los parámetros del agua con los atributos ecológicos de las EM, primeramente, se conoció los atributos ecológicos a correlacionar, estos fueron la abundancia, frecuencia y riqueza, los cuales se cuantificaron por medio del índice de Margalef, dominancia y equitabilidad. La obtención de los índices de diversidad anteriormente nombrados se realizó mediante el software PAST, y se obtuvieron los datos registrados en la tabla 13:

Tabla 13.

Atributos ecológicos de macrófitas muestreadas en periodo lluvioso y seco

Índice	Periodo Lluvioso	Periodo Seco
Dominancia	0,38	0,53
Margalef	0,63	0,56
Equitabilidad	0,72	0,72

Nota. Los atributos ecológicos cuantificados se encuentran relacionados con la abundancia y riqueza de macrófitas de la zona. Elaborado por el autor, 2024.

Según los datos obtenidos de los índices de diversidad, se considera que en ambos periodos la zona presentó baja diversidad de EM.

Una vez obtenidos los coeficientes de los índices de diversidad se procedió a realizar la correlación de estos atributos con los parámetros fisicoquímicos del agua, de los cual se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 14.

Coefficientes de correlación de Spearman entre los atributos ecológicos y los parámetros fisicoquímicos del agua para el periodo lluvioso

Parámetros Fisicoquímicos	Atributos
Oxígeno Disuelto	1
Turbiedad	1
pH	-1
Conductividad Eléctrica	0
Temperatura del agua	0,5

Nota. El signo de las correlaciones indica las relaciones de proporcionalidad entre las variables. Elaborado por el autor, 2024.

De acuerdo con los valores de los coeficientes de correlación del periodo lluvioso, los atributos presentaron correlación positiva alta con el oxígeno disuelto y la turbiedad.

Los atributos presentaron correlación negativa representativa con el pH.

Tabla 15.

Coefficientes de correlación de Spearman entre los atributos ecológicos y los parámetros fisicoquímicos del agua para el periodo seco

Parámetros Fisicoquímicos	Atributos
Oxígeno Disuelto	1
Turbiedad	0
pH	-0,5
Conductividad Eléctrica	-1
Temperatura del agua	1

Nota. El signo de las correlaciones indica las relaciones de proporcionalidad entre las variables. Elaborado por el autor, 2024.

De acuerdo con los valores de los coeficientes de correlación del periodo seco, los atributos presentaron correlación positiva alta con el oxígeno disuelto y la temperatura del agua.

Los atributos presentaron correlación negativa representativa con la conductividad eléctrica.

De acuerdo con la correlación de Spearman realizada entre los parámetros fisicoquímicos del agua y los atributos ecológicos de las EM predominantes para los periodos seco y lluvioso se presenta influencia en la abundancia y riqueza de las especies para la zona muestreada. Teniendo en cuenta los datos de cobertura de EM, se evidencia que la mayor cobertura fue presentada en el periodo de lluvias, debido a que hay mayor área inundada, generando las condiciones optimas para el aumento de la tasa de crecimiento de EM y, por ende, aumento en los niveles de cobertura vegetal (Rial B, 2013).

Los parámetros fisicoquímicos estudiados reflejan el estado en el cual se encuentra el ecosistema del CCZ en la zona de influencia estudiada, estos parámetros también representan la disponibilidad de nutrientes y la presencia de actividad antrópica y usos de suelo realizados en la zona, algunos de estos son la ganadería y la agricultura, actividades que disminuyen los porcentajes de cobertura de EM (Murgueitio & Ibrahim, 2008).

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados del muestreo de agua y EM, identificación de las EM, caracterización de los parámetros fisicoquímicos del agua, cuantificación de la cantidad de CO₂ capturado por las EM y correlación de estos datos con los parámetros fisicoquímicos del agua se obtuvieron resultados cuyo respaldo metodológico aseguró la obtención de datos consistentes y ajustados a las normativas y regulación vigente en cuanto al tratamiento de muestras de agua y especies vegetales.

Con relación a la entrada al lugar de muestreo fue evidente el cambio en el paisaje entre ambos periodos, cambios asociados a la disminución del espejo de agua del CCZ en la época seca, a raíz de esto se observó la presencia de playones que eran usados por predios cercanos para el pastoreo de ganado, de hecho, se observó que algunos bovinos se sumergían en las aguas del CCZ y se alimentaban de EM como la *Eichhornia crassipes*. La presencia de este tipo de animales en el CCZ sugiere un factor clave en la degradación de la calidad del agua debido a la erosión y compactación del suelo a razón del peso de los bovinos, y a la presencia de escorrentía agrícola, la cual puede incrementar los nutrientes en el agua y dar inicios a problemas relacionados con la eutrofización.

En cuanto a la identificación de las EM, se lograron visualizar en los cuadrantes trazados, cinco especies en el periodo lluvioso y tres especies en periodo seco, se identificaron EM de dos tipos de clasificación, emergentes y flotantes. Cada uno de los cuadrantes muestreados en el periodo lluvioso obtuvieron EM en su interior y se visualizó la presencia de conglomerados compuestos por más de dos especies de macrófitas, los espacios sin cobertura o sin presencia de EM fueron menores. Caso contrario en el periodo seco, en el cual se presentaron dos cuadrantes con EM de los 15 trazados. Un factor importante que destacar es que la investigación se realizó por medio de cuadrantes, por lo que pudo haber especies no identificadas debido a que no se encontraban dentro de las áreas de los cuadrantes.

Respecto al muestreo de agua, no hubo complicaciones en la toma de muestras, aunque las características visibles del agua, como la turbidez y claridad, color y olor entre el periodo

seco y periodo lluvioso fueron notables, el agua en el periodo lluvioso fue clara, lo cual puede relacionarse con la profundidad a la cual pudo sumergirse el Disco de Secchi, en el periodo lluvioso el agua era de color café, evidenciando la cantidad de partículas suspendidas. En términos de olor, en el periodo lluvioso no hubo olores repugnantes o desagradables, caso contrario del periodo seco, en el cual el agua emanaba un olor desagradable, similar al de aguas negras.

Los resultados mostraron que la especie con mayor aporte de captura de CO₂ por metro cuadrado ocupado en los dos periodos muestreados fue la especie *Neptunia oleracea*, seguida por la especie *Eichhonia crassipes*. La anteriormente nombrada fue la especie quien tuvo el mayor aporte a este atributo de acuerdo con la escala espacial y el número de individuos presentes gracias a su tipo de reproducción y a la cualidad de formación de conglomerados. Las dos especies previamente mencionadas representan un servicio ecosistémico significativo en lo que relacionado con la retención de carbono. Un factor determinante de la capacidad captadora es la biomasa acumulada en la parte aérea y radicular.

Se debe reconocer que todas las especies sometidas al proceso de cuantificación aportaron en la captura de carbono, por lo que es necesaria la correcta preservación de este tipo de ecosistemas cenagosos, tanto para el correcto desarrollo de las especies vegetales como para la conservación de especies animales consumidoras de éstas y de macro y micro invertebrados que se alojan en las raíces de las EM.

Los valores encontrados de captura de CO₂ presentaron variaciones para los periodos muestreados, esto pudo deberse a la influencia de los parámetros fisicoquímicos del agua de la zona de influencia, a la presencia de actividades antrópicas como la minería, agricultura, ganadería y vertimientos. Estos pueden generar cambios en los procesos de fotosíntesis y respiración celular de las EM y, por ende, cambios en sus características de captura y almacenamiento de carbono.

RECOMENDACIONES

La captura de CO₂ no es una característica única de la biomasa aérea o radicular, el suelo también la posee, por lo que sería un buen aporte a la comunidad científica complementar estas investigaciones de captura de carbono por EM, con los estudios de captura en suelos cenagosos y en diferentes plantas terrestres encontradas en ecosistemas de agua léntica.

Para lo anterior, se recomienda realizar mayor recorrido ambiental de la zona en la cual se realice el muestreo de las EM, ya que de esta forma se podría incluir más información de las EM presentes, incrementando la identificación de especies y generando mayor concientización sobre la función de este tipo de ecosistemas en la dinámica ambiental. Respecto a recorridos por el lugar de muestreo, también se recomienda realizar recorridos en el municipio más cercano a la zona de influencia para llevar a cabo una valoración socioeconómica de las EM, es decir, conocer los productos que se extraen de ellas, como materias primas o sustancias orgánicas y medicinales.

Por otro lado, para las mediciones de los parámetros fisicoquímicos del agua, se recomiendan realizar muestreos de oxígeno disuelto en horas de la mañana, tarde y noche, esto con el fin de determinar y comparar los valores a diferentes horas del día y obtener un valor promedio de oxígeno disuelto más representativo. Para los muestreos de pH también se sugiere realizar diversos muestreos, específicamente uno en el día y otro al final de la tarde, debido a que el pH influenciado por las concentraciones de CO₂, ya que actúa como sustancia ácida y hace parte de su proceso de fotosíntesis.

En caso de estudiar la correlación de los parámetros fisicoquímicos del agua con los atributos ecológicos de la EM encontradas, se debería añadir los parámetros de profundidad del agua y de salinidad, ya que con estos parámetros habrá más información para análisis y verificación de relación entre variables.

Para la toma de muestra de las EM, se sugiere hacer uso de toallas para quitar el exceso de humedad presente en la planta, y para aquellas plantas que se encuentran sujetas al sustrato se recomienda el uso de brochas para quitar el exceso de tierra, en caso de realizar el muestreo de la

biomasa aérea y radicular, se sugiere realizar la separación de ambas partes en las locaciones en donde se realice el análisis de las características, de esta forma se asegura una menor pérdida de humedad.

Al momento de realizar el secado de las EM, se recomienda realizar pruebas sobre la temperatura y tiempo de secado idóneo para cada especie. Posterior al secado, y específicamente cuando se sometan calcinación las EM, se sugiere hacer uso de una mufla de buena capacidad, ya que con esto el proceso de laboratorio es más dinámico y tiene menos retraso.

Si se hará el análisis de las muestras en laboratorios de uso constante, se debe asegurar que los equipos y elementos se encuentren disponibles y en condiciones óptimas para su uso. En caso de utilizar equipos de medición de parámetros, se recomienda hacer la calibración de los equipos antes de su uso, y leer los manuales e instructivos para el correcto uso y cuidados de los equipos.

Es de gran utilidad para profesionales y estudiantes de ingeniería conocer y explorar diversos programas que hagan más fácil y eficiente los procesos de obtención de datos, tratamiento de variables y representación gráfica. Respecto a los cálculos de índices de diversidad, se recomienda el uso del software Past; para los cálculos de correlación estadística se recomienda el software IBM SPSS Statistics, y como programa para la representación gráfica por medio de imágenes satelitales se recomienda el uso de QGIS.

Por último, La preservación y conservación de zonas como los ecosistemas cenagosos es vital debido a la interacción biológica presente en este tipo de ambientes, de hecho, gracias a la productividad de estos entornos, el CCZ fue reconocido como sitio RAMSAR, por lo que es vital la toma de acciones que representen mayor reconocimiento y estudio de cada uno de los fenómenos y especies vegetales y animales encontrados. Respecto a los servicios ecosistémicos prestados por el CCZ, podemos resaltar la captura de CO₂ por EM flotantes, emergentes y enraizadas a lo largo y ancho del sistema cenagoso, por lo que por medio de esta investigación se sugiere continuar el estudio de las EM encontradas en la CCZ y en los dos departamentos en los cuales se encuentra situada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía Municipal de Chiriguaná (2020). INFORMACIÓN MUNICIPAL.

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

Atehortua, E., & Gartner, C. (2013). Estudios preliminares de la biomasa seca de Eichhornia Crassipes como adsorbente de Plomo y Cromo en aguas. Revista Colombiana de Materiales, 81-92.

Ávila Pérez, H., García Ibañez, S., & Rosas-Acevedo, J. L. (2015). Análisis de Componentes Principales, como herramienta para interrelaciones entre variables fisicoquímicas y biológicas en un ecosistema léntico de Guerrero, México. Revista Iberoamericana de Ciencias, 43-53.

Barrero Lancheros, M. I., & Márquez Peña, A. (2015). Evaluación de la calidad del agua en el Humedal La Conejera, Localidad 11 de Suba. <http://hdl.handle.net/11349/4299>

Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. IDEAM.

Bernal, R., Gradstein, S., & Celis, M. (2015). Catálogo de plantas y líquenes de Colombia Volumen 1. Bogotá, Colombia.

Caicedo Villate, S. M., & 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. Bogotá: Universidad de Santo Tomás.

Cárdenas Cadme, D. G., & Macías Criollo, J. J. (2022). Determinación de factores físicoquímicos en cuerpos lénticos en el Páramo del Macizo del Cajas. Cuenca: Universidad del Azuay.

Carlini, M., Castellucci, S., & Mennuni, A. (2018). Water hyacinth biomass: chemical and thermal pre-treatment for energetic utilization in anaerobic digestion process. *Energy Procedia*, 431-438.

Chang Ocaña, C., & 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>

Clavijo, J. A. (s.f.). Monitoreo de gases en minería. Agencia Nacional de Minería.

Cumana Campos, L. J. (2010). Clave para especies de *Ludwigia* L. (Onagraceae) de la región nor-oriental e insular de Venezuela depositadas en el Herbario IRBR. *Acta Botánica Venezuéllica*, 299-327.

DANE. (2022). Cuentas departamentales. Bogotá: DANE.

Duque, D. S. (2016, 22 diciembre). ANALISIS DEL CARBONO SECUESTRADO EN HUMEDALES ALTOANDINOS DE DOS ÁREAS PROTEGIDAS DEL ECUADOR | *Ecología Aplicada*. Recuperado 18 de octubre de 2022, de <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/eau/article/view/756>

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#>

FAO. (2017). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Fernández, M. Y. (2017). Revisión de métodos para la estimación de captura de carbono almacenado en bosques naturales.

Gordon, E., & Feo, Y. (2007). Dinámica de crecimiento de *Hymenachne amplexicaulis* en un humedal herbáceo en el estado Miranda (Venezuela). *Acta Botánica Venezuéllica*, 1-18.

Guevara Granja, M. F., & Ramírez Cando, L. J. (2015). Eichhornia crassipes, su invasividad y potencial fitorremediador. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

H. Peck, J., & E. Serviss, B. (2011). Neptunia oleracea (Fabaceae) new to the continental United States, with new and noteworthy records of several angiosperms in Arkansas. Journal of the Botanical Research Institute of Texas, 321-326.

Hernández R.; Fernández, C. & Baptista, P. (2003). Metodología de la investigación, 3. ed. México D.F.: McGraw

Hernández Sampieri Roberto, 2006. Metodología de la investigación. MCGRAW-HILL.

IDEAM, PNUD, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Departamento Nacional de Planeación, CANCELLERÍA. (2018). Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Bogotá: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM.

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

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2004). Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia. Bogotá: IDEAM.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Suecia: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2018). Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1,5 °C. (Informe N° 1). Suecia.

López, S. L. (2017, 20 junio). Determinación de la cantidad de CO₂ capturado y O₂ producido por los diferentes biotopos en el humedal Santa María del Lago. Recuperado 18 de octubre de 2022, de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2887>

- Marco, L., Azario, R., Metzler, C., Garcia, M. D., Marcó, L., & 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).
- Medrano, R., Chupan, L., y Vila, M., (2012). Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 2(2), 110-117.
- Méndez Santos, I. E., & González-Sivilla, R. (2020). Expansión de *Ludwigia helminthorrhiza* (Onagraceae) en Cuba. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 77, e104.
- Ministro de Ambiente “Colombia está comprometida con la acción climática global”. (2021, 27 septiembre). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado 18 de octubre de 2022, obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico/colombia-esta-comprometida-con-la-accion-climatica-global-ministro-de-ambiente/>
- Mita, M. (2019). Evaluación de la captura de carbono en los bofedales de la laguna de Conococha en base a la especie de flora predominante del área de estudio - Provincia de Recuay - Departamento de Ancash - 2018 (Tesis de grado). Recuperada de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2829>
- Montero, G., & Ruiz-Peinado, R. (2005). Producción de de Biomasa y Fijación de CO₂ Por Los Bosques Españoles. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Murgueitio, E., & Ibrahim, M. (2008). Ganadería y medio ambiente en América Latina. ResearchGate, 187-196.
- Murillo Hinestroza, Y., & Vargas Porras, L. (2014). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas del agua en la zona litoral, limnética y el caño de la ciénaga La Honda, Tanguí, Medio Atrato, Chocó, Colombia. *Bioetnia Volumen 11*, 5-10.

- Navarro, R. M. N., Espinosa Lloréns, Ma. del C., Gutiérrez., J. G., & 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>
- Orellana, G., Sandoval, M., Linares, G., García, N. y Tamariz, J. (2012). Descripción de la dinámica de Carbono en Suelos Forestales mediante un Modelo de Reservorios. Avances en Ciencias e Ingeniería, 3(1), 123-135.
- Organización de las Naciones Unidas. (1992). Convenio sobre la diversidad biológica.
- Organización de las Naciones Unidas. (25 de Septiembre de 2015). ONU. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Palomino Contreras, D., & Cabrera Carranza, C. (2008). Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo. Revista del Instituto de Investigadores FIGMMG, 49-59.
- Pearson, T., Walker, S., & Brown, S. (2005). Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. Winrock International.
- Peña Pulla, E. (2007). Calidad de agua. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Quintero Cardozo, J. A. (2021). Concentraciones de metales traza, calidad seminal en peces de alto valor comercial y alternativas de manejo de la contaminación con macrófitas nativas en el Magdalena medio colombiano. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Rial B, A. (2013). Plantas acuáticas: aspectos sobre su distribución geográfica, condición de maleza y usos. Biota Colombiana, 78-90.
- Roa-García, M. C., & Brown, S. (2016). CARACTERIZACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE CARBONO EN PEQUEÑOS HUMEDALES ANDINOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO BARBAS (QUINDÍO, COLOMBIA): Characterization of carbon storage in small

- Andean Wetlands of the upper Río Barbas Watershed (Quindío, Colombia). *Caldasia*, 38(1), 117–136. <http://www.jstor.org/stable/90008899>
- Sánchez, O. (2007). Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*, 11.
- Sequeiros Abarca, D., & 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>
- Smith, L., & Smith, R. (1989). *Eichhornia crassipes: An invasive aquatic plant in the United States*. Washington: U.S. Geological Survey Circular 1044. Government Printing Office.
- Suárez Duque, D., Acurio, C., Chimbolema, S., & 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. P., Vanegas Padilla, A. P., Romero Benjumea, L. A., Cahuana Mojica, A. B., Royero Ibarra, A. C., & Rodríguez Díaz, Y. J. (21 de Junio de 2021). LINEAMIENTOS Y GUÍA ORIENTADORA PARA LA ESTRUCTURACIÓN Y FORMULACIÓN DEL ANTEPROYECTO Y PROYECTO DE GRADO EN EL PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA. Valledupar, Colombia.
- Uribe, C. M. (2022, 24 mayo). PERCEPCION DE LOS POBLADORES DEL MUNICIPIO DE CHIRIGUANÁ, CESAR, SOBRE LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL, QUE APLICAN LAS EMPRESAS CARBONÍFERAS, EN SU TERRITORIO. Universidad de Manizales. Recuperado septiembre de 2016, obtenido de URIBE_URAN_CARLOS_MARIO.pdf (umanizales.edu.co)
- Vista de Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha. (s. f.). Recuperado 18 de octubre de 2022, de <http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/52/51>

W, L., & Rafiqpoor. (2000). Páramo de Papallacta. A physiogeographical map 1:50.000 of the area around the Antisana. Ecuador.

Wetzel, R. (2005). Principles of Water Resources: History, Development, Management, and Policy. Limnology, 67-68.

Wetzel, R. (2005). Principles of Water Resources: History, Development, Management, and Policy. 2nd Edition.

World Wild Life. (2 de Abril de 2019). WWF. Obtenido de <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/que-es-la-biodiversidad#:~:text=La%20biodiversidad%20comprende%20los%20distintos,que%20conforman%20nuestro%20mundo%20natural>.

ANEXOS

ANEXO1. Proceso para la cuantificación del CO₂ en las EM.

No.	Proceso	Imagen	No.	Proceso	Imagen
1	Separación de la biomasa aérea y radicular de las macrófitas.		5	Calcinación de las muestras de biomasa aérea y radicular de las macrófitas	
2	Obtención de peso húmedo de la biomasa aérea y radicular de las macrófitas.		6	Obtención del peso calcinado de las muestras de biomasa aérea y radicular de las macrófitas	
3	Secado de macrófitas biomasa aérea y radicular de macrófitas.				
4	Obtención de peso seco de biomasa aérea y radicular de macrófitas				

ANEXO 2. Llegada al sitio de muestreo en periodo lluvioso.



ANEXO 3. Medición de la transparencia Secchi.



ANEXO 4. Medición de turbiedad.



ANEXO 5. Equipo utilizado para la medición de pH, temperatura del agua y conductividad eléctrica.



ANEXO 6. Mufla utilizada para la calcinación de las macrófitas.



ANEXO 7. Horno utilizado para el secado de las macrófitas.



ANEXO 8. Equipo utilizado para la medición del oxígeno disuelto.



ANEXO 9. Balanza digital utilizada para el pesado de las macrófitas.



ANEXO 10. Refrigerador utilizado para el almacenamiento de muestras de agua y macrófitas.



ANEXO 11. Certificado de la participación de la VII Jornada de Socialización de Resultados de Investigación.



VII Jornada de Socialización de Resultados de Investigación

Certificado

Otorgado a:

*Roberto Carlos Martínez Romero, Eliana Margarita Moscote Vides,
Yim James Rodríguez Díaz*

Por su participación en calidad de **PONENTE**, con el trabajo titulado:

**VARIABILIDAD DE ESPECIES MACROFITAS PREDOMINANTES EN LA ZONA DE
INFLUENCIA DEL MUNICIPIO DE CHIRIGUANA, CIENAGA LA ZAPATOSA**

Dado en Valledupar, a los 10 días del mes de noviembre de 2023



Clarivel Parra Ditta
Vicerrectora de Investigación y Extensión