

**EVALUACIÓN DE LA CAPTURA DE CO₂ DE LAS MACRÓFITAS
PREDOMINANTES EN LA CIÉNAGA DE ZAPATOSA ZONA DE INFLUENCIA DE
CHIMICHAGUA-CESAR**



AUTOR:

OSCAR RAÚL SERNA VILLARREAL

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2024

**EVALUACIÓN DE LA CAPTURA DE CO₂ DE LAS MACRÓFITAS
PREDOMINANTES EN LA CIÉNAGA DE ZAPATOSA ZONA DE INFLUENCIA DE
CHIMICHAGUA-CESAR**

AUTOR:

OSCAR RAÚL SERNA VILLARREAL

DIRECTOR

YIM JAMES RODRIGUEZ DÍAZ

ASESORES:

ELIANA MARGARITA MOSCOTE VIDES

KARINA CASTELLANOS ROMERO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

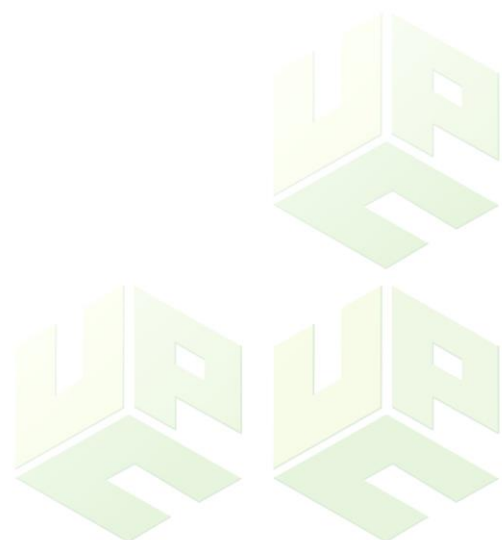
VALLEDUPAR – CESAR

2024

DEDICATORIA

Dedicado con mucho amor a mi madre, Rosa Milena Villarreal Fontalvo, con mucho respeto a mi padre, Raúl Javier Serna Fragozo, con mucho cariño a mi abuela, Madolina Esther Fontalvo García, y a mis queridas hermanas Diana Milena Serna Villarreal y Valeria Serna Villarreal. Mi familia, la principal motivación de mi vida.

Oscar Raúl Serna Villarreal



AGRADECIMIENTOS

Primero, extendiendo mi agradecimiento a Dios por brindarme la oportunidad, la sabiduría y entendimiento para finalizar esta investigación, después, a mi familia por su apoyo incondicional en todo el proceso y por estar siempre cuando los necesito.

Agradezco con mucho respeto y admiración al director del proyecto, Yim James Rodríguez Díaz y a la asesoras del proyecto Eliana Margarita Moscote Vides y Karina Castellanos Romero por guiarnos por el mejor camino con su amplia experiencia en investigación. Asimismo, a los compañeros Edwar Daniel Cruz Lerma y Roberto Carlos Martínez Romero por su compañía en todo el trayecto de formación profesional y el desarrollo del proyecto de grado.

Agradezco a mis amigos Margarita Rosa Agudelo Rico, Belisa Andrea Castilla Gómez, Angela Fernández Laguna, Eliecer Sebastián Fragozo Morales, Keller David Díaz Almanza y José David Muñoz Vergara por su compañía, apoyo moral y emocional que fue muy significativo para mí.

Oscar Raúl Serna Villarreal

RESUMEN

Este proyecto de investigación se enfocó en evaluar la captura de CO₂ de las macrófitas predominantes en la Ciénaga de Zapatosa en la zona de influencia de Chimichagua, Cesar. En esta zona de estudio se aplicó el método de transectos lineales para el muestreo de macrófitas y la ubicación de cuadrantes de 1 m² para determinar la distribución espacial de especies. También se caracterizaron los parámetros fisicoquímicos del agua: Temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Turbiedad y Transparencia con sondas multiparamétricas portátiles y el disco de Secchi, también se tomaron muestras del agua en contacto con las especies vegetales. Se estimó la captura de CO₂ por medio del secado de las muestras, así como también los pesos iniciales y finales después de la calcinación en mufla.

Los resultados de la estimación del potencial de captura de CO₂ para el periodo lluvioso indican que la especie *H. Amplexicaulis* contó con el mayor potencial de captura de CO₂ en sus estructuras aéreas, este fue de 195,814 gr/m² y en sus estructuras radiculares de 85,058 gr/m². En época seca el mayor valor fue para *P. repens* con 179,603 gr/m² y 84,893 gr/m² para las estructuras aérea y radiculares, respectivamente. La correlación entre los atributos ecológicos y los parámetros fisicoquímicos del agua en los dos periodos analizados permitió analizar la relación e influencia que tiene el agua en las poblaciones de macrófitas y viceversa. los parámetros como pH, conductividad, oxígeno disuelto mostraron estar estrechamente relacionados con los atributos ecológicos de las macrófitas.

Palabras clave: Macrófitas, Correlación, Transectos, *H. Amplexicaulis*, *P. repens*.

ABSTRACT

This research project focused on evaluating the capture of CO₂ by the predominant macrophytes in the Ciénaga de Zapatosa in the area of influence of Chimichagua, Cesar. In this study area, the linear transect method was applied for sampling macrophytes and the location of 1 m² quadrats to determine the spatial distribution of species. The physicochemical parameters of the water were also characterized: Temperature, pH, Conductivity, Dissolved Oxygen, Turbidity and Transparency with portable multiparametric probes and the Secchi disk, samples of the water in contact with the plant species were also taken. The CO₂ capture was estimated by drying the samples, as well as the initial and final weights after muffle calcination.

*The results of the estimation of the CO₂ capture potential for the rainy period indicate that the species *H. Amplexicaulis* had the highest CO₂ capture potential in its aerial structures, this was 195,814 gr/m² and in its root structures 85,058 gr/m². In the dry season, the highest value was for *P. repens* with 179,603 gr/m² and 84,893 gr/m² for the aerial and root structures, respectively. The correlation between the ecological attributes and the physicochemical parameters of the water in the two periods analyzed allowed us to analyze the relationship and influence that water has on macrophyte populations and vice versa. Parameters such as pH, conductivity, and dissolved oxygen were shown to be closely related to the ecological attributes of macrophytes.*

Keywords: *Macrophytes, Correlation, Transects, *H. Amplexicaulis*, *P. repens*.*



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	15
3. OBJETIVOS	17
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4. MARCO REFERENCIAL.....	18
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
4.2. MARCO TEÓRICO	21
4.2.1 Sistemas Lénticos	21
4.2.2 Humedal	21
4.2.3 Macrófitas	21
4.2.4 Fotosíntesis.....	22
4.2.5 Ciclo Del Carbono	22
4.2.6 Captura Y Depósitos De Carbono	22
4.2.7 Método Indirecto (DAP)	23
4.2.8 Muestras De Agua	23
4.2.9 Muestras De Biomasa Aérea	23
4.2.10 Muestras De Biomasa Radicular	23
4.3. MARCO CONCEPTUAL	24
4.3.1 Cambio Climático	24

4.3.2 Ecosistema.....	24
4.3.3 Fauna.....	24
4.3.4 Flora.....	24
4.3.5 Gases De Efecto Invernadero.....	24
4.4. MARCO CONTEXTUAL.....	25
4.4.1. Caracterización y Descripción Geográfica.....	25
4.4.2. Aspectos de Contextualización Locativa.....	26
4.4.3. Representación Espacial y Geográfica.....	26
4.5. MARCO LEGAL.....	27
5. MARCO METODOLÓGICO.....	29
5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN.....	29
5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	29
5.5. MUESTRA POBLACIONAL.....	30
5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
5.7. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO.....	30
5.7.1 Etapa 1: Identificación De Los Tipos De Macrófitas Predominantes Junto Con Las Características Del Agua En Su Entorno.....	30
5.7.2 Etapa 2: Estimación La Cantidad De Carbono Almacenado En La Biomasa Aérea Y Radicular De Las Plantas Macrófitas Predominantes Vivas.....	32
5.7.3 Etapa 3: Correlación De Las Características De Las Macrófitas Con Los Parámetros Físicoquímicos Del Agua En La Zona De Influencia Del Municipio De Chimichagua.....	35
6. RESULTADOS Y ANALISIS.....	37

6.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE MACRÓFITAS PREDOMINANTES JUNTO CON LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA EN SU ENTORNO.....	37
6.1.1. Determinación De La Ubicación:	37
6.1.2. Identificación Las Macrófitas Predominantes:	38
6.1.3. Muestras De Agua:	45
6.1.4. Caracterización Las Muestras De Agua Tomadas:.....	46
6.2. ESTIMACIÓN LA CANTIDAD DE CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA Y RADICULAR DE LAS PLANTAS MACRÓFITAS PREDOMINANTES VIVAS.	49
6.2.1. Muestras De Biomasa:	49
6.2.2. Secado De Muestras:.....	49
6.2.3. Calcinación En Mufla:	50
6.2.4. Estimación De La Cantidad De Carbono:.....	51
6.3. CORRELACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MACRÓFITAS CON LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL MUNICIPIO DE CHIMICHAGUA.....	55
6.3.1. Correlación De Los Parámetros Físicoquímicos Del Agua	55
6.3.2. Correlación De Los Atributos Ecológicos Con Los Parámetros Del Agua	57
7. CONCLUSIONES	60
8. RECOMENDACIONES.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ecuación general de la fotosíntesis	22
Figura 2. Ubicación geográfica del municipio de Chimichagua, Cesar.....	25
Figura 3. Delimitación geográfica del municipio de Chimichagua, Cesar	26

Figura 4. Mapa de ubicación geográfica del punto de muestreo de macrófitas en el Municipio de Chimichagua, Cesar.	37
Figura 5. Registro fotográfico de la especie E. Azurea.....	39
Figura 6. Registro fotográfico de la especie H. amplexicaulis.	40
Figura 7. Registro fotográfico de la especie S. obtusifolia.	41
Figura 8. Registro fotográfico de la especie P. repens.....	42
Figura 9. Registro fotográfico de la especie N. Oleraceae	43
Figura 10. Distribución espacial de las EM encontradas en la zona de influencia de Chimichagua, Cesa (Época de lluvias).	44
Figura 11. Distribución espacial de las EM encontradas en la zona de influencia de Chimichagua, Cesa (Época seca).	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad aplicada al proyecto.....	27
Tabla 2. Métodos y equipos utilizados para la determinación de los parámetros fisicoquímicos	31
Tabla 3 Cobertura vegetal (%) para época de lluvias y seca.	43
Tabla 4. Caracterización del agua en época de lluvia y seca.....	46
Tabla 5. Pesos húmedos de las estructuras aéreas y radicales (Época de lluvias y seca). ..	49
Tabla 6. Pesos secos de las estructuras aéreas y radicales (Época de lluvias y seca).	50
Tabla 7. Pesos iniciales y finales de la calcinación en mufla (Época de lluvias)	50
Tabla 8. Pesos iniciales y finales de la calcinación en mufla (Época seca)	51
Tabla 9. Porcentaje de humedad de las EM predominantes en época de lluvia y seca.	53
Tabla 10. Valores determinados de captura de CO ₂ de las EM (época de lluvias).....	53
Tabla 11. Valores determinados de captura de CO ₂ de las EM (época seca).....	54
Tabla 12. Correlación de los parámetros fisicoquímicos medidos en la zona de estudio.	55
Tabla 13. Índices de diversidad de la zona de influencia de Chimichagua	57

Tabla 14. Correlación de los atributos ecológicos con los parámetros fisicoquímicos del agua (Época de lluvias) 57

Tabla 15. Correlación de los atributos ecológicos con los parámetros fisicoquímicos del agua (Época seca)..... 58



INTRODUCCIÓN

La contaminación producida por el incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) ha dado lugar al Cambio Climático (CC), representando uno de los principales problemas para la humanidad y el ambiente, haciéndose más notorios debido al aumento de las actividades industriales asociadas a los modelos económicos predominantes y al crecimiento demográfico amplificando el impacto atmosférico a nivel mundial, a esto se le suma las actividades relacionadas con la ganadería extensiva y la agricultura que impactan negativamente al ambiente (Fernández, 2013).

El objetivo de esta investigación es evaluar la capacidad de captura de Dióxido de Carbono (CO₂) de las Especies Macrófitas (EM) que predominan en el Complejo Cenagoso de Zapatosa (CCZ) en la zona de influencia correspondiente al Municipio de Chimichagua. El interés de realizar este estudio es suministrar un aporte a la ciencia, la investigación en general y específicamente al campo de la Ingeniería Ambiental a partir de la búsqueda de información pertinente de la función ecosistémica de estas especies en el ambiente (Caicedo y Herrera, 2015).

Por otra parte, el proyecto de investigación se desarrolló en un tiempo de aproximadamente doce meses, y se llevó a cabo con los equipos y el laboratorio del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar, el método fundamentado para el muestreo de macrófitas fue el de transectos lineales y se determinó el contenido de carbono utilizando los pesos secos y contenidos de minerales de las muestras. Para las muestras de agua y su análisis se siguieron los lineamientos establecidos en la guía metodológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para determinar sus características fisicoquímicas como el pH, oxígeno disuelto, turbiedad, temperatura y conductividad con el fin de correlacionar estas con los atributos ecológicos de las EM en las temporadas de lluvia y sequía.

Finalmente, como resultados se encontraron las especies predominantes de macrófitas y su capacidad de captura de CO₂, además de las características fisicoquímicas del agua en su entorno y por medio de la correlación de Spearman cómo estas pueden influenciar a las poblaciones de macrófitas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las actividades antrópicas y naturales, han aumentado las concentraciones de GEI y la temperatura media de la atmósfera terrestre, entre estos compuestos es de especial interés para la presente investigación el CO₂; al respecto, la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2021) reportó que entre los años 2019-2020, los niveles de CO₂ en la atmósfera alcanzaron sus niveles históricos más altos (410 ppm), lo que equivale a un 148% superior a los niveles de la época anterior a la industrialización. Este efecto trae consigo consecuencias en diversos aspectos de la sociedad, como la salud, agricultura, recursos hídricos, diversidad biológica, entre otros (Palomino y Cabrera, 2007).

A nivel nacional, esto se refleja en que el 100% de los municipios que comprenden la nación presentan un alto riesgo por el CC, entre los que se encuentran San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Vaupés y Amazonas como los departamentos con mayor riesgo. Debido a la variabilidad climática Colombia ha perdido el 60% de la superficie de los glaciares en los últimos 60 años, además, de que las temporadas de lluvia y sequía han generado estragos que han alcanzado cifras de hasta 11,2 billones de pesos en daños. Este tipo de impactos también se deben a la ubicación geográfica del país, y en estas situaciones son mayormente afectados los recursos hídricos y los cultivos, lo cual disminuye la seguridad alimentaria del país (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2021).

Asimismo, el uso no sostenible de las zonas naturales que actúan como sumidero de GEI como los humedales ha llevado al deterioro de estos impactando a los seres vivos interactuantes con los ecosistemas, como consecuencia del aumento de CO₂ y los otros gases de efecto invernadero se espera que la temperatura media global aumente en entre 1,8 a 5,8 C en las próximas décadas (Estrada, 2001).

Con base en los estudios realizados con el uso del sistema estadístico RCLimindex se analizó diversos casos climáticos a lo largo del territorio Colombiano obteniendo un calentamiento generalizado entre 0,1 a 0,2° C/decenio, reducción de fenómenos de heladas, temperaturas

máximas, cambios y aumentos en las precipitaciones en todo el territorio colombiano (Pabón, 2012).

Todo esto conlleva a la aparición de enfermedades, pérdida de ecosistemas, lluvias y sequías prolongadas a nivel regional, contrastante con el PIB del departamento del Cesar que ha experimentado un aumento gracias al “corredor minero” donde se ha visto una mejora económica, sin embargo, esta actividad no ha sido favorable en todos los ámbitos ya que son emisoras de GEI contribuyendo al CC, y deteriorando la calidad de vida de los habitantes cercanos a la zona de influencia presentando también problemas sociales y pérdida de biodiversidad (Bonet, 2007).

A nivel local, algunas zonas del municipio de Chimichagua se ven afectadas en las épocas de lluvia por inundaciones aluviales producto de la contribución de caudal de los Ríos Magdalena y Cesar al CCZ. Este se encarga de regular este caudal, pero cuando se presentan temporadas prolongadas de lluvias este volumen de agua excesivo tiende a inundar algunos corregimientos de Chimichagua como Sempegua (Amaya, 2017). Los fenómenos exógenos como el CC afectan el ciclo de las lluvias en toda la cuenca del río Magdalena y Cesar esto acentúa los períodos de inundaciones y sequías en el la Ciénaga de la Zapatosa y demás humedales de la depresión Momposina. (Viloria, 2008).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El objetivo de la presente investigación será evaluar la captura de carbono por las EM en la cuenca baja del Río Cesar con la intención de dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿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

Ante los impactos relacionados al CC fueron establecidas metas a nivel internacional y nacional. El objetivo 13 “Acción por el clima” de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2015 indica que es necesario tomar medidas urgentes para mitigar los efectos del CC, lo que requiere conocer la importancia e información de los servicios ecosistémicos que prestan las zonas naturales para incentivar su cuidado y preservación. El CCZ, cuenta con una diversidad de EM que aparentan ser una solución apropiada para la disminución de la concentración del CO₂ en la atmósfera por la acción de la fotosíntesis. (Medrano et al., 2012).

A nivel nacional, se establecieron metas para reducir las emisiones de GEI en un 51% para el año 2030 (MADS, 2021), para cumplir el objetivo requiere realizar diversas acciones contempladas en los artículos del Acuerdo de París, en la que se resalta el Artículo 5, este incentiva la conservación y mejora de los sumideros y depósitos de gases de efecto invernadero (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [CMNUCC], 2015). La zona en la cual se realizó la investigación hace parte de este grupo de sumideros y depósitos de Carbono, por lo cual un mal manejo de la zona o un cambio en el uso del suelo podría generar la salida de gran cantidad de gases contaminantes, perjudicando a las especies vegetales y animales de la zona y a las poblaciones asentadas en cercanías como el municipio de Chimichagua y sus corregimientos.

Es por esto por lo que es de vital importancia conocer más información de los humedales (Chang y Madariachi, 2021) y particularmente del CCZ debido a su servicio ecosistémico, cultural, económico y social en la región caribe, específicamente en los departamentos del Cesar y Magdalena, esta ciénaga representa un modo de subsistir para muchas familias que viven en sus orillas. A través de la identificación de las EM predominantes en la zona de influencia del municipio de Chimichagua y la estimación de la captación de CO₂ de las mismas, se conocerán las especies vegetales con mayor cobertura vegetal, dominancia, presencia y su servicio en la zona, de esta forma se divulgará información de primera mano que aportará a la línea base del estudio de la captura de CO₂ en este tipo de ecosistemas. En Colombia hay muy pocas investigaciones de

esta temáticas en los humedales, países como Perú cuentan un sólido registro de investigaciones en humedales altoandinos y costeros.

La información obtenida en esta investigación podría servir como insumo para otras propuestas de conservación, protección o investigación en este ecosistema, además le aporta más documentación e información en captura de Carbono al programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, este aporte es significativo porque esta temática de estudio es muy poco investigada por los estudiantes del programa, además de darle un enfoque a otro tipo de ecosistemas como son los cuerpos de agua, y no solo a los bosques que por lo general son más estudiados en cuanto a la captura de Carbono.



3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la captura de CO₂ de las macrófitas predominantes en la Ciénaga de Zapatosa zona de influencia de Chimichagua, Cesar.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

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



4. MARCO REFERENCIAL

Posteriormente, se expondrán los trabajos e investigaciones de autores que realizan aportes a la presente investigación; los soportes teóricos más importantes que ayudan a cimentar el desarrollo del proyecto; palabras usadas con frecuencias en el trabajo, conceptos y definiciones de interés; la especificación de la ubicación geográfica y delimitación de la zona de estudio del proyecto y, por último, la normativa vinculada con el área temática de la investigación.

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se presentarán algunas de las investigaciones consultadas que se tuvieron en cuenta para la estructuración del proyecto, estas cuentan con aportes directos a la presente investigación y se ordenarán de manera cronológica.

Ceras y Suarez (2021), desarrollaron la tesis titulada “Estimación del Servicio Ambiental de la Captura de CO₂ en Totorales del Humedal Pucush Uclo, Chupaca – Junín” para obtener el título de Ingeniero Ambiental en la Universidad César Vallejo de Perú. En este estudio se definió como objetivo principal de estimar el servicio ambiental de almacenamiento de carbono en la totora y suelo, para llevar a cabo este objetivo ubicaron con coordenadas geográficas el humedal y tomaron las muestras de biomasa aérea y suelo en cuatro cuadrantes de 1m² y posteriormente se secaron en el laboratorio para hallar el contenido de carbono presente por el método de Walkley-Black, después el carbono se estimó el CO₂ capturado por medio del factor de conversión. Los resultados del estudio indican un almacenamiento de CO₂ en las EM es de 126.01 tCO₂/ha y en todo el humedal sumando el aporte del suelo se captarían 1,995.63 tCO₂. Los aportes directos a la presente investigación son el factor de conversión (44/12) que se utilizó para llevar la cantidad de carbono determinada a términos de CO₂ para poder evaluar el servicio ambiental que presta este ecosistema.

Sequeiros y Cazorla (2020), realizaron el artículo científico titulado “Servicio ambiental de captura de carbono de los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, Tacna” con la finalidad de estimar el carbono almacenado en los bofedales del Centro Poblado Alto, en el desarrollo metodológico realizaron la recopilación de información de la zona de estudio con la ayuda de

imágenes satelitales, después recolectaron tres tipos de muestras: cobertura vegetal (biomasa aérea), turba o necromasa y suelo orgánico. Los resultados de la investigación muestran que el carbono total almacenado en los bofedales es de 157,18 tC/Ha. La contribución principal al presente estudio son las metodologías descritas para la toma de muestras de biomasa aérea de las macrófitas, esta se utiliza en el desarrollo metodológico del presente estudio.

Ampuero y Aponte (2020), en el estudio titulado “Estimación del carbono almacenado en un juncal de *Schoenoplectus americanus* en el humedal costero Los Pantanos de Villa (Lima, Perú).” obtuvieron como producto un artículo científico para reportar resultados de investigación, este tuvo como finalidad cuantificar el carbono capturado por la especie *Schoenoplectus americanus* en Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, teniendo en cuenta dos escenarios, uno de crecimiento natural y otro en un área impactada por un incendio hace un año. Se seccionaron 5 parcelas de 1m² cada una, en la cual se muestreo la biomasa aérea, radicular hasta 30cm de profundidad, después se estimó el contenido de carbono en la biomasa y en el suelo por medio del método de Dumas. Los resultados de la investigación mostraron que el almacenamiento de carbono en la zona de crecimiento natural fue de 305,7 t/ha y la zona incendiada almacenó 155,22 t/ha. El aporte directo a la investigación son las recomendaciones para la toma de muestras de biomasa radicular en las parcelas, este recurso también se usará en el desarrollo metodológico.

Chang y Madariachi (2017), realizaron la tesis llamada “Estimación de la captura de carbono en las especies predominantes del humedal Tragadero-Junín” para optar por el título profesional de Ingeniero Ambiental en la Universidad San Ignacio De Loyola ubicada en Lima, Perú. La finalidad de esta investigación fue evaluar la capacidad que tienen las especies predominantes del humedal Tragadero-Junín con respecto al almacenamiento de carbono por unidad de área, con el fin de cumplir este objetivo se tuvo en cuenta la sectorización de la vegetación en la zona para posteriormente recoger las muestras en 12 puntos de muestreo aleatorio de EM y del sustrato del suelo. Los resultados indican que en promedio de todas las especies vegetales analizadas almacenan 342.45 tC/ha y el sustrato del suelo 193.60 tC/ha y la captura total de CO₂ en el área el humedal es de 4095,14 tCO₂/ha. La contribución directa a la presente investigación es método del secado para la determinación del contenido de carbono en las

muestras, recomendado por ser un procedimiento fundamentado, este aporte se utilizará en un fragmento del desarrollo metodológico.

García (2013), en la tesis llamada “Estudio de la Biomasa Cistus Ladanifer L. y Retama Sphaerocarma L. como sumidero de CO₂: Existencias y Potencialidad” realizó una investigación en la Universidad de Extremadura de ubicada en España con la finalidad de evaluar que tan relevante es la presencia y que funciones pueden desempeñar las dos especies de matorrales más importantes en Extremadura, España por su distribución y abundancia. En el marco metodológico, se realiza una descripción específica del área de estudio, sus características físicas y un análisis cartográfico, posteriormente se hacen muestreos de tallos, hojas, raíces, hojarasca y suelo para determinarles el contenido de carbono y llevar a cabo un análisis estadístico. Los resultados muestran una captura de 3299,15 g/m² de CO₂ en la especie C. Ladanifer y 1069,11 g/m² en la especie R. Sphaerocarma. Las contribuciones al proyecto son el análisis utilizado para determinar la distribución espacial de las especies de interés, este se hizo por medio de software el cual facilita la representación e interpretación de los límites de distribución que presentan las especies. El recurso se utilizará en el desarrollo metodológico.

Maqbool y Khan (2013), realizaron el artículo científico titulado “Biomasa y contenido de carbono de macrófitas emergentes en el lago Manasbal, Kashmir: implicaciones para el carbono y el secuestro” estando vinculados a la Universidad Central Pondicherry en India, esta investigación tuvo como propósito estudiar el potencial de las macrófitas emergentes en la captura y secuestro de carbono en el lago Masnasbal, en su metodología se enfocaron en 15 EM para determinar su contenido de carbono orgánico, la biomasa y el calcio secando las muestras a 105°C por 24 horas para obtener los pesos secos de la biomasa. Los resultados de la comparación que hizo entre las especies indican que Typha latifolia obtuvo el mayor potencial de secuestro de carbono y contenido de carbono con un 53,62% seguido de Phragmites australis con 52,02% y Cyperus difformis con 50,91%. Los aportes a la presente investigación son las temperaturas y los tiempos que se utilizaron para la eliminación de la humedad presente en la biomasa y obtener su peso seco, este aporte se utilizará en el desarrollo metodológico del proyecto.

4.2. MARCO TEÓRICO

Se presentarán las teorías relacionadas al tema en cuestión para el correcto entendimiento y contextualización del área de conocimiento donde se apoya la investigación.

4.2.1 Sistemas Lénticos

Normalmente se les considera sistemas cerrados porque el agua permanece dentro de un perímetro cóncavo sin fluir, teniendo como resultado intercambios de agua muy pequeños. Los aportes de agua por lo general son por medio de precipitaciones y contribuciones subterráneas. El exceso de agua será descargado por algún borde de menor altitud que tenga en su perímetro, este movimiento puede influir en características del ecosistema y por lo tanto la composición, estructura y funcionamiento de la vida presente en la zona. (Sánchez et al., 2007).

4.2.2 Humedal

Según el manual de la Convención RAMSAR (2016) los humedales son zonas donde el agua es el principal elemento que controla el ecosistema, la vida vegetal y animal presente en este. Están presentes en zonas de nivel freático muy cercano a la superficie del suelo, donde el suelo está cubierto por una capa de agua con una profundidad baja, estos cuerpos de agua se consideran sistemas lénticos y prestan importantes servicios ecosistémicos que abarcan la regulación del clima actuando como un sumidero de GEI, influyendo en la temperatura, precipitación y otros procesos vinculados directamente (Chang y Mandarachi, 2021).

4.2.3 Macrófitas

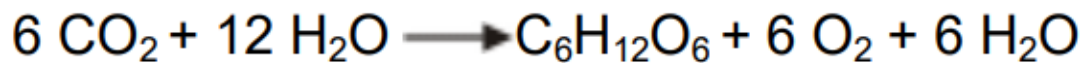
Contienen biomasa abundante especialmente las que se ubican en las orillas de los humedales, esta gran capacidad facilita el proceso de almacenamiento de CO₂ ya que alrededor del 50% de esta es Carbono (Dávalos et al., 2001). Los macrófitas conforman comunidades muy heterogéneas desde el punto de vista sistemático y evolutivo además de que son consideradas un eslabón muy importante en las cadenas tróficas de los ecosistemas acuáticos. (Cirujano et al., 2011).

4.2.4 Fotosíntesis

De acuerdo con Pérez (2009) la fotosíntesis se considera un proceso físico-químico que se da en plantas como las EM donde se utiliza la energía proveniente de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos complejos como la Glucosa. Es muy importante para los organismos vivos ya que tiene un efecto directo sobre la atmosfera terrestre debido a que el CO₂ es consumido en este proceso para la producción de los carbohidratos. Se estima que cada año más del 10% de este gas presente en la atmosfera es utilizado por los organismos con capacidad fotosintética.

Figura 1.

Ecuación general de la fotosíntesis



Nota: tomado de Ripa et al., 2016

4.2.5 Ciclo Del Carbono

El ciclo del carbono abarca los procesos físicos, químicos y biológicos que se llevan a cabo en los diferentes depósitos que tiene este elemento en el planeta tierra, estos depósitos están presentes en la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera, la rizosfera y la litosfera. (Chivelet, 2010). Específicamente, en la biosfera terrestre están presentes las especies vegetales que desarrollan un papel activo en este ciclo por medio de la fotosíntesis, esto proporciona información sobre alta influencia en la modificación de la concentración global del elemento (Da rocha et al., 2005).

4.2.6 Captura Y Depósitos De Carbono

Para Ortega et al. (2010) consiste en la disociación del CO₂ proveniente de fuentes industriales y del sector energético para extraer el Carbono, mediante la fotosíntesis, las estructuras vegetales de las macrófitas funcionan como compartimientos donde se deposita el Carbono, algunos de estos son: la biomasa aérea, la hojarasca, la necromasa y la biomasa subterránea (raíces)

(Enríquez y Cremona, 2017). Para estimar el carbono capturado se cuenta con diversos métodos propuestos por autores.

4.2.7 Método Indirecto (DAP)

Este método se puede utilizar conociendo datos como el diámetro existente a la altura al pecho (DAP), la altura total (H) y la densidad de la madera (GE), con esta información se puede calcular el carbono capturado en la biomasa total de los árboles, este método tiene en cuenta las ecuaciones alométricas por medio de las cuales se estima la biomasa de grupos de especies y bosques enteros. (Mena, 2008).

4.2.8 Muestras De Agua

Estas se tomarán siguiendo los lineamientos propuestos por la Guía Metodológica para toma de muestras en fuentes de agua superficiales hecha por el IDEAM en 2020, las cuales recomiendan que según la finalidad de parámetro a determinar será escogido el tipo de muestra a realizar, se usará el método simple tomando las muestras en un lugar y tiempo determinado.

4.2.9 Muestras De Biomasa Aérea

Teniendo en cuenta los antecedentes de la investigación se selecciona que el método para la toma de muestras de biomasa aérea se hará por medio de parcelamientos y aplicando la técnica de muestreo aleatorio simple en la cual todos los individuos tienen la misma posibilidad de ser escogidos (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 un previo parcelamiento y designación de cuadrantes que permitirán la recolección de las muestras radicular a las profundidades recomendadas para su posterior evaluación de contenido de carbono (Mita. 2019).

4.3. MARCO CONCEPTUAL

En este apartado se presentan los términos más utilizados en la investigación para la correcta interpretación de las ideas que se quieren transmitir.

4.3.1 Cambio Climático

Variación en el estado del sistema climático terrestre, que perdura durante periodos de tiempo suficientemente largos hasta alcanzar un nuevo equilibrio (IPCC, 2007).

4.3.2 Ecosistema

Complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos, y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional, y en el que el hombre se considera como parte integral (CDB, 1992).

4.3.3 Fauna

Conjunto de especies animales que habitan una región geográfica, los cuales están determinadas por factores como clima, temperatura, pendientes entre otros (Barrero y Márquez, 2015).

4.3.4 Flora

Conjunto de especies vegetales que se pueden encontrar en una región geográfica, se puede decir que la flora se refiere al número de especies y la vegetación a la distribución de éstas susceptibles a cambios y pérdidas (Barrero y Márquez, 2015).

4.3.5 Gases De Efecto Invernadero

Gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido

por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes. Esta propiedad causa el efecto invernadero (IPCC, 2007).

4.4. MARCO CONTEXTUAL

Se presentará la delimitación del espacio geográfico de la zona donde se llevó a cabo la investigación y así conocer su contexto.

4.4.1. *Caracterización y Descripción Geográfica*

El municipio de Chimichagua está ubicado el departamento del Cesar que hace parte de la región Caribe al nororiente de Colombia, sus coordenadas geográficas son 9°15'28"N 73°48'48"O. El municipio limita al norte con Astrea, al sur con los municipios de Pailitas y Tamalameque, por el este con los municipios de Curumaní y Chiriguaná, y por el oeste con el municipio de El Banco ubicado en el departamento de Magdalena. Además, cuenta con territorios colindantes con la Ciénaga de la Zapatosa, sitio Ramsar declarado en 2019 (Reyes, 2023).

Figura 2.

Ubicación geográfica del municipio de Chimichagua, Cesar.



Nota: tomado de Wikipedia, 2024.

4.4.2. Aspectos de Contextualización Locativa

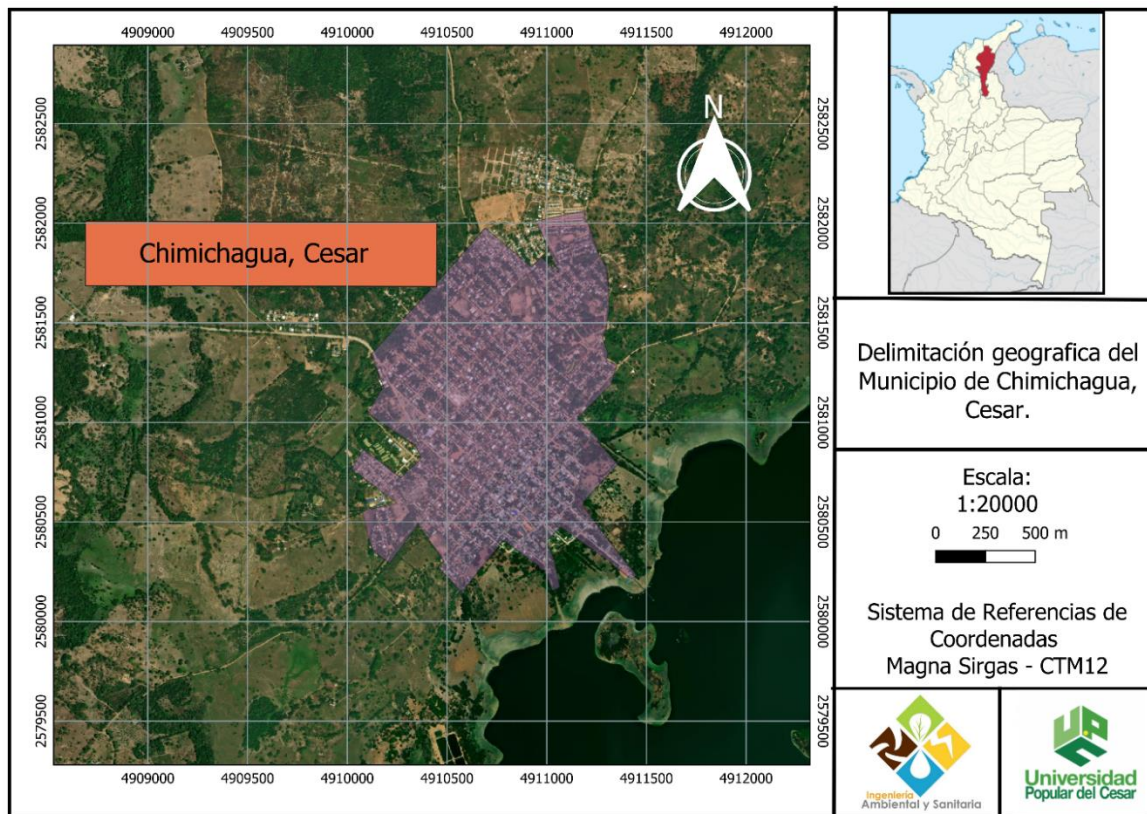
Chimichagua cuenta con una extensión territorial de aproximadamente 2147 km² donde gran parte es área rural (aproximadamente 1568 km²), dispone de altura media de 49 m.s.n.m. y una temperatura media que varía entre 30°C y 40°C, lo cual facilita la presencia de diversas especies de fauna y flora. Gracias a su posicionamiento geográfico la principal actividad económica es la pesca, tanto en la cabecera municipal como en los corregimientos del municipio, otros aportes económicos significativos de la región vienen de la ganadería y la agricultura las cuales se practican en las zonas rurales. (Alcaldía Municipal de Chimichagua, 2022).

4.4.3. Representación Espacial y Geográfica

Se presenta la delimitación geográfica del municipio usando imágenes satelitales con sus elementos cartográficos.

Figura 3.

Delimitación geográfica del municipio de Chimichagua, Cesar



Nota: Elaborado por el autor, 2024.

4.5. MARCO LEGAL

A continuación, se expondrá la normativa relacionada y aplicada al presente proyecto de investigación.

Tabla 1.

Normatividad aplicada al proyecto

Norma	Descripción	Aplicación
Constitución Política de Colombia de 1991	Art 63. Bienes inalienables, imprescindibles e inembargables determinados por la ley.	Estas normas proporcionan un sustento legal al proyecto de investigación debido a que se busca informar sobre la importancia ecosistémica de una zona natural que provee muchos beneficios a nivel local y nacional, mencionados en los artículos.
	Art 79. Derecho a un ambiente sano.	
	Art 80. Planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar el desarrollo sostenible.	
Convención Ramsar sobre Humedales de Importancia Internacional de 1971	Conservación y uso racional de los humedales y sus recursos.	Por medio de la investigación se proporcionará información que podría servir como base para programas de conservación y uso racional de estos ecosistemas. El CCZ fue declarado en 2019 un sitio Ramsar. ^a
Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD) de 1992	Medidas de conservación, aprovechamiento sustentable y reparto equitativa de los beneficios.	Para tomar medidas de conservación de la diversidad biológica se debe tener una información completa de los ecosistemas

		estudiados, la presente investigación aportará una parte de esta información.
Decreto-Ley 2811 de 1974	Código de los Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente.	Norma aplicada a la investigación debido a que se interacciona con varios Recursos Naturales en la zona de estudio y se debe tener un buen manejo de estos.
Ley 165 de 1994	Aprobación del CDB de 1992.	La aprobación y adición de esta normativa al contexto nacional sirve como promotor para investigaciones como esta, las cuales se llevan a cabo en lugares ricos en recursos biológico.
Ley 357 de 1997	Aprobación del Convención Ramsar sobre Humedales de Importancia Internacional.	Esta ley incentiva y justifica a esta investigación debido a la importancia ecosistema que tiene el CCZ a nivel nacional e internacional.
Decreto 1594 de 1984	Usos de aguas superficiales, subterráneas, marinas y estuarinas.	Este decreto aporta algunas consideraciones a la hora de hacer los muestreos y los métodos de análisis, además del uso que se le puede dar al agua del CCZ.
Resolución 196 de 2006	Guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia.	La resolución expone estrategias de manejo y uso racional que podrían servir para argumentar ideas en el apartado de resultados, discusión y recomendaciones.
Acuerdo 005 del 2020 ^b	Aprobación y adopción del Plan de Desarrollo Municipal de Chimichagua	En este acuerdo se expone la importancia que tiene el CCZ en la mayoría de sectores productivos que existen en el municipio de Chimichagua, también puede servir como soporte para recomendaciones que aporten al cuidado y preservación de este complejo cenagoso.

Nota: ^a Reyes (2023), ^b Alcaldía Municipal de Chimichagua (2020). Elaborada por el autor, 2024.

5. MARCO METODOLÓGICO

Posteriormente, se presentará el apartado de la metodología en el cual se estableció un procedimiento organizado y ordenado que sirvió para alcanzar el objetivo general propuesto en la investigación.

5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto aporta a la línea investigación Sostenibilidad y Gestión Ambiental del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria perteneciente a la Facultad de Ingenierías y Tecnológicas de la Universidad Popular del Cesar. Por otro lado, la sublínea en la que está inmersa la investigación es la de Gestión Integral de la Biodiversidad y del Patrimonio Ambiental, además de categorizarse en el área temática de Ecosistemas estratégicos para la conservación y desarrollo de la región (Acuerdo N°003, 2021).

5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación cuenta con un enfoque cuantitativo debido a que refleja la necesidad de medir y estimar magnitudes de los fenómenos, la recolección de los datos se fundamenta en la medición, y además busca conseguir resultados numéricos que serán útiles para correlacionar varias variables presentes en el lugar de estudio, estos se obtendrán mediante procedimientos de laboratorio. (Hernández et al., 2014).

5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de la investigación es correlacional porque busca exponer o especificar las propiedades y características de las especies vegetales y el agua en su entorno natural, además de que pretende estimar la relación entre varias variables, en este caso los parámetros fisicoquímicos del agua y los atributos ecológicos de las EM. (Hernández et al., 2014).

5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Las especies vegetales de tipo macrófitas predominantes en el CCZ zona de influencia del Municipio de Chimichagua.

5.5. MUESTRA POBLACIONAL

Esta es una muestra poblacional no probabilística ya que se muestreó por conveniencia. Se tomaron muestras de biomasa vegetal y de agua mediante el muestro puntual.

5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se tuvo en cuenta el diseño no experimental en el cual solo se busca observar los fenómenos y características en el lugar de estudio para luego aplicar un análisis adecuado a la información recolectada, también se cuenta con tipo de diseño transversal debido al tiempo necesario para que se tomen la muestras en diferentes épocas del año (época de lluvia y seca). (Hernández et al, 2014).

5.7. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO

5.7.1 Etapa 1: Identificación De Los Tipos De Macrófitas Predominantes Junto Con Las Características Del Agua En Su Entorno.

Actividad 1.1. Determinación de la ubicación:

Primeramente, se definió la ubicación de la zona de estudio por medio de las coordenadas geográficas, se hizo uso del GPS para consultar estas coordenadas para posteriormente representar en mapas estos sitios de interés específicos y puntos de muestreo utilizando el Sistema de Información Geográfica Qgis como lo sugiere Alvis (2018) en su investigación.

Actividad 1.2. Identificación las macrófitas predominantes:

Para llevar a cabo esta actividad se tuvo en cuenta la revisión a simple vista y la toma de registros fotográficos de las especies vegetales presentes en la ubicación definida para luego hacer uso de catálogos forestales y/o iconografías, estos ayudaron a la identificación y clasificación de las especies predominantes (Chang y Mandarachi, 2021). Posteriormente, se resaltaron en el mapa su distribución espacial para tener una representación gráfica de cómo era la zona de influencia, para esto se utilizaron colores y una leyenda para saber ubicar los elementos resaltados en este mapa.

Actividad 1.3. Muestras de agua:

Para establecer los puntos de muestreo de agua se siguieron los lineamientos propuestos por el IDEAM (2020) en el Instructivo de toma y preservación de muestras, sedimentos y agua

superficial para red de monitoreo de calidad, el cual recomienda que el muestreo se presente ningún tipo de perturbación que influya en la muestra y donde se garantice la seguridad y accesibilidad o en su defecto otros factores que afecten el muestreo, además estos se llevaron a cabo en el entorno donde se ubican las EM de interés.

A la hora de tomar las muestras de agua se aplicaron los pasos propuestos para muestreo simple en aguas superficiales presentes en los lineamientos ya mencionados donde se tienen en cuenta los parámetros que se analizarán para elegir el recipiente, en este caso se decidió usar de plástico. estas variables se medirán después de realizar muestreos puntuales, este tipo recolección de muestras hace referencia a un volumen de muestra tomado en un sitio específico y en un periodo corto de tiempo. (IDEAM, 2020).

Los parámetros de interés son: la turbiedad, el oxígeno disuelto, conductividad, pH, temperatura y, todos estos serán determinadas en el lugar de estudio (*in-situ*) exceptuando la turbiedad la cual requiere de equipos específicos para su medición, estos equipos serán proporcionados por el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria ubicado en las instalaciones de la Universidad Popular del Cesar, en este se analizarán las muestras de 1L garantizando la preservación de las mismas manteniéndolas a una temperatura baja y llevándolas lo antes posible al laboratorio.

Actividad 1.4. Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua:

Los parámetros fisicoquímicos del agua se determinaron *in-situ* y otros en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria (*ex-situ*) siguiendo las recomendaciones sugeridas por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 24th edition*.

Tabla 2.

Métodos y equipos utilizados para la determinación de los parámetros fisicoquímicos.

Código SMEWW	Parámetro	Unidades	Equipo	Método
4500-H	pH		Medidor de pH Hanna	Electrométrico
2510	Conductividad	μS/cm	HI 98129	
4500-O	Oxígeno disuelto	mg/L	Dissolved Oxygen	
2550	Temperatura	°C	Meter Hanna HI 9147	
2130	Turbiedad	NTU	Turbidímetro Hanna HI 93703-11	Nefelométrico
	Transparencia	m	Disco de Secchi	

Nota: Elaborada por el autor, 2024.

En el caso de los parámetros medidos *in-situ* se usaron recipientes de plásticos donde se tomó el agua a analizar para posteriormente utilizar los equipos portátiles para realizar las mediciones por duplicado, las botellas se enjuagaron con la misma agua a analizar y se esperó a que las muestras se estabilicen para hacer la medición. (SMEWW, 2024). Asimismo, el oxígeno disuelto se determinó haciendo uso del oxímetro o medidor digital de oxígeno portátil, esta forma de medir este parámetro es sugerido por Navarro et al. (2005).

Por último, la turbiedad se determinó en el laboratorio por lo que se movilizaron las muestras teniendo en cuenta los cuidados para la conservación de estas. (Marco et al. 2004).

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

Actividad 2.1. Muestras de biomasa:

El muestreo de macrófitas acuáticas se realizó siguiendo la metodología propuesta por Castellanos y Diaz (2021), esta es una adaptación del método de transectos lineales y para la distribución espacial el método de los cuadrantes. Los cuadrantes fueron fabricados en material de PVC con clavos para anclar una cuerda, estos tienen 1 m² de área divididos con cuerda en 25 subcuadrantes dentro del mismo.

Este cuadrante se ubicó en áreas donde estaban presentes las especies vegetales predominantes se colocaron cada 5 metros y se trazó el transecto lineal perpendicular al cuerpo de agua, se pudieron ubicar 10 cuadrantes en cada periodo estudiado, en estos se hizo la recolección de muestras de cada especie de interés utilizando tijeras de jardinero, posteriormente se almacenaron en bolsas de papel para evitar quemaduras en los tejidos vegetales, estas bolsas se rotularon con información relevante sobre la muestra como el nombre de las especies, ubicación de la zona donde se toma de muestra entre otros (Chang y Mandarachi, 2021). Después de tomar todas las muestras necesarias todas las bolsas se almacenan en una cava con hielo para garantizar su conservación y transportarlas al laboratorio. Teniendo las muestras en el laboratorio, primero se determinó el peso húmedo en la balanza analítica de la biomasa aérea (tallo/hojas) y radicular de cada especie

Actividad 2.2. Secado de muestras:

Se procedió a realizar el secado aplicando temperatura en un lapso de tiempo el cual garantice la eliminación de la humedad de las muestras, las temperaturas usadas por los autores en investigaciones anteriores varían entre 50°C y 80°C (Alvis, 2018; Suarez et al., 2016; Maqbool y Khan, 2013; Caicedo y Herrera, 2015), en la presente investigación se utilizó una temperatura constante de 60° por 24 horas y en algunos casos donde no se alcanzó a eliminar toda la humedad se aumentó el tiempo a 36 horas de secado a la misma temperatura. Cuando se retiró toda la humedad de las muestras se volvieron a pesar con la balanza analítica para conocer su peso en seco

Actividad 2.3. Calcinación en mufla:

Se procede a extraer una submuestra de máximo 5g tanto de biomasa aérea (tallo/hojas) como radicular, estas se maceraron para reducir su volumen y que el posterior proceso de calcinación en mufla se facilite. Con las submuestras de las estructuras radiculares y aéreas maceradas se procede a meterlas en la mufla a 650°C durante 3 horas para luego obtener el peso del material calcinado, esto con el fin de determinar el porcentaje de cenizas y restar el peso obtenido del material calcinado a la materia orgánica de las muestras para así obtener carbono libre de minerales y otras impurezas que no son de interés. (Maqbool y Khan, 2013).

Actividad 2.4. Estimación de la cantidad de carbono:

Para estimar la cantidad de carbono capturada por las EM primero se debe cuantificar la biomasa presente en sus estructuras vegetales, esta cuantificación se hace utilizando los pesos húmedos y secos de la biomasa aérea y radicular determinados en actividades anteriores. Con estos datos determinados se procedió a usar las ecuaciones propuestas por Caicedo y Herrera (2015). Véase ecuación 1.

$$Biomasa (gr) = \frac{P_t}{1 + \frac{CH\%}{100}} \quad (1)$$

$$CH\% = \left(\frac{P_h - P_s}{P_h} \right) * 100$$

$CH\%$ = Contenido de humedad

P_s = Peso seco

P_h = Peso húmedo

$P_t = P_s =$ Peso total

Ya con la biomasa calculada se procedió a estimar el contenido de Carbono presenta en cada una de las muestras de radicales y de tallo/hojas, en este cálculo se tuvo en cuenta el porcentaje de cenizas determinado anteriormente con ayuda de la mufla, este se le resto al peso seco con el fin de tener solo materia orgánica libre de minerales u otra impurezas.

Después de conocer estos datos se determinará el porcentaje de materia orgánica utilizando los pesos iniciales y finales que se obtuvieron en la mufla. (Maqbool y Khan, 2013). Véase ecuación 2. Asimismo, se hará uso del factor de conversión de carbono (0,45) propuesto por Palomino y Cabrera (2007) que nos indica que el 45% de la materia orgánica es Carbono. Véase ecuación 3. Con esta información se procede a hallar el CO₂ almacenado usando la constante 44/12 que presentan los autores Ceras y Suarez (2021), este valor es la relación entre los pesos moleculares del Carbono y el CO₂. Véase ecuación 4.

$$MO = P_i - P_f \quad (2)$$

$MO = \text{Materia organica}$

$P_i = \text{Peso inicial (antes de calcinar)}$

$P_f = \text{Peso final (despues de calcinar)}$

$C = 0,45MO \text{ (3)}$

$0,45 = \text{Factor de conversión del carbono}$

$MO = \text{Materia organica}$

$C = \text{Carbono}$

$CO_2 = \left(\frac{44}{12}\right) C \text{ (4)}$

$CO_2 = \text{Dioxido de carbono}$

$\left(\frac{44}{12}\right) = \text{Relación entre los pesos moleculares del Carbono y el } CO_2$

5.7.3 Etapa 3: Correlación De Los Atributos Ecológicos De Las Macrófitas Con Los Parámetros Físicoquímicos Del Agua En La Zona De Influencia Del Municipio De Chimichagua.

Actividad 3.1. Correlación de los parámetros físicoquímicos del agua

Para analizar la información tomada se utilizó el software SPSS (Páez y Roper, 2021) el cual permitió hallar el coeficiente de correlación de Spearman de los parámetros físicoquímicos del agua determinados para ver la relación que tienen entre ellos mismos y ver cómo podrían cambiar sus valores teniendo en cuenta la incidencia de los otros parámetros.

Actividad 3.2. Correlación de los atributos ecológicos con los parámetros físicoquímicos del agua

Primero, se utilizó el software Past 4 v.4,16c. para determinar los atributos ecológicos de la zona en periodo de lluvias y periodo seco, para luego correlacionar estos datos con los parámetros físicoquímicos medidos en cada una de los periodos climáticos. La correlación se hace para determinar los efectos que tienen los parámetros del agua en las poblaciones de EM en estas dos épocas del año.



6. RESULTADOS Y ANALISIS

Teniendo en cuenta las etapas descritas anteriormente se presentará el apartado de resultados y análisis donde organiza la tabulación, análisis e interpretación de la información obtenida en el desarrollo de las actividades del proyecto de investigación, primero se dará a conocer la identificación de las EM encontradas junto con la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de agua en la zona de estudio, luego, la determinación de los atributos ecológicos de las macrófitas y su respectiva estimación del CO₂ capturado para después en la última etapa correlacionar los resultados obtenidos de la caracterización del agua y los atributos ecológicos.

6.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE MACRÓFITAS PREDOMINANTES JUNTO CON LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA EN SU ENTORNO.

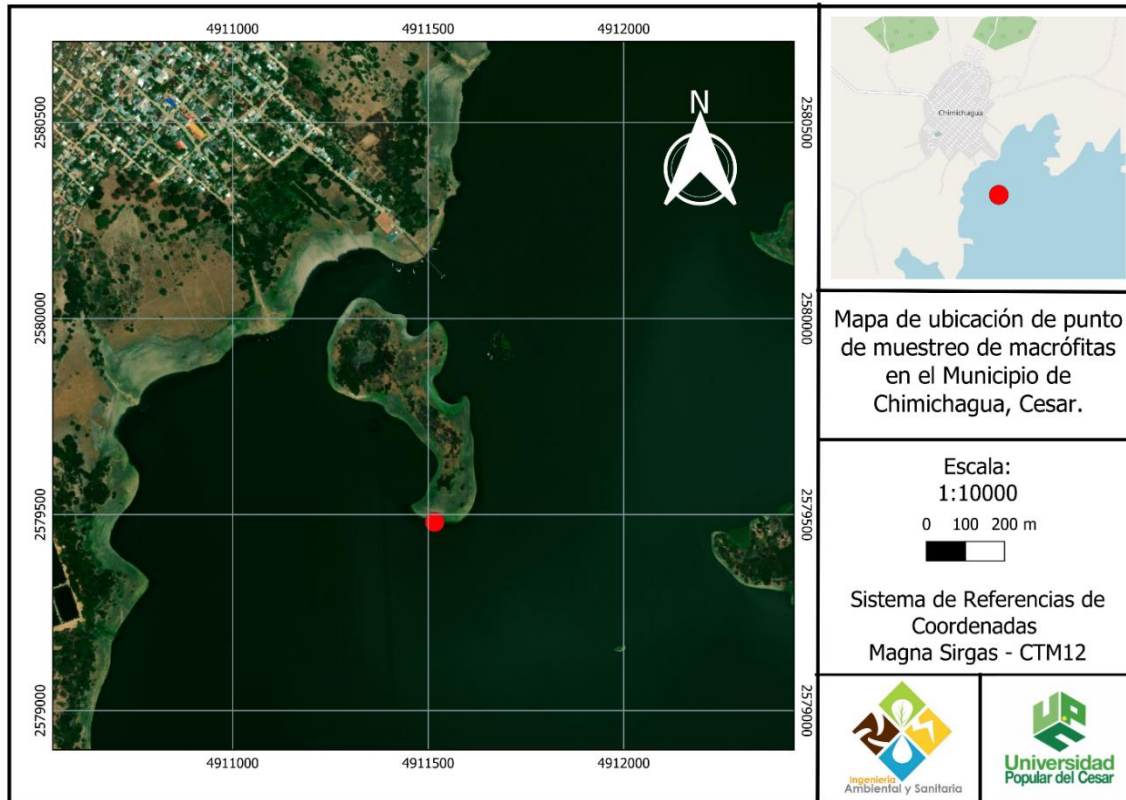
Posteriormente se presentan los resultados conseguidos de las actividades propuestas, estos permitieron el cumplimiento del primer objetivo específico planteado.

6.1.1. *Determinación De La Ubicación:*

Las coordenadas geográficas del punto de muestreo son: 9,2434567N, -73,8056595W. En la Figura 4 se puede apreciar la ubicación de la zona de influencia y el punto de muestreo, esta representación gráfica fue elaborada con el software QGIS 3.34.3.

Figura 4.

Mapa de ubicación geográfica del punto de muestreo de macrófitas en el Municipio de Chimichagua, Cesar.



Nota: El punto rojo indica el lugar específico de muestreo de macrófitas en la zona de influencia de Chimichagua (Coordenadas: 9,2434567N, -73,8056595W). Elaborado por el autor, 2024.

6.1.2. Identificación Las Macrófitas Predominantes:

Para la época de lluvias se encontró más variabilidad de EM, mientras tanto, para la época seca se localizaron solo dos de todas las especies se encontraron en el periodo de lluvias. Las EM encontradas en el época de lluvias fueron: *Eichhornia Azurea*, *Hymenanchne amplexicaulis*, *Senna obtusifolia*, *Panicum repens* y *Neptunia Oleraceae*. Para época seca se encontraron: *Panicum repens* y *Neptunia Oleraceae*, no se localizaron ninguna de las demás especies encontradas en el periodo lluvioso. Se pudo evidenciar una disminución considerable en el nivel de agua en época seca, este hecho pudo ser un factor causante de la reducción en la abundancia y frecuencia de las EM, tomando como ejemplo *Eichhornia Azurea*, esta es una especie que en periodo lluvioso formaba conglomerados que flotaban en la lámina de agua de la ciénaga, la disminución de este nivel de agua puede explicar porque no se pudo encontrar esta especie en el periodo seco.

La identificación de las especies se llevó a cabo haciendo uso de antecedentes de investigación, catálogos forestales e iconografías presentadas por Castellanos y Diaz (2021), Rangel et al. (2012), Caicedo y Herrera (2015). Estas fueron las EM encontradas en las dos estaciones:

6.1.2.1. Eichhornia Azurea

Esta especie era denominada por los locales por el nombre común, taruyo o camalote. Es una especie acuática flotante perenne ampliamente distribuida en lagunas y zonas bajas como el CCZ, también se pudo evidenciar que esa especie forma conglomerados encima de la lámina de agua lo cual le permite flotar con facilidad.

Esta cuenta con un tallo elongado y ascendente que supera la superficie del agua, su aspecto es muy similar a la especie *E. Crassipes* por lo que suelen confundirse en las salidas de campo. Asimismo, esta particularidad de la *E. Azurea* en sus tallos le da la capacidad de almacenar más carbono en estas estructuras que otras especies debido a que cuenta con más volumen de biomasa, además posee capacidades de fitorremediación de aguas (Melnani, 2017). En cuanto a la distribución espacial, *E. Azurea* suele encontrarse sobre las márgenes de los cuerpos de agua lénticos (de esta forma se encontró en el punto de influencia) o en lugares más profundos y de aguas corrientes. (Lallana y Marta, 1981).

Figura 5.

Registro fotográfico de la especie E. Azurea





Nota: Tomada por el autor, 2024.

6.1.2.2. *Hymenanchne amplexicaulis*

H. amplexicaulis es una hierba perenne, estolonífera y robusta que cuenta con tallos que se dispersan sobre el suelo húmedo o flotan sobre la superficie del agua, a partir de los cuales se producen raíces; *H. amplexicaulis* tiene la capacidad de establecer colonias densas en áreas inundadas y en las orillas de los ríos de las regiones tropicales y subtropicales de América, además aunque sus hojas sean delgadas no son frágiles, esto nos indica que cuenta con estructuras aéreas complejas que le permite tener hojas firmes y por lo tanto almacenar más carbono que una hierba normal. (Gordon y Feo, 2007). Esta planta sirve como alimento al ganado vacuno cuando la lámina de agua disminuye, esto se puede evidenciar en las jornadas de muestreo.

Figura 6.

Registro fotográfico de la especie H. amplexicaulis.



Nota: Tomada por el autor, 2024.

6.1.2.3. *Senna obtusifolia*

Son hierbas simples, erectas o ramificado-ascendentes, variando de tamaño según la edad o el ambiente. Crece silvestre en América, Asia, África y Oceanía y se considera una maleza en muchos lugares. (Rangel et al., 2012).

Figura 7.

Registro fotográfico de la especie S. obtusifolia.



Nota: Tomada por el autor, 2024.

6.1.2.4. *Panicum repens*

P. repens es una hierba acuática perenne. Habita frecuentemente en orillas de ríos y lagos, en aguas poco profundas como las orillas de los humedales como el CCZ. Es una especie de hierba nativa de Sur América, Centro América y Norte América. Crece hasta medir alrededor de un pie de altura, con hojas en forma de lanza, tallos esponjosos llenos de aire y, a menudo, un tinte rojizo. (Rangel et al., 2012). En el punto de influencia se puede evidenciar que esta especie se presentaba de manera emergente enraizada en el cuerpo de agua y se extendía hasta la zona litoral.

Figura 8.

Registro fotográfico de la especie P. repens



Nota: Tomada de Google, 2024.

6.1.2.5. *Neptunia Oleraceae*

También conocida por su nombre común Dormilona, esta es una macrófita acuática que posee tallos rastreros que generalmente flotan y se enraízan en los nudos, sus hojas son sensibles al tacto y se cierran al ser mínimamente movidas además de que se pueden extender en el agua entre 90 y 150 cm. En época seca, cuando la lámina de agua disminuye se pueden encontrar enraizadas en los sedimentos de los humedales o en la zona litoral, esta particularidad se puede evidenciar en la jornada de muestreo que se hizo en época seca. Se desarrolla en regiones tropicales, flotando en aguas dulces calmadas o yaciendo en suelos húmedos cerca de la orilla del agua, generalmente a menos de 50 metros sobre el nivel del mar. (Rangel et al., 2012).

Esta especie tiene una rasgo distintivo entre las otras macrófitas, este es el tamaño de sus raíces, por lo general las macrófitas cuentan con tallo/hojas más grandes que las raíces, pero en el caso de esta especie es lo contrario, esta particularidad se traduce en un mayor potencial de almacenamiento de carbono en sus raíces, también cuenta con la capacidad de reducir los niveles de arsénico en el agua por medio de fitorremediación. (Atabaki et al., 2020)

Figura 9.

Registro fotográfico de la especie N. Oleraceae



Nota: Tomada por el autor y de Google, 2024.

Después de identificar las especies se calculó su porcentaje de cobertura vegetal con base a la totalidad de cuadrantes trazados en cada época, los porcentajes se presentan en la Tabla 3. También se realizaron esquemas de la zona en periodo lluvioso y seco para dar una idea general de la distribución espacial de estas en la zona de influencia se elaboraron las Figuras 10 y 11 donde se puede apreciar la disminución de la lámina de agua y de la abundancia de las EM.

Tabla 3.

Cobertura vegetal (%) para época de lluvias y seca.

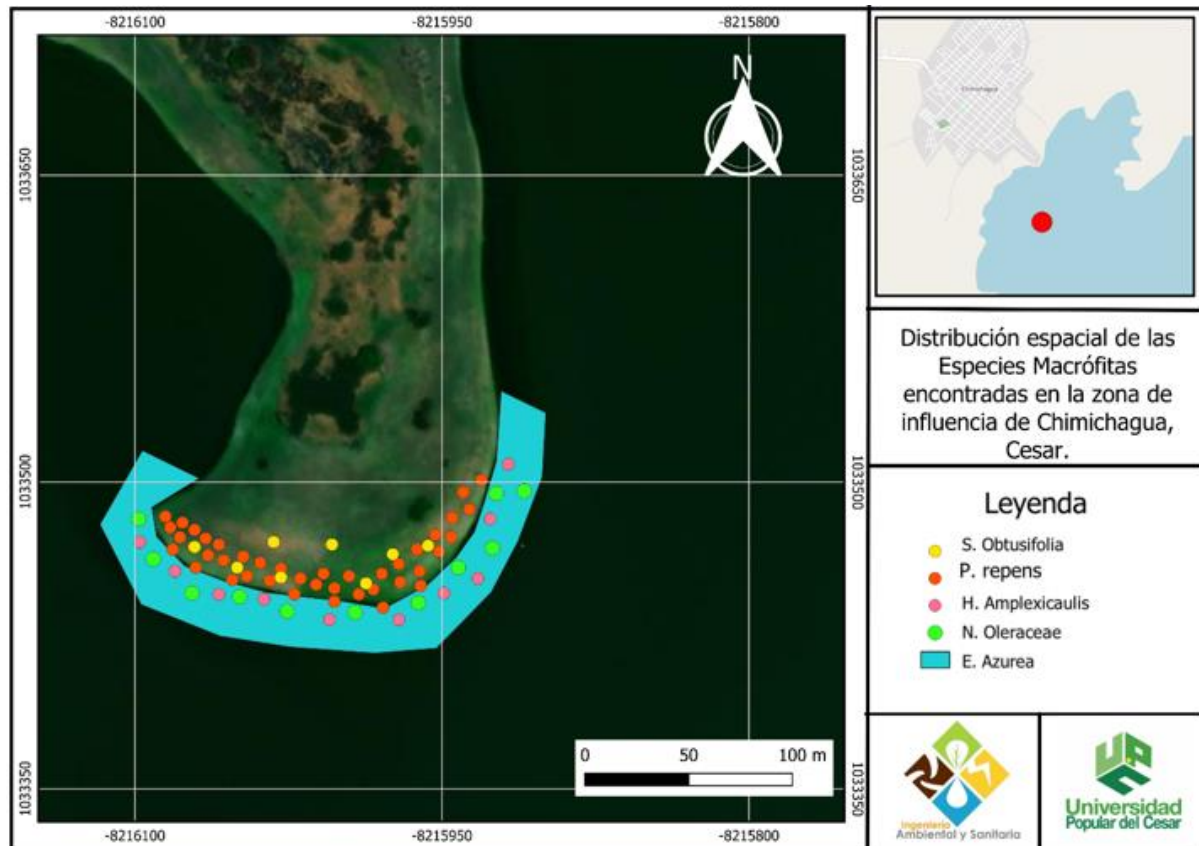
Especies	Cobertura vegetal (%)	
	Época de lluvias	Época seca
E. Azurea	36,8	0
N. Oleraceae	7,6	0
P. Repens	39,6	22
S. Obtusifolia	1,2	10

H. amplexicaulis	2	0
Total	87,2	32

Nota: Elaborado por el autor, 2024.

Figura 10.

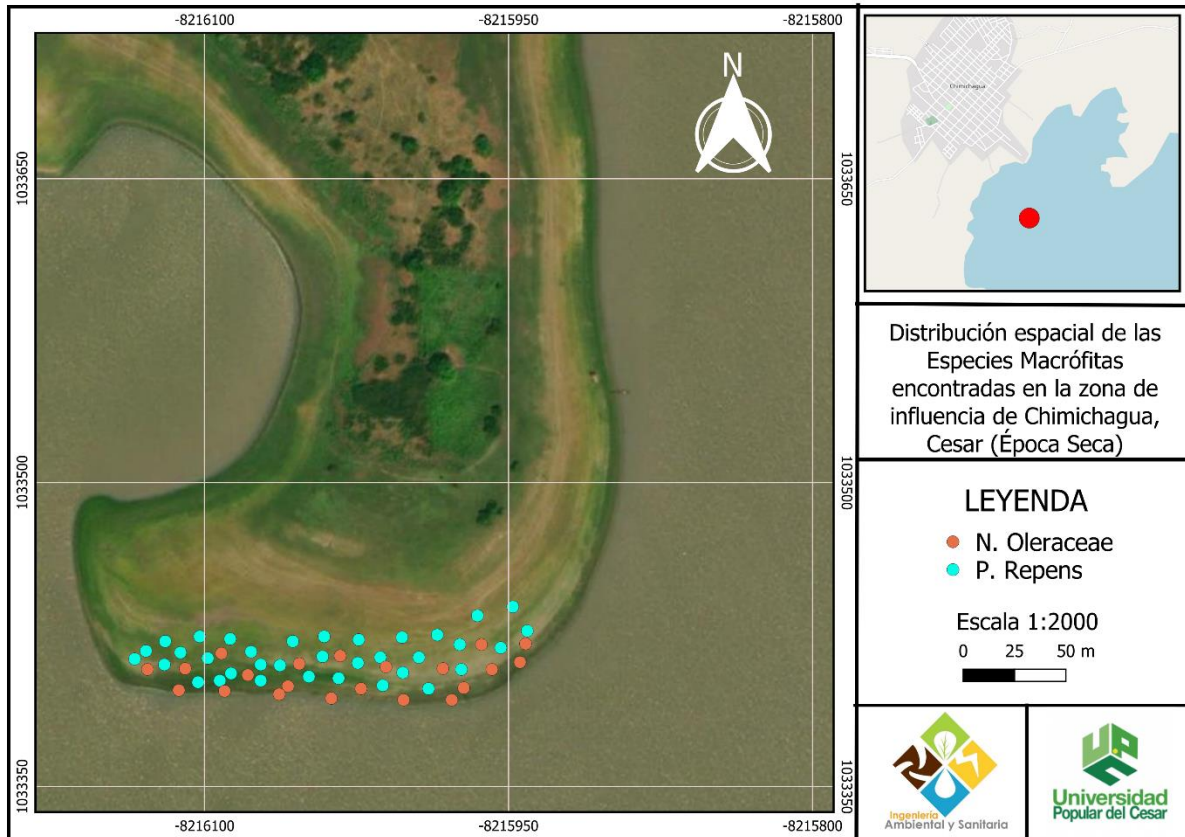
Distribución espacial de las EM encontradas en la zona de influencia de Chimichagua, Cesa (Época de lluvias).



Nota: Cada color en la leyenda representa una especie de macrófitas diferente, se representa *E. Azurea* como un polígono porque es una macrófita flotante que se encuentra en conglomerados (cada individuo unido a otro) encima del agua. Elaborado por el autor, 2024.

Figura 11.

Distribución espacial de las EM encontradas en la zona de influencia de Chimichagua, Cesa (Época seca).



Nota: Elaborado por el autor, 2024.

6.1.3. Muestras De Agua:

Las muestras de agua se tomaron en el entorno donde se encontraban las EM, es decir, en el mismo punto de muestreo de macrófitas expuesto anteriormente. Se tomaron 2 litros de muestra en 2 recipientes individuales de 1 litro cada uno, se enjuagó el recipiente 2 veces, se sumergió en el agua a muestrear y se tapó debajo del agua para evitar cualquier alteración de la muestra. Este proceso se hizo en las épocas de lluvia y seca. La preservación de las muestras se garantizó haciendo uso de la refrigeración en cavas con abundante hielo para reservarlas a una temperatura baja como lo recomienda el IDEAM (2020).

El transporte de las muestras al laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria ubicado en la sede Sabanas de la Universidad Popular del Cesar se realizó sin ningún inconveniente, en este, se almacenaron los recipientes en la nevera reservada para muestras de aguas.

6.1.4. Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua:

Esta actividad se llevó a cabo en las épocas de lluvia y seca, en el punto de influencia se determinaron el pH, Conductividad, Oxígeno disuelto y temperatura con las sondas multiparamétricas portátiles proporcionadas por el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Asimismo, la turbiedad fue determinada *ex-situ* en las instalaciones del laboratorio, todas las mediciones fueron hechas por triplicado, los resultados que se presentarán en la Tabla 4 son las mediciones mínimas, máximas, promedios y desviaciones estándar.

Tabla 4.

Caracterización del agua en época de lluvia y seca.

Parámetro	Época							
	Lluvias				Seca			
	Min.	Max.	Promedio	Desviación estándar	Min.	Max.	Promedio	Desviación estándar
pH	5,89	6,19	6,07	0,16	9,11	9,17	9,14	0,03
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	175	179	177	2,00	344	347	345,67	1,53
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,62	7,97	7,75	0,19	7,09	7,81	7,34	0,40
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	32,2	34,1	33	0,98	37,8	39,8	38,9	1,01
Turbiedad (NTU)	260	271	266	5,57	62	66	64	2,00
Transparencia (m)	-	-	0,12	-	-	-	0,42	-

Nota: Min = Mínimo, Max = Máximo. Las mediciones *in-situ* se tomaron el día 13 de octubre de 2023 para la época de lluvias y el día 12 de abril de 2024 para la época seca. Elaborada por el autor, 2024.

6.1.4.1. pH

Las mediciones del pH fueron para época de lluvias $6,07 \pm 0,16$, en promedio, mientras que en época seca dio un promedio de lectura de $9,14 \pm 0,03$, este incremento puede producir cambios físicos y químicos en la matriz acuática, tiene un comportamiento similar a la temperatura puesto que en la zona eufótica la radiación solar calienta el agua; y la fotosíntesis utiliza el CO_2 conllevando un aumento del pH. Por lo tanto, este consumo de CO_2 producido por el aumento de la temperatura del agua en la zona eufótica podría explicar por el aumento del pH. (Casanova et al., 2019).

6.1.4.2. Conductividad

Para este parámetro también se presentó un incremento en términos de promedios de $177 \pm 2,00 \mu\text{S}/\text{cm}$ a $345,67 \pm 1,53 \mu\text{S}/\text{cm}$, en época de lluvias y seca respectivamente, esto se debe a que la conductividad es dependiente de la temperatura hasta cierto límite, y como se evidencia en la tabla de mediciones la temperatura tuvo un aumento significativo lo cual indica que se debe presentar también un cambio en la conductividad, en este caso también aumentó. La conductividad se refiere a la capacidad de una solución para transmitir electricidad. Pequeñas partículas con carga eléctrica, son capaces de transportar corriente eléctrica a través de soluciones acuosas, el aumento de la temperatura favorece el transporte de la corriente eléctrica en el fluido. (Zamora, 2009).

6.1.4.3. Oxígeno disuelto

El promedio de las mediciones de oxígeno disuelto fue de $7,75 \pm 0,19 \text{ mg}/\text{L}$ para la época de lluvias y de $7,34 \pm 0,40 \text{ mg}/\text{L}$, se evidenció una pequeña disminución que se podría justificar porque la cantidad de oxígeno que el agua puede contener en solución disminuye con el aumento de la temperatura, lo cual sucede en este caso debido a que se presentó un aumento en la temperatura. La disminución en los valores de este parámetro es, por supuesto, desventajosa para los organismos del ecosistema. (Beltrán et al., 2009).

6.1.4.4. Temperatura

Para la época de lluvias se midió una temperatura del agua promedio de $33\pm 0,98^{\circ}\text{C}$ mientras que en la época seca se registró $38,9\pm 1,01^{\circ}\text{C}$, se presentó un incremento del 17,87%, este se puede explicar debido al aumento de la temperatura promedio de la atmosfera acompañado del aumento del brillo solar que en época seca es mayor. Estos factores hacen que el agua suba su temperatura y este incremento también puede condicionar los procesos biológicos que se dan en el ecosistema. (Beltrán et al., 2009).

6.1.4.5. Turbiedad

Este parámetro fue medido en laboratorio y en época de lluvias se presentó un valor promedio de $266\pm 5,57$ NTU, mientras que en época seca se tuvo una lectura del parámetro de $64\pm 2,00$ NTU, valores que van acorde con la noción inicial de turbiedad que da la medición de la transparencia con el Disco de Secchi, el valor elevado de turbiedad en época de lluvias se puede atribuir a que el agua en la zona de influencia presentaba un ligero oleaje producido por los vientos de la zona, esta acción del viento y las precipitaciones que se presentan en esta época del año elevan la cantidad de sedimentos que arrastran los cuerpos de agua que recargan a la ciénaga causan que una turbiedad se eleve.

Por otro lado, el valor más bajo de este parámetro en la época de seca se puede deber a que el agua tenía muy poco movimiento lo cual hace que las partículas suspendidas en el fluido precipiten al sedimento de la ciénaga por acción de la gravedad, esto contribuye a que se presente una transparencia un más alta que la evidenciada en la época de lluvias. (Duarte et al., 1990).

6.1.4.6. Transparencia

Este parámetro nos da un idea inicial de la turbiedad que se presenta en la zona de estudio, en época de lluvias se hizo la medición con el Disco de Secchi dando 0,12 m, esta transparencia baja nos indica una turbiedad elevada, debido a que los rayos de luz del sol no pueden viajar libremente hasta una profundidad mayor. Por otra parte, en época seca el valor de transparencia subió hasta 0,42 m, este aumento de la transparencia nos indica que la luz puede atravesar por el agua más profundidad, esto se traduce en una turbiedad menor a la medida en época de lluvias. (Duarte et al., 1990).

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

En esta fase se presentarán los resultados obtenidos en cada actividad de la etapa para darle cumplimiento al segundo objetivo específico propuesto anteriormente.

6.2.1. Muestras De Biomasa:

Se tomaron las muestras en la zona de influencia de Chimichagua los días 13 de octubre de 2023 y 12 de abril de 2024 para la época de lluvias y época seca, respectivamente, estas muestras fueron transportadas a el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria garantizando su conservación por medio de la refrigeración en cavas con abundante hielo. La primera medición que se hizo fue el peso húmedo, este tomó después de separar las estructuras radiculares y aéreas de cada una de las especies encontradas. Los datos recolectados de estos pesos húmedos para época de lluvias y seca fueron los siguientes:

Tabla 5.

Pesos húmedos de las estructuras aéreas y radiculares (Época de lluvias y seca).

Datos de peso en húmedo de macrófitas predominantes				
Especie	Época de lluvia		Época seca	
	EA (gr)	ER (gr)	EA (gr)	ER (gr)
E. Azurea	67,24	104,46		
N. Oleraceae	32,69	13,56	70,35	6,79
H. Amplexicaulis	68,85	30,52		
P. Repens	22,89	5,83	91,38	51,15
S. Obtusifolia	44,49	4,16		

Nota: EA = Estructuras aéreas; ER = Estructuras radiculares. Elaborada por el autor, 2024.

6.2.2. Secado De Muestras:

Para retirar la humedad se sometieron las estructuras radiculares y aéreas al secado en horno a una temperatura constante de 60°C por 24 horas, el peso medido después se sacar las especies del horno fue el siguiente:

Tabla 6.

Pesos secos de las estructuras aéreas y radicales (Época de lluvias y seca).

Datos de peso en seco de macrófitas predominantes				
Especie	Época de lluvia		Época seca	
	EA (gr)	ER (gr)	EA (gr)	ER (gr)
E. Azurea	5,08	13,26		
N. Oleraceae	3,17	2,83	17,78	1,91
H. Amplexicaulis	19,81	4,06		
P. Repens	6,12	1,4	23,71	28,91
S. Obtusifolia	10,48	1,27		

Nota: Las especies *E. Azurea* y *N. Oleraceae* necesitaron 12 hora extra de secado para eliminar completamente la humedad presente en sus estructuras, en total estas especies estuvieron 36 horas en el horno a 60°C. EA = Estructuras aéreas; ER = Estructuras radicales. Elaborada por el autor, 2024.

6.2.3. Calcínación En Mufla:

Después del secado se extrajeron las submuestras de máximo 5g de las estructuras aéreas (tallos/hojas) y las radicales, estas se maceraron y se llevaron a la mufla a 650°C durante 3 horas para luego obtener el peso del material calcínado. Los pesos iniciales (antes de la calcínación) y finales (después de calcínación) para época de lluvias y seca son los siguientes:

Tabla 7.

Pesos iniciales y finales de la calcínación en mufla (Época de lluvias)

Calcínación en mufla (Época de lluvias)				
Especie	Peso inicial		Peso final	
	EA (gr)	ER (gr)	EA (gr)	ER (gr)
E. Azurea	5,00	5,00	1,283	3,191
N. Oleraceae	2,83	3,17	0,085	0,941
H. Amplexicaulis	5,00	4,06	0,253	1,998
P. Repens	5,00	1,48	0,781	0,74

S. Obtusifolia	5,00	1,27	0,814	0,047
----------------	------	------	-------	-------

Nota: Para meter las submuestras a la mufla se fabricaron recipientes de aluminio para cada una, este peso del recipiente se restó a la hora de medir el peso final. EA = Estructuras aéreas; ER = Estructuras radiculares. Elaborada por el autor, 2024.

Tabla 8.

Pesos iniciales y finales de la calcinación en mufla (Época seca)

Calcinación en mufla (Época seca)				
Especie	Peso inicial		Peso final	
	EA (gr)	ER (gr)	EA (gr)	ER (gr)
P. Repens	5,00	5,00	0,646	2,942
N. Oleraceae	5,00	1,91	0,495	0,324

Nota: EA = Estructuras aéreas; ER = Estructuras radiculares. Elaborada por el autor, 2024.

6.2.4. Estimación De La Cantidad De Carbono:

Para estimar la cantidad de Carbono capturada por cada especie se tomarán los datos de la especie *H. amplexicaulis* (Raíz) para hacer llevar a cabo la secuencia que se utilizó para todas las especies. El procedimiento fue el siguiente:

Primero se utilizan los pesos iniciales y finales obtenidos en el proceso de calcinación en mufla, con estos datos podemos hallar el contenido de materia orgánica.

$$P_i = 4,06 \text{ gr}$$

$$P_f = 1,998 \text{ gr}$$

$$MO = P_i - P_f = 4,06 \text{ gr} - 1,998 \text{ gr}$$

$$MO = 2,062 \text{ gr}$$



Para hallar el contenido de Carbono (C) presente en la materia orgánica se utiliza el factor 0,45, después para convertir (C) a Dióxido de Carbono (CO₂) se utiliza la relación entre sus pesos moleculares que es $C = \frac{44}{12}$.

$$C = 0,45MO$$

$$C = 0,45(2,062 \text{ gr})$$

$$C = 0,928 \text{ gr}$$

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

$$CO_2 = (0,928 \text{ gr}) * \frac{44}{12}$$

$$CO_2 = 3,402 \text{ gr}$$

Luego para hallar la captura carbono por unidad de área, se utilizó el área de un subcuadrante, esta fue la área de donde se tomó la muestra de biomasa vegetal.

$$\frac{CO_2}{m^2} = \frac{1 * CO_2}{0,04}$$

$$\frac{CO_2}{m^2} = \frac{1 * (3,402 \text{ gr})}{0,04 \text{ m}^2}$$

$$\frac{CO_2}{m^2} = 85,058 \frac{CO_2}{m^2}$$

Este procedimiento se utilizó para todas las especies, posteriormente se presentarán los resultados de todos los cálculos. El porcentaje de humedad para cada especie en las dos épocas analizadas fue:

Tabla 9.

Porcentaje de humedad de las EM predominantes en época de lluvia y seca.

Contenido de humedad de las macrófitas predominantes				
Especie	Época de lluvia		Época seca	
	EA (%)	ER (%)	EA (%)	ER (%)
E. Azurea	92,44	87,31		
N. Oleraceae	90,30	79,13	74,73	71,87
H. Amplexicaulis	71,23	86,70		
P. Repens	73,26	75,99	74,05	43,48
S. Obtusifolia	76,44	69,47		

Nota: EA = Estructuras aéreas; ER = Estructuras radiculares. Elaborada por el autor, 2024.

Después de conocer estos datos se determinarán los gramos de Carbono presentes en cada muestra, esto con el fin de hallar el CO² en gramos almacenado usando la constante 44/12 que presentan los autores Ceras y Suarez (2021), este valor es la relación entre los pesos moleculares del Carbono y el CO². Con esta información se puede calcular la captura de carbono por unidad de área utilizando el área de un subcuadrante que es 0,04 cm², los datos para los periodos climáticos analizados son:

Tabla 10.

Valores determinados de captura de CO₂ de las EM (época de lluvias).

Estimación de captura de Dióxido de Carbono de las EM predominantes								
Especie	Época de lluvia							
	MO (gr)		C (gr)		CO² (gr)		CO² (gr/m²)	
	EA	ER	EA	ER	EA	ER	EA	ER
E. Azurea	3,717	1,809	1,673	0,814	6,133	2,985	153,326	74,621
N. Oleraceae	2,745	2,229	1,235	1,003	4,529	3,678	113,231	91,946
H. Amplexicaulis	4,747	2,062	2,136	0,928	7,833	3,402	195,814	85,058
P. Repens	4,219	0,66	1,899	0,297	6,961	1,089	174,034	27,225
S. Obtusifolia	4,186	1,223	1,884	0,550	6,907	2,018	172,673	50,449

Nota: MO = Materia Orgánica, C = Carbono, EA = Estructuras aéreas y ER = Estructuras radiculares. Elaborada por el autor, 2024.

Tabla 11.

Valores determinados de captura de CO₂ de las EM (época seca).

Estimación de captura de Dióxido de Carbono de las EM predominantes								
Especie	Época seca							
	MO (gr)		C (gr)		CO ² (gr)		CO ² (gr/m ²)	
	EA	ER	EA	ER	EA	ER	EA	ER
P. Repens	4,354	2,058	1,959	0,926	7,184	3,396	179,603	84,893
N. Oleraceae	4,505	1,586	2,027	0,714	7,433	2,617	185,831	65,423

Nota: MO = Materia Orgánica, C = Carbono, EA = Estructuras aéreas y ER = Estructuras radiculares. Elaborada por el autor, 2024.

Se puede apreciar que época de lluvias la especie *H. Amplexicaulis* cuenta con el mayor potencial de captura de CO₂ en sus estructuras aéreas, por otro lado, la especie que captura menos CO₂ es *N. Oleraceae*, esto se podría explicar por los pequeños tallos y finas hojas de la especie *N. Oleraceae*, este es un caso específico porque de los resultados en las dos épocas podemos distinguir que las estructuras aéreas son las partes de las macrófitas que más almacenan Carbono, esto se debe a que por lo general las macrófitas tienen raíces pequeñas comparándolas con el resto de planta. Por otra parte, en época seca la especie *P. Repens* presentó el potencial más alto para la captura de CO₂, mientras que *N. Oleraceae* por segunda vez contó con los niveles más bajos de esta capacidad. Esta especie, aunque sea perenne o permanente en el ecosistema la mayoría del año baja su cobertura vegetal considerablemente y también su capacidad de capturar Carbono.

En la investigación de Luciano y Henry (1998) las macrófitas presentaron un aumento en su biomasa en época de lluvias debido a la abundancia de nutrientes y a las variaciones bajas de temperatura, al aumentar la biomasa aumenta el potencial de captura de Carbono y en consecuencia también aumenta el potencial de secuestro de CO₂. En época de lluvias, en la zona de estudio de la presente investigación también hubo una mayor cantidad de biomasa en las muestras tomadas

hecho que se tradujo en una mayor cantidad de CO₂ secuestrado comparando con las cantidades que se calcularon para el periodo seco.

6.3. CORRELACIÓN DE LOS ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE LAS MACRÓFITAS CON LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL MUNICIPIO DE CHIMICHAGUA.

A continuación, se presentaran los resultados de los análisis estadísticos realizados a los datos producto de las actividades pasadas, con estas pruebas estadísticas se le daría cumplimiento al último objetivo específico propuesto.

6.3.1. *Correlación De Los Parámetros Físicoquímicos Del Agua*

Para determinar si estos parámetros medidos en los dos periodos analizados estaban linealmente relacionados se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, se eligió esta prueba debido a que los datos numéricos son de naturaleza no paramétrica, los coeficientes de correlación para cada relación son los siguientes:

Tabla 12.

Correlación de los parámetros físicoquímicos medidos en la zona de estudio.

Parámetros	pH	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Temperatura	Turbiedad
pH	1	0,829	-0,200	0,886	-0,886
Conductividad	0,829	1	-0,600	0,714	-0,886
Oxígeno Disuelto	-0,200	-0,600	1	-0,314	0,314
Temperatura	0,886	0,714	-0,314	1	-0,657
Turbiedad	-0,886	-0,886	0,314	-0,657	1

Nota: Valores cercanos a 1; indican una correlación fuerte y positiva; Valores cercanos a -1 indican una correlación fuerte y negativa; Valores próximos a cero indican que no hay correlación lineal. Elaborada por el autor, 2024.

Los coeficientes de Spearman de estas correlaciones pueden ser positivos o negativos indicando si la relación es directa o inversa y dependiendo de la cercanía a 1 o -1 se define su importancia. Las correlaciones más significativas encontradas fueron entre la temperatura y conductividad; temperatura y pH; pH y conductividad; temperatura y oxígeno disuelto, revisando sus coeficientes de Spearman se puede inferir que la temperatura puede influir en el aumento de la conductividad, pH y en la disminución del oxígeno disuelto, además, el pH también puede influir en el aumento de la conductividad.

Asimismo, una de la correlaciones más significativas que fue la de temperatura y conductividad se podría explicar por el efecto que tiene el aumento de la temperatura en los iones de las sales que se encuentran disueltas en el agua, este aumento desequilibra estos iones facilitando el transporte de la corriente eléctrica en el fluido y a su vez aumentando las lecturas de conductividad. (Zamora, 2009).

La pH y la conductividad podrían estar relacionadas porque se puede presentar presencia en el agua de sales básicas que causan el aumento del pH y a su vez debido a la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de conductividad, esto indicaría una relación proporcional entre estos dos parámetros, siempre y cuando se dé la condición de que el agua tenga presencia de las sales básicas que perturben los valores de pH, además de que utilizando este aumento se puede determinar el pH basado en los valores de conductividad. (Mettler, 2018)

La correlación más alta fue entre la temperatura y el pH, esta relación fue fuerte y positiva (proporcional), esta conexión se podría explicar porque en la zona eufótica la radiación solar calienta el agua y además incentiva los procesos de la fotosíntesis de las especies vegetales que utilizan el CO₂, las macrófitas al retirar CO₂ aumenta el pH del agua a su alrededor, esto se debe a que el CO₂ al entrar en el agua una pequeña cantidad cambia a ácido carbónico (H₂CO₃) y este reduce el pH del agua, por lo tanto, al retirar este gas se aumenta el pH del agua. En resumen, este consumo de CO₂ producido por el aumento de la temperatura del agua y las macrófitas en la zona eufótica podría explicar por el aumento del pH. (Casanova et al., 2019).

Otra correlación fue la que se dio entre el oxígeno disuelto y la temperatura, esta correlación fue moderada negativa (inversamente proporcional), esto se puede explicar porque el aumento de la temperatura disminuye la capacidad del agua de retener en solución el oxígeno. (Beltrán et al., 2009).

6.3.2. *Correlación De Los Atributos Ecológicos Con Los Parámetros Del Agua*

Se utilizó el software Past 4 v.4,16c para determinar los atributos ecológicos de las macrófitas presentes en la zona de estudio, estos datos cuantitativos se utilizaran para correlacionarlos con la caracterización fisicoquímica del agua hecha en los periodos de lluvias y sequía. Primero se determinaron los índices de diversidad de la zona de influencia y después para las especies encontradas, estos fueron:

Tabla 13.

Índices de diversidad de la zona de influencia de Chimichagua

Índices de diversidad	Época de lluvias	Época seca
Dominance_D	0,3714	0,5192
Margalef	0,7391	0,2711
Equitability_J	0,713	0,9725

Nota: Elaborada por el autor, 2024.

Luego, se correlacionaron estos atributos ecológicos por periodo climático y los parámetros fisicoquímicos del agua medidos anteriormente, los coeficientes de correlación de Spearman son los siguientes:

Tabla 14.

Correlación de los atributos ecológicos con los parámetros fisicoquímicos del agua (Época de lluvias)

Atributos Ecológicos	Parámetros				
	pH	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Temperatura	Turbiedad
	0,500	0,500	1	-0,500	-1

Nota: Elaborada por el autor, 2024.

Tabla 15.

Correlación de los atributos ecológicos con los parámetros fisicoquímicos del agua (Época seca)

Atributos Ecológicos	Parámetros				
	pH	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Temperatura	Turbiedad
	0,500	-1	1	1	0,500

Nota: Elaborada por el autor, 2024.

La correlación entre los atributos ecológicos y el pH en los periodos climáticos nos indica una relación positiva moderada. Algunas macrófitas que viven en agua con pH neutro o cercano a 7 cuentan con mejores oportunidades de vida que las que viven en pH más ácidos, si se aumenta el pH hasta 8,5 se crea un medio alcalino en el agua presente en el entorno de las macrófitas, este medio hace más posible las especies tengan un mayor potencial de una vida larga y poder sobrevivir a externalidades climáticas, esto impacta positivamente a los atributos ecológicos de las especies de la zona. (Jimenez et al., 2016).

En el periodo lluvioso se puede evidenciar una abundancia de macrófitas flotantes, específicamente de *E. Azurea*, estos conglomerados flotantes reducen significativamente el paso de la luz solar al agua y también restringen la transferencia de gases entre la atmósfera y el agua (Martelo y Lara, 2012) esto podría indicar una reducción en las lecturas de oxígeno disuelto. Las lecturas en periodo seco y periodo lluvioso tuvieron una variación pequeña, esto se debe a que, en época de lluvias, aunque había cobertura de macrófitas flotantes que restringían el intercambio de gases el agua tenía movimiento de oleaje causado por los vientos de la zona hecho que aumenta

los valores de oxígeno disuelto. En el caso del periodo seco no se encontró cobertura vegetal flotante, por lo tanto, no había restricción en el intercambio de gases de la atmosfera con el agua, es decir, las macrófitas no perturbaban el contenido de oxígeno disuelto en el agua.

Las macrófitas tienen la capacidad de estabilizar los valores de conductividad en el agua, en ese sentido, si hay una gran población de macrófitas flotantes es posible que la conductividad de esa agua sea tratada por estas especies macrófitas, algunas especies del género *Eichhornia* cuentan con estas características de estabilización de conductividad e incluso se utilizan como alternativas para el tratamiento de aguas residuales por su gran influencia en los parámetros fisicoquímicos del agua. (Limache y Tirado, 2022).

Las macrófitas pueden eliminar por adsorción y absorción diversas sustancias minerales y sólidos disueltos en el agua que producen un aumento en la turbiedad y el color, disminuyendo así estos parámetros (Valderrama, 1996). En época de lluvias la correlación fue negativa, es decir, al aumentar la abundancia y riqueza de las poblaciones de macrófitas es posible que estas disminuyan la turbiedad del agua en su entorno, las mediciones en esta época fueron elevadas comparándola con las del periodo seco, pero esto se puede atribuir al movimiento que tenía el agua producido por los vientos de la zona, este mezcla el agua y puede aumentar los valores de turbiedad. (Duarte et al., 1990).



7. CONCLUSIONES

Las jornadas de muestreos fueron llevadas a cabo con éxito gracias a la preparación y consulta de antecedentes de la investigación, estos trabajos guía fueron fundamentales para la planeación y ejecución de las actividades a realizar en campo también se garantizó la conservación de las muestras de macrófitas y de agua siguiendo las recomendaciones de los autores de estos antecedentes. Una elección acertada de la ubicación del punto de muestreo específico para realizar el muestreo de macrófitas y de agua fue fundamental considerarlo significativo, esta elección se hizo teniendo en cuenta las poblaciones de macrófitas que se presentaba en la zona de influencia, se eligió una zona con gran abundancia de estas.

Asimismo, en la identificación de especies macrófitas predominantes se esperaba encontrar una variedad de especies, en la zona de muestreo si se pudo encontró una variabilidad de especies considerable, su identificación se realizó haciendo uso de iconográficas y catálogos forestales, estas herramientas fueron muy útiles para la hacer el reconocimiento básico de las especies encontradas. La cobertura vegetal de estas especies fue más alta en época de lluvias, se evidenció una cobertura vegetal del 87,2%, mientras que en época seca disminuyó hasta el 32%, estos porcentajes fueron calculados en base a la totalidad de los cuadrantes trazados para cada época, esta disminución nos indica el impacto que tienen los periodos de variación climática en las poblaciones de macrófitas de la zona de influencia, tanto así que en época seca no se encontró ningún especie flotante, todas eran del tipo enraizadas.

En los resultados de la caracterización fisicoquímica de las muestras de agua se puede apreciar el efecto que tienen los periodos climáticos en estos. La variación de estos parámetros modifica el ecosistema de manera significativa, incentivando o no la proliferación de especies que viven en este medio acuático. (Barrero y Márquez, 2015). Medir estos parámetros *in-situ* es una ventaja ya que se están midiendo en la propia zona de estudio y así se obtienen mediciones lo más cercanas a la realidad posible, además de que al obtener los datos estando en campo se podría hacer una comprensión en el momento de las condiciones ambientales que presenta el agua. La medición de parámetros fisicoquímicos *in-situ* también reduce las variaciones que podrían tener estos si se

decide tomar muestras y medir estos mismos parámetros en el laboratorio, en el tiempo en que se transportan las muestras desde la zona de muestreo se podrían presentar cambios significativos y así genera un error potencial.

En el proceso de la estimación del potencial de captura de CO₂ presente en las EM identificadas se pudo evidenciar que el periodo lluvioso la especie *H. Amplexicaulis* contó con el mayor potencial de captura de CO₂ en sus estructuras aéreas, este fue de 195,814 gr/m² y en sus estructuras radiculares de 85,058 gr/m². En época seca el mayor valor fue para *P. repens* con 179,603 gr/m² y 84,893 gr/m² para las estructuras aérea y radiculares, respectivamente. Estos resultados nos indican el gran potencial que tienen estas especies para prestar el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono, este es fundamental para el control de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera y por lo tanto aporta positivamente a la mitigación del cambio climático. (Medrano et al., 2012).

La correlación entre los parámetros fisicoquímicos del agua permitió ver la relación entre estas variables, indicó que es probable que las variables influyan las unas en las otras, algunas relaciones fueron positivas o negativas con su respectiva significancia definida por el coeficiente de correlación de Spearman. Las correlaciones permitieron plantear las razones por las cuales una variable influenciaba a la otra.

Por otro lado, la correlación entre los atributos ecológicos y los parámetros fisicoquímicos del agua en los dos periodos analizados permitió analizar la relación e influencia que tiene el agua en las poblaciones de macrófitas y viceversa, los parámetros como pH, conductividad, oxígeno disuelto mostraron estar estrechamente relacionados con los atributos ecológicos de las macrófitas. Se pudo concluir que el oxígeno disuelto y la conductividad probablemente eran modificados por la cobertura de macrófitas flotantes, mientras que el pH definía la oportunidad de vida de las especies y su longevidad. (Jimenez et al., 2016).

8. RECOMENDACIONES

Es recomendable seguir investigando sobre esta temática y sobre todo en la Ciénaga de Zapatosa ya que cuenta con un área tan extensa que presta múltiples servicios ecosistémicos que pueden ser objeto de estudio de los estudiantes de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, conocer estos servicios y el impacto que tienen el equilibrio de los ecosistemas es fundamental para que se pueden plantear estrategias de conservación de estos sitio tan importantes en el territorio nacional.

Una complemento que se puede agregar a la presente investigación es la determinación del contenido de carbono que secuestra el suelo pantanoso y los sedimentos de las Ciénaga objeto de estudio. Los depósitos que se presentan en el suelo por lo general son bastante elevados debido a esto es necesario cuantificar está captura para dimensionar el servicio ecosistémico que prestan los suelos de estos cuerpos de agua, esta información puede representar un hallazgo importante que motive a la inversión en preservación y conservación de este ecosistema.

La evaluación de captura de carbono por macrófitas es recomendable aplicarla a otros cuerpos de agua dentro del territorio nacional, ya que todavía no existen las suficientes investigaciones en esta temática, siempre que se hacen investigaciones en secuestro y captura de carbono las realizan en bosques y áreas forestales, es muy poco el enfoque que se tiene a este servicio ecosistémico prestado también por los cuerpos de agua, esto lo hace una temática de estudio muy poca desarrollada en el país. Países como Perú tienen un sólido registro en estudios ambientales sobre la captura de Carbono en humedales altoandinos y costeros, estos fueron utilizados como referentes en la presente investigación y se consiguieron muy poco estudios de esta índole hechos en Colombia.

Complementando, otro complemento que se puede realizar en el apartado de metodología es hacer un mayor número de muestreos con más frecuencia, esto permitiría que las correlaciones, promedios y otros análisis estadísticos sean más confiables y precisos, esto se debe a que el número de repeticiones daría más datos con los cuales hacer estas pruebas estadísticas y las ecuaciones que utiliza el software de análisis estadístico considera el número de datos N, esta es una variable que podría definir la exactitud o fiabilidad de los datos. También se pueden considerar determinar y

correlacionar otros parámetros fisicoquímicos de interés, aparte de los que se consideraron en esta investigación para ver la relevancia que tienen estos primero sobre las macrófitas y como influyen los unos a los otros en el cuerpo de agua

Otra temática de interés podría ser, realizar el procedimiento del cálculo de captura de carbono en otros puntos estratégicos de la Ciénaga de Zapatosa, esto con el fin de abarcar más área de este cuerpo de agua y así tener un cálculo más completo de la totalidad de captura de carbono en todo el ecosistema y así poder resaltar el gran servicio ecosistémico que presta este cuerpo de a nivel nacional e incluso internacional.

También se podrían utilizar otras metodología para la determinación del contenido de carbono presente en las estructuras vegetales, una de ellas la alternativa que presentan Walkley-Black esta cuenta con una variedad de estudios donde la han utilizado lo cual le da sustento y es indicador que es una técnica aceptada en los estudios de esta temática. Esta técnica consiste en oxidar la muestra a la que se le quiere determinar el porcentaje carbono con una solución de dicromato de potasio estandarizada para luego agregar ácido sulfúrico concentrado y por ultimo titular con ortofenantrolina, después se utilizan las ecuaciones propuestas por el método. Teniendo la disponibilidad de reactivos esta técnica se puede aplicar en investigaciones futuras que se hagan en la Universidad Popular del Cesar, obteniendo así resultados precisos que permitirán sacar conclusiones acerca de este servicio ecosistémico que también es poco estudiado en nuestra Universidad.

Por último, hay que tener muy presente que cuando se hagan pruebas de laboratorio de y utilicen los equipos como los hornos o la mufla, se debe tener especial cuidado y usar Elementos de Protección Personal (EPP) al momento de utilizarlos ya que pueden causar heridas significativas como quemaduras si se les da un manejo no adecuado. Además, se debe verificar que el laboratorio tenga todas los equipos que se necesiten para la investigación antes de empezarla.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

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

Acuerdo N°005 de 2020. [Alcaldía Municipal de Chimichagua]. Plan de Desarrollo Municipal del municipio de Chimichagua, Cesar. 30 de junio de 2020.

Alcaldía Municipal de Chimichagua. (2022). Ecología del Municipio. Disponible en:

<https://chimichagua-cesar.gov.co>

Alvis, T. (2018). *Almacenamiento de Carbono en los Humedales Altoandinos Del Centro poblado Chalhuanca, Caylloma –Arequipa*. Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa

Amaya, Ángela M. (2017). *La piragua se quedó en Sempegua*. Revista Universidad EAFIT, 52(170), 38-43.

Ampuero, W. y Aponte, H. (2020). *Estimación del carbono almacenado en un juncal de Schoenoplectus americanus en el humedal costero Los Pantanos de Villa (Lima, Perú)*. Arnaldoa, 27(1), 267-281.

Atabaki N, Shaharuddin NA, Ahmad SA, Nulit R, Abiri R. (2020). *Assessment of Water Mimosa (Neptunia oleracea Lour.) Morphological, Physiological, and Removal Efficiency for Phytoremediation of Arsenic-Polluted Water. Plants*.

Barrero, I., y Márquez, A. (2015). *Evaluación de la calidad del agua en el Humedal La Conejera, Localidad 11 de Suba*. Universidad Distrital.

Beltrán Farfán, Diana F, Palomino Calli, Rocio P, Moreno Terrazas. (2015). Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011. *Revista Peruana de Biología*

Bonet, J. (2007). *Minería y desarrollo económico en el Cesar No85*. Banco de la República.

Caicedo, S. y Herrera, L. (2015). *Determinación de la cantidad de CO2 capturado y O2 producido por los diferentes biotopos en el humedal Santa María del Lago*. Universidad Santo Tomás.

Casanova, Robinson & Zambrano, Monica & Latandret-Solana (2019). *Comportamiento espacial de algunas variables fisicoquímicas en el pacífico colombiano durante el crucero oceanográfico cuenca pacífica colombiana CPC XLIX*. Boletín Científico CIOH.

Castellanos, K. y Diaz, G. (2021). *Determinación del potencial de captura de carbono por macrófitas acuáticas en el embalse del Guájaro, Atlántico – Colombia*. Universidad del Atlántico.

Ceras, M y Suarez, J. (2021). *Estimación del servicio ambiental de la captura de CO2 en totorales del humedal Pucush Uclo, Chupaca – Junín, 2021*. Universidad Cesar Vallejo.

Chang, C., y Mandarachi, L (2021). *Estimación de la captura de Carbono en las especies predominantes del humedal Tragadero-Junín*. Universidad San Ignacio de Loyola.

Chivelet J. (2010). *Ciclo del Carbono y Clima: La perspectiva geológica. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. ISSN: 1132-9157. Madrid, España.

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

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). (2015).

¿Qué es el Acuerdo de Paris? <https://unfccc.int/es/most-requested/que-es-el-acuerdo-de-paris>

Convención Relativa a los humedales de Importancia Internacional – RAMSAR (2016).

Introducción a la Convención sobre humedales (5ta ed.). Suiza: Secretaría de la Convención Ramsar.

Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). (1992).

<https://www.cbd.int/undb/media/factsheets/undb-factsheets-es-web.pdf>

Da Rocha H., De Freitas H., Rosolem R., Tannus R., Negron-Juarez R., Ligo M., Cabral O., (2005). *As Relações Entre A Vegetação E O Meio Físico No Cerrado Pé-De-Gigante. Ciclo Del Carbono*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria.

Dávalos, R., Morato, I. y Martínez, E. (2008) *Almacenamiento de carbono*. En: Manson RH

Duarte, C., Montes, C., Agustí, S., Martino, P., Bernués, M., & Kalff, J. (1990). *Biomasa de macrofitos acuaticos en la marisma del Parque Nacional de Donana (SW de Espana): importancia y factores ambientales que controlan su distribucion*. *Limnetica*, 6, 1-12

Enríquez A. y Cremona M. (2017). *Humedales patagónicos como reservorios de carbono. Una función poco reconocida en un mundo cambiante*. Serie de Divulgación N°3. Argentina.

Estrada, B. (2001). *Cambio Climático. Informe de Síntesis del Tercer Informe de Evaluación del IPCC*. Revista Física Y Sociedad.

Fernández, J. (2013). *El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales*. Anales de la real academia de medicina y cirugía de Valladolid, (50), 71-98.

- Franceschini, M. C., Adis, J., Poi de Neiff, A., y De Wysiecki, M. (2007). *Fenología de Cornops aquaticum (Orthoptera: Acrididae) en un camalotal de Eichhornia azurea (Pontederiaceae) en Argentina. Amazoniana, 19(3/4), 149-158.*
- García, R. (2013). *Estudio de la biomasa de "Cistur ladanifer L." y "Retama sphaerocarpa L." como sumidero de CO₂: Existencias y potencialidad - A2.* Universidad de Extremadura.
- Gordon, Elizabeth, y Feo, Yasmira. (2007). *Dinámica de crecimiento de hymenachne Amplexicaulis en un humedal herbáceo en el Estado miranda(venezuela).* Acta Botánica Venezuelica, 30(1), 1-18.
- Hernández R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación, 6. ed.* México D.F.: McGraw
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2020). *Instructivo De Toma Y Preservación De Muestras Sedimentos Y Agua Superficial*
- 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.
- Jimenez, Luis., Jahuir, Faustino., & Ibañez, Vladimiro. (2016). Treatment of eutrophoted waters of the interior bay of Puno, Peru, with the use of two macrophytes. *Revista de Investigaciones Altoandinas*
- Lallana, V. H., y Marta, M. C. (1981). *Biología floral de Eichhornia azurea (Swartz) Kunth (Pontederiaceae).* Rev Asoc Cienc Nat Litoral, 12, 128-135.

Limache Quispe, F. D., & Tirado Rebaza, L. U. M. (2022). Acción de dos macrófitas para el tratamiento del agua residual de las lagunas de estabilización de Magollo, Tacna – Perú. *Ciencia & Desarrollo*

líneas de investigación de los programas de pregrado de la facultad de ingeniería y

Luciano, S. C., & Henry, R. (1998). *Biomass of Eichhornia azurea KUNTH. and Brachiaria arreda Stent. in lower Taquari River, Jurumirim Reservoir, São Paulo, Brazil*. Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen

Maqbool, C. y Khan, A. (2013). *Biomass and Carbon Content of Emergent Macrophytes in Lake Manasbal, Kashmir: Implications for Carbon Capture and Sequestration*. International Journal of Scientific and Research Publications.

Marco, L., Azario, R., Metzler, C., Garcia, M. D., Marcó, L., y Azario, R. (2004). *La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales*. Higiene y Sanidad Ambiental, 4(11).

Martelo, Jorge, & Lara Borrero, Jaime A. (2012). *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte*. Ingeniería y Ciencia,

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

Melignani, Eliana. (2017). *Pautas para la remediación y recuperación de áreas sujetas a contaminación mixta de cuencas urbanas y periurbanas de llanura*. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

- Mena, V. (2008). *Relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y la composición fisionómica de la vegetación en los sistemas Agroforestales con Café y en bosques secundarios del corredor biológico Volcánica Central–Talamanca*. Costa Rica.
- Mettler Toledo. (2018). pH calculado basado en la conductividad. Artículo científico.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2021). “*Colombia está comprometida con la acción climática 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*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Navarro, R., Espinosa Lloréns, Ma. del C., Gutiérrez., J., y Ruiz, M. R. (2005). *Validación de La Determinación de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas y Aguas Residuales*. Revista CENIC Ciencias Químicas, Vol. 36, No
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Objetivos de desarrollo sostenible.
Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2021). *Boletín sobre los gases de efecto invernadero - N°17: Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2020 (2021)*.
- Ortega C., García A., Ruiz J., Sabogal J. y Vargas J. (2010) *Deforestación Evitada Una Guía REDD + Colombia*. Bogotá, Colombia.

- Pabón, J. (2012). *Cambio climático en Colombia: tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 36(139), 261-278.
- Paez Salamanca, D. L., y Roperro Rojas, S. (2021). *Determinación estructural de la comunidad de macrófitas del humedal jaboque y su interacción con la calidad del agua como herramienta para la solución de la tendencia a la eutrofización*.
- Palomino D. y Cabrera C. (2007). *Estimación del servicio ambiental de captura del CO2 en la flora de los humedales de Puerto Viejo*. Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas, 10(20), 49–59.
- Pérez, E. (2011). *Fotosíntesis: aspectos básicos*. Reduca (Biología), 2(3).
- Quinche, L., Valencia, J., Andrade, A., y Trujillo, A. (2016). *Análisis De Macrófitas Y Vegetación Riparia En Varios Sistemas Lóticos Y Lénticos Aledaños A La Reserva Yotoco-Valle Del Cauca*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rangel, J.O., Parra, Luis., Rivera Diaz, Orlando Rocha, Martha Alvarez, J. Garcia, Yennifer Amat, German Arellano Peña, Henry & Avella M., Andres Juan, Carvajal-C & Galvis, (2012). *Colombia diversidad biótica las ciénagas del departamento del cesar*. Universidad Nacional de Colombia.
- Reyes Mendoza, N. E. (2023). *Análisis multitemporal del espejo de agua en la ciénaga de Zapatosa ubicada en los departamentos del Cesar y Magdalena, durante el periodo 2015–2017 y 2021*. Universidad Antonio Nariño.

Sánchez, O., Herzig, M., Peters E., Márquez R., y Zambrano, L. (2007). *Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*, 11.

Sequeiros, D., y Cazorla, J. (2020). *Servicio ambiental de captura de carbono de los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, Tacna*. *Ingeniería Investiga*, 2(2), 357 - 375.

Standard Methods. (2024). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
Obtenido de <https://www.standardmethods.org/>

Suárez D., Acurio, C., Chimbolema, S., y Aguirre, X. (2016). *Análisis del carbono secuestrado en humedales Altoandinos de dos áreas protegidas del Ecuador*. *Ecología Aplicada*,

Valderrama, L. T. V. (1996). *Uso de dos especies de macrófitas acuáticas, Limnobium laevigatum y Eichhornia crassipes para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales*. *Universitas scientiarum*.

Velasquez, J. (2019). *Captura y Almacenamiento de carbono relacionado con la totora "Schoenoplectus Californicus" del Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo-Vegueta 2017*. Universidad Católica, Perú.

Viloria, J. (2008). *Economía extractiva y pobreza en la ciénaga de Zapotosa*.

World Wide Fund for Nature (WWF). (2019). *¿Qué es la Biodiversidad?*

Zamora, J. R. (2009). *Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre*. *Pensamiento Actual*

ANEXOS

ANEXO 1. Equipos multiparamétricos usados para determinar los parámetros fisicoquímicos del agua.



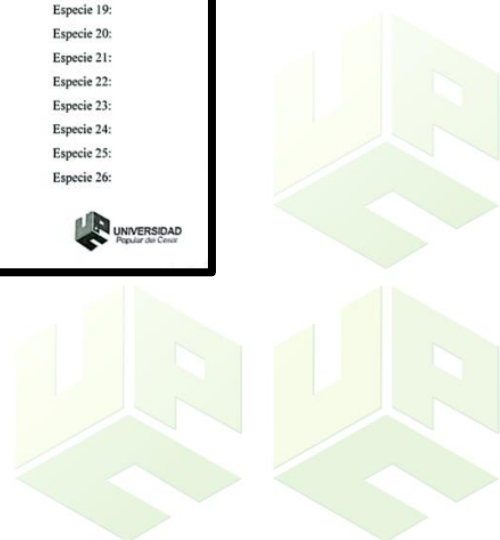
ANEXO 2. Equipos de laboratorio utilizados (Horno, mufla y balanza analítica)



ANEXO 3. Cuadrantes de 1m² y formatos de muestreo



(1)	(2)	Formato para muestreo de macrófitas	
		Transecto: _____	Lugar: _____
(3)	(4)	Zona: _____	Tipo: _____
		Coordenadas: _____	
(5)		Especie 1: _____	Especie 14: _____
		Especie 2: _____	Especie 15: _____
		Especie 3: _____	Especie 16: _____
		Especie 4: _____	Especie 17: _____
		Especie 5: _____	Especie 18: _____
		Especie 6: _____	Especie 19: _____
		Especie 7: _____	Especie 20: _____
		Especie 8: _____	Especie 21: _____
		Especie 9: _____	Especie 22: _____
		Especie 10: _____	Especie 23: _____
		Especie 11: _____	Especie 24: _____
		Especie 12: _____	Especie 25: _____
		Especie 13: _____	Especie 26: _____
HORA: ____:____			



ANEXO 4. Certificado de ponencia en THE EXPO Semilleros & Jóvenes investigadores.

