

**DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE CO₂ CAPTURADO Y O₂ PRODUCIDO
POR LOS DIFERENTES BIOTOPOS EN EL HUMEDAL SANTA MARÍA DEL
LAGO**

**SILVIA MARÍA CAICEDO VILLATE
LAURA MILENA HERRERA RIVERA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2015**

**DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE CO₂ CAPTURADO Y O₂
PRODUCIDO POR LOS DIFERENTES BIOTOPOS EN EL HUMEDAL SANTA
MARÍA DEL LAGO**

**SILVIA MARÍA CAICEDO VILLATE
LAURA MILENA HERRERA RIVERA**

**Trabajo de Grado en la modalidad de Solución de un problema de Ingeniería
para optar al título de Ingeniero Ambiental**

Director

**Liliana Salazar López
BIÓLOGA ESP- MSc CIENCIAS AMBIENTALES**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2015**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros padres por apoyarnos y motivarnos a seguir adelante, por inspirarnos a ser mejores personas y por creer en nosotras en todo momento.

A la bióloga Liliana Salazar López quien fue nuestra directora de tesis y nos brindó su ayuda, apoyo, y valiosos conocimientos a lo largo de la realización de este trabajo de grado, sin mencionar la confianza que depositó en nosotras.

Al ingeniero Manuel Mayorga Guzmán quien nos brindó su apoyo y ayuda a la hora de la realización de los muestreos y nos colaboró con el préstamo de diferentes instrumentos para la realización de estos.

Al estudiante Jaime Marulanda quien nos brindó su ayuda y conocimientos en el manejo del programa Matlab.

A Luisa Fernanda Jiménez Vidal quien nos brindó su ayuda y nos colaboró con el préstamo de implementos, equipos y laboratorios de la Universidad Santo Tomas

CONTENIDO

RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUCCIÓN	14
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo General:	15
2.2 Objetivos Específicos:	15
3. MARCO REFERENCIAL	16
3.1 MARCO CONTEXTUAL	16
3.2 MARCO CONCEPTUAL.....	17
3.2.1 Humedales	17
3.2.2 Ciclo biogeoquímico del carbono.....	20
3.2.3 Cambio Climático	24
3.2.4 Productividad Primaria	25
3.2.5 Macrófitas	28
3.2.6 Bienes y Servicios Ambientales.....	34
3.3 MARCO INSTITUCIONAL.....	39
3.4 MARCO LEGAL	40
4. DESARROLLO CENTRAL.....	42
4.1 Búsqueda, revisión y análisis de la Información secundaria existente	43
4.2 Visita de reconocimiento al Humedal Santa María del Lago	43
4.3 Metodologías para la captura de Dióxido de Carbono CO ₂ y producción de Oxígeno O ₂	43
4.3.1 Método de Winkler modificado (Strickland y Parsons (1968))	43
4.3.2 Método de la botella clara y oscura.	47
4.3.3 Método de razón molar para la determinación del Dióxido de Carbono (CO ₂) capturado	47
4.4 Estimación de la biomasa aportada por las macrófitas	48

4.5 Diseño del modelo matemático en MatLab para la estimación del Oxígeno (O_2) producido por las macrófitas a partir de la biomasa	50
5. RESULTADOS	57
5.1 Resultados de la identificación de los principales biotopos potenciales para captura de CO_2 y producción de O_2 del humedal.	57
5.2 Resultados de la determinación de la concentración de Dióxido de Carbono (CO_2) y producción de Oxígeno (O_2) en cada biotopo (Comunidad de macrófitas definida) seleccionado por medio del método de la botella clara y la botella oscura.	60
5.2.1 Método de Winkler modificado	60
5.2.2 Análisis de resultados del método de la botella clara y oscura	64
5.2.3 Análisis de resultados del método de razón molar para la determinación del Dióxido de Carbono CO_2 capturado	65
5.3 Resultados obtenidos del diseño del modelo matemático que permita comparar la eficiencia en la captura de Dióxido de Carbono (CO_2) y producción de Oxígeno (O_2) entre diferentes tipos de vegetación acuática, del humedal Santa María del Lago	67
5.3.1 Análisis de la estimación de la biomasa aportada por las macrófitas.....	68
5.3.2 Resultados del código e interfaz.....	69
5.3.3 Resultados del código ejecutado desde Matlab.....	73
6. CONCLUSIONES	75
7.RECOMENDACIONES	76
8. GLOSARIO	77
9. BIBLIOGRAFÍA.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Productividad primaria en distintas zonas del mundo, en unidades de $\text{Mg C}^{-1} \text{año}^{-1}$	27
Tabla 2. Documentos relacionados con los humedales	40
Tabla 3. Metodología para generar un código con interfaz en Matlab	52
Tabla 4. Resultados de la medición del Oxígeno inicial en los 5 muestreos de los diferentes biotopos	61
Tabla 5. Resultados de la medición del Oxígeno en Botella clara en los 5 muestreos de los diferentes biotopos	62
Tabla 6. Resultados de la medición del Oxígeno oscura en los 5 muestreos de los diferentes biotopos	63
Tabla 7. Tabla de la productividad total de oxígeno en (mg/L/6h) en los diferentes biotopo.....	64
Tabla 8. Paralelo de los datos obtenidos entre el Oxígeno producido y el dióxido de Carbono capturado	66
Tabla 9. Determinación de la biomasa en diferentes tipos de macrófitas (g)	68
Tabla 10: Contenido de carbono en la biomasa (g)	70
Tabla 11: Dióxido de Carbono producido por las especies (g)	71
Tabla 12. Oxígeno producido (g)	72

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Panorámica del Humedal Santa María del Lago	16
Imagen 2. Ciclo del carbono en humedales	18
Imagen 3. Bienes y servicios ambientales que presentan los humedales, como ecosistemas estratégicos.....	20
Imagen 4. Gráfica de la cantidad de carbono que se encuentra captado en distintos biomas a nivel global.	23
Imagen 5. Grupo de Enea en el Humedal Santa María del Lago	31
Imagen 6. Buchón cucharita en el Humedal Santa María del Lago	32
Imagen 7. Grupo de junco cerca de las orillas del Humedal	33
Imagen 8. Conjunto de macrófitas en el agua; las pequeñas hojas de color rojizo es el Helecho de Agua.....	34
Imagen 9. Tabla de clasificación de los bienes y servicios ambientales según la OCDE – EUROSTAT	36
Imagen 10. Anatomía de la hoja de una planta en donde se muestran las resistencias al flujo de entrada de CO ₂ y de salida de vapor de agua a través de estomas.	38
Imagen 11. Kit de oxígeno disuelto.	45
Imagen 12. Asentamiento De La Muestra De Agua	46
Imagen 13. La Muestra Toma Un Tono Amarillo Y Está Limpia.....	46
Imagen 14. Adición Del Indicador De Almidón	46
Imagen 15. Adición De Solución De Reactivo Valorante Hi3810-0 Hasta Que La Muestra Quedara Transparente.....	46
Imagen 16. Medición del peso en gramos de la Enea (<i>Typha latifolia</i>)	48
Imagen 17. Medición del peso en gramos del Buchón (<i>Limnobiium laevigatum</i>) ...	48
Imagen 18. Medición del peso en gramos del Botoncillo amarillo (<i>Bidens laevis</i>) .	48
Imagen 19. Medición del peso en gramos de la Azolla (<i>Azolla filiculoides</i>)	49
Imagen 20. Medición del peso en gramos del Junco (<i>Cyperus sp, juncus sp</i>)	49
Imagen 21. Medición del peso seco de la Enea (<i>Typha latifolia</i>).....	49
Imagen 22. Medición del peso seco de la Azolla (<i>Azolla filiculoides</i>)	49
Imagen 23. Medición del peso seco del Botoncillo amarillo (<i>Bidens laevis</i>)	49
Imagen 24. Medición del peso seco del Buchón (<i>Limnobiium laevigatum</i>)	50
Imagen 25. Medición del peso seco del Junco (<i>Cyperus sp, juncus sp</i>).....	50
Imagen 26. Código (.m) creado en Matlab	54
Imagen 27. Comandos para la creación de matrices vacías	54
Imagen 28. Comandos necesarios para generar el contador y para el ingreso de datos.....	54
Imagen 29. Comando para imprimir las respuestas	55
Imagen 30. Impresión de los datos organizados	56
Imagen 31. Ejecución del código directamente desde Matlab.	74

Imagen 32. Interfaz generado por el programa Matlab para la determinación del contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono producido y el oxígeno producido por las macrófitas en el muestreo 1.....	104
Imagen 33. Interfaz generado por el programa Matlab para la determinación del contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono producido y el oxígeno producido por las macrófitas en el muestreo 2.....	104
Imagen 34. Interfaz generado por el programa Matlab para la determinación del contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono producido y el oxígeno producido por las macrófitas en el muestreo 3.....	105
Imagen 35. Interfaz generado por el programa Matlab para la determinación del contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono producido y el oxígeno producido por las macrófitas en el muestreo 4.....	105
Imagen 36. Interfaz generado por el programa Matlab para la determinación del contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono producido y el oxígeno producido por las macrófitas en el muestreo 5.....	106

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1: Cantidad de oxígeno disuelto en el agua teniendo en cuenta la temperatura	44
Grafica 2. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS MACRÓFITAS EN EL HUMEDAL SANTA MARÍA DEL LAGO EN EL CUERPO DE AGUA	59
Grafica 3. Productividad total de Oxígeno en (mg/L/6h).....	64
Grafica 4. Cantidad de Dióxido de Carbono (CO ₂) capturado en (mg/L) y Oxígeno O ₂ producido en (mg/L) en 6h	67
Grafica 5. Determinación de la biomasa en diferentes tipos de macrófitas (g)	69
Grafica 6. Determinación de la biomasa en diferentes tipos de macrófitas (g)	70
Grafica 7. Oxígeno producido (g) y Dióxido de Carbono capturado por las especies (g)	73

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: La ecuación química de la fotosíntesis	37
Ecuación 2: Formación del precipitado de óxido de Manganeseo	46
Ecuación 3: Oxidación del Yoduro a Yodo	46
Ecuación 4: Reducción del Yodo a iones de Yoduro.....	46
Ecuación 5: Ecuación de la fotosíntesis	47
Ecuación 6: Ecuaciones para la estimación de biomasa.....	50
Ecuación 7: Relación entre la glucosa y dióxido de carbono para la estimación de este último, siendo x la biomasa en gramos.	51
Ecuación 8: Ecuación simplificada ingresada en Matlab para la determinación del dióxido de carbono, siendo X la biomasa en gramos.	51
Ecuación 9: Ecuación de la relación entre dióxido de carbono y el oxígeno para la estimación de este último, siendo Y el dióxido de carbono en gramos.	51
Ecuación 10: Ecuación simplificada ingresada en Matlab para la determinación del oxígeno, siendo Y el dióxido de carbono en gramos.	51

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la determinación de cuanto Dióxido de Carbono (CO_2) se captura y cuanto Oxígeno (O_2) se produce durante la fotosíntesis de distintas macrófitas encontradas en el Humedal Santa María del Lago, para lo cual se identificaron los diferentes biotopos que forma la comunidad de macrófitas presentes en el humedal, con el objeto de comparar la producción de oxígeno y la captación de CO_2 en cada uno de los biotopos.

Para el desarrollo de este trabajo se tuvo en cuenta información existente de diferentes estudios en otros países como México y Perú, acerca de la captura de carbono en distintos ecosistemas y su función como herramienta contra el problema del calentamiento global causado por la emisión masiva de gases de efecto invernadero. Además de ello, se utilizó el método de razón molar para la determinación cuantitativa del dióxido de carbono, que es capturado por las plantas y el oxígeno que es liberado por las mismas.

A pesar de que el humedal Santa María del Lago cuenta con una extensión pequeña y por este factor no pueda llegar a ser considerado como una gran solución al calentamiento global, sí representa un ejemplo en cuanto a que éste tipo de ecosistemas son una forma de remediar los problemas que son causados por el aumento de los gases de efecto invernadero en la atmosfera.

Las metodologías que se tuvieron en cuenta fueron el uso de botella clara y oscura para determinar la producción total de oxígeno disuelto en los diferentes biotopos seleccionados, método de Winkler modificado mediante el uso de un kit de oxígeno disuelto con el cual se realizaron muestreos in situ para determinar la cantidad de oxígeno en el agua en las áreas determinadas por la presencia de los biotopos definidos. Otra metodología utilizada fue el uso de la razón molar, con la cual a partir de la ecuación de la fotosíntesis se relacionaba la producción de oxígeno en cada planta; se realizó además la determinación de biomasa con las diferentes macrófitas y por último se desarrolló un modelo matemático con ayuda del programa MATLAB el cual comparaba la producción de Dióxido de Carbono (CO_2) y Oxígeno (O_2) de cada especie de macrófitas.

Palabras Clave: Humedal, Fotosíntesis, Dióxido de carbono, Oxígeno, Macrófitas, Biotopo, Cambio climático, Modelo matemático y Servicio ambiental.

ABSTRACT

In this paper the determination of how much carbon dioxide (CO_2) is captured and how much oxygen (O_2) was performed occurs during photosynthesis of different macrophytes found in the wetlands of Santa Maria del Lago, for which the different biotopes were identified that macrophyte community form present in the wetland, in order to compare the production of oxygen and CO_2 uptake in each biotope.

For the development of this work took into account existing information from different studies in other countries such as Mexico and Peru, on carbon sequestration in different ecosystems and their role as a tool against the problem of global warming caused by massive emission greenhouse. Furthermore, the molar ratio method for the quantitative determination of carbon dioxide, which is captured by plants and oxygen that is released by them was used.

Although the wetland Santa María del Lago features a small extent and this factor can't come to be regarded as a solution to global warming, it does represent an example in that these types of ecosystems are one way to remedy the problems are caused by the increase in greenhouse gases in the atmosphere.

The methodologies that were considered were the use of light and dark bottle to determine the total production of dissolved oxygen in different biotopes selected, modified Winkler method using a kit of dissolved oxygen which in situ samples were taken to determine the amount of oxygen in the water in the areas determined by the presence of the defined biotopes. Another method used was the use of the molar ratio, with which from the equation for photosynthesis oxygen production was related each floor; was also carried out to determine the different macrophyte biomass and finally a mathematical model using the MATLAB program which compared the production of Carbon Dioxide (CO_2) and oxygen (O_2) of each species of macrophytes was developed.

Keywords: Wetland, Photosynthesis, Carbon dioxide, Oxygen, Macrophytes, Biotopo (Comunidad de macrófitas definida), Climate Change, Mathematical model and Environmental service.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales más importantes es el calentamiento global, causado por la producción acelerada de gases efecto invernadero, resultado de las distintas actividades humanas en la cuales se hace uso de combustibles fósiles y de la degradación de los suelos. Los humedales como ecosistemas estratégicos naturales desarrollan un papel importante en la prestación de bienes y servicios ambientales, especialmente la captura del carbono (atmosférico) y a su respectiva transformación en oxígeno mediante la fotosíntesis, siendo partícipes claves de los ciclos biogeoquímicos especialmente con ciclo del carbono, sobre el cual estos ecosistemas prestan una función reguladora en la captura de CO₂.

Sin embargo, actualmente existe información limitada en cuanto a la cantidad de Dióxido de Carbono (CO₂) capturado y el Oxígeno (O₂) producido en estos ambientes, razón por la cual, esta investigación se enmarcó en la determinación y cuantificación de estos procesos en diferentes biotopos o unidades estructurales definidas por las macrófitas (Comunidad de macrófitas definida), presentes en el humedal Santa María del Lago.

Dentro de los humedales existen distintas especies de plantas que se encargan de realizar la absorción del carbono, contribuyendo con el papel de los suelos presentes en el humedal, que realizan esta tarea; el presente trabajo tuvo como objetivo determinar la cantidad Dióxido de Carbono (CO₂) capturado y el Oxígeno (O₂) producido por los diferentes biotopos del humedal de Santa María del lago, basado en el metabolismo fotosintético, contribuyendo con la función reguladora del cambio climático global, ya que disminuye la producción de gases efecto de invernadero.

Igualmente, se realizaron de mediciones de oxígeno disuelto del agua de cada uno de los biotopos del humedal, con el fin de comparar la eficiencia fotosintética de cada biotopo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General:

Determinar la cantidad de Dióxido de Carbono (CO_2) capturado y el Oxígeno (O_2) producido por los diferentes biotopos del humedal de Santa María del lago como regulador del cambio climático global.

2.2 Objetivos Específicos:

- Identificar los principales biotopos potenciales para captura de Dióxido de Carbono (CO_2) y producción de Oxígeno (O_2) del humedal.
- Determinar la concentración de Dióxido de Carbono (CO_2) y producción de Oxígeno (O_2) en cada biotopo seleccionado por medio del método de la botella clara y la botella oscura.
- Diseñar un modelo matemático que permita comparar la eficiencia en la captura de carbono y producción de oxígeno entre diferentes tipos de vegetación acuática, del humedal Santa María del Lago.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 MARCO CONTEXTUAL

El Humedal Santa María del Lago se encuentra ubicado en el barrio Minuto de Dios, en la localidad de Engativá, al noroccidente de la ciudad de Bogotá. Entre las carreras 73 a 76 entre la calle 80 y la avenida Boyacá. Es uno de los 13 humedales de la ciudad y es considerado una reserva ecológica debido a su reciente recuperación junto con el humedal Juan Amarillo [1].

El humedal cuenta con una superficie de 12 hectáreas, de las cuales 5,64 (Cerca del 47% de la totalidad de su extensión) pertenecen al espejo de agua. En una época recibía vertimientos de aguas residuales de la zona, pero las alcantarillas que existían fueron clausuradas. Posteriormente, desde el año 2001 se han desarrollado las actividades de recuperación del cuerpo de agua, además de programas de educación ambiental impartidos por los funcionarios de la Secretaría Distrital de Ambiente [2].

Cuenta con diferentes especies, tanto de fauna como de flora, entre los que es posible hallar: Juncos (*Schoenoplectus californicus*), Enea (*Typha latifolia*), Botoncillo Amarillo (*Bidens laevis*), Buchón Cucharita (*Limnobiium laevigatum*), sombrillita de agua (*Cyperus alternifolius*), Helecho de Agua (*Azolla filiculoides*), una mezcla de árboles como el eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh), arrayan (*Myrtus communis*) y acacias (*Acacia dealbata*). En cuanto a la fauna, es un hábitat para especies como: cucaracheros de pantano (*Cistothorus apolinari*), tinguas (*Rallus semiplumbeus*), patos y peces [2].

Imagen 1. Panorámica del Humedal Santa María del Lago



Fuente: Elaboración Propia

3.2 MARCO CONCEPTUAL

3.2.1 Humedales

Los humedales son ecosistemas húmedos que cuentan con características tanto acuáticas y terrestres, en donde cuentan con una actividad biológica que se adapta a los ambientes húmedos, razón por la cual estos medios tienen la capacidad de albergar algunas especies de animales y plantas, los cuales están relacionados con el medio acuático. Entre los principales elementos que se pueden encontrar en los humedales están las comunidades biológicas, el suelo o sustrato y el agua, siendo este último fundamental, puesto que éste controla la vida vegetal y animal que se encuentra en dicho ecosistema [3].

Los humedales tienen una función ecológica significativa, puesto que tienen una gran diversidad, regulan el clima, amortiguan crecientes, controlan inundaciones, capturan Dióxido de Carbono (CO_2) y producen Oxígeno (O_2) entre otros factores. Estructuralmente, este ecosistema se divide en tres zonas, la primera denominada como la zona alta es la que posee tierra firme alrededor de humedal, en el caso de las zonas de montaña, en ésta se pueden encontrar árboles, hierbas y arbustos entre otras. La segunda zona es la ribereña, esta corresponde a la zona de tierra que se encuentra entre la zona más alta y la zona acuática, en estas zonas se puede encontrar abundante vegetación, hierbas, arbustos y árboles y por último la zona acuática, en algunos casos esta puede ser profunda, y en esta se puede encontrar vegetación acuática. [3].

Los humedales cuentan con 3 componentes: [4]

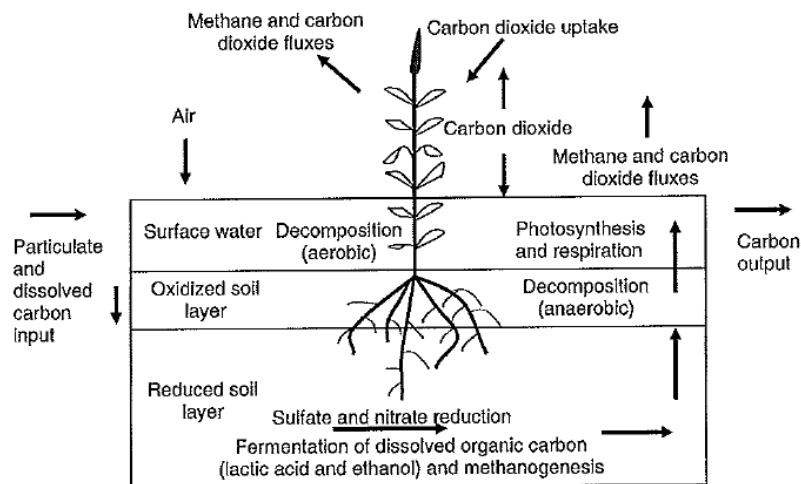
1. Suelo hídrico: Son formados por inundaciones, son suelos saturados por un largo periodo, desarrollando condiciones anaerobias en la superficie lo que permite que se puedan generar macrófitas en ella. Debido a su condición anaerobia se producen procesos biogeoquímicos dando como resultado unas características específicas del suelo que son: acumulación de óxidos de hierro y manganeso y un color grisáceo debido a la reducción del manganeso.
2. Presencia de macrófitas, plantas adaptadas a los suelos inundados que pueden encontrarse en los humedales. Son el inicio de la cadena trófica del humedal, ya que allí es donde se desarrolla el proceso de la fotosíntesis, que será explicado más adelante. Sirve además como hábitat para animales en el humedal.
3. Presencia de agua, define la zona de espejo y columna de agua, haciendo que en ellos la inundación sea permanente.

Dentro del ciclo del carbono, los humedales cumplen con un papel muy importante al capturar el CO_2 por medio de las plantas que se encuentran allí y transformarlo

en oxígeno. Igualmente los suelos tienden a secuestrar el gas, esto debido su alta actividad anaerobia, la cual inhibe un proceso acelerado de la degradación de materia orgánica generando una capacidad de almacenamiento muy buena [4].

De acuerdo a lo anterior, estudios como Validation of the ecosystem services of created wetlands: Two decades of plant succession, nutrient retention, and carbon sequestration in experimental riverine marshes que dicen que los humedales contienen cerca del 35% del carbono total del planeta. Los humedales, por su condición anaerobia, también tienden a ser productores de metano y óxidos de nitrógeno, pero esto se da en condiciones de salinidad limitados [5].

Imagen 2.Ciclo del carbono en humedales



Fuente: [6]

3.2.1.1 Clasificación de los humedales según la jurisdicción de la CAR

El humedal a trabajar es el Humedal Santa María del Lago, el cual se encuentra dentro de la clasificación de Humedales del altiplano cundiboyacense. Estos se encuentran ubicados en la sabana de Bogotá, Valles de Ubaté y Chiquinquirá. Se caracterizan por ser pantanos de aguas dulces, los cuales se encuentran inundados temporal o permanentemente. Tienen una cobertura de vegetación acuática y/o semiacuática y estos regulan las inundaciones de los ríos. Además están a alturas de 2000 y 2700 m.s.n.m. [3].

3.2.1.1.1 Humedales de alta montaña

En este se encuentran los humedales de páramo y los humedales de ladera; en la actualidad estos se encuentran amenazados debido al desarrollo de actividades agrícolas. Los humedales de páramo son aquellos que se encuentran por encima de los 3200 m.s.n.m., estos se caracterizan por tener un bajo contenido de nutrientes. [3]

En el caso de los humedales de ladera, son aquellos que se encuentran ubicados entre los 2700 y 3200 m.s.n.m., estos corresponden a las lagunas andinas, que poseen espejos de agua, los cuales se encargan de regular el agua mediante la captura, almacenamiento y liberación de esta [3].

3.2.1.1.2 Humedales Subandinos

Están ubicados entre los 1000 y 2000 m.s.n.m., entre sus funciones están el concentrar la humedad proveniente con los vientos de las zonas bajas que precipita sobre zonas montañosas [3].

3.2.1.1.3 Humedales de tierras bajas

Se hallan entre los 100 y 1000 m.s.n.m.; estos ambientes concentran la mayor parte de la humedad que viene con los vientos de las zonas bajas. Suelen ser poco profundos por lo que sus fluctuaciones hídricas son estacionales, un ejemplo de este tipo de humedales es el humedal El Yulo en el municipio de Ricaurte y la laguna del Coco en el municipio de Puerto Salgar [3].

3.2.1.2 Importancia de los humedales

De lo mencionado anteriormente se ha podido esclarecer las diferentes funciones de los humedales como sumideros de CO₂, no obstante es importante mencionar las funciones de los humedales como prestadores de bienes y servicios ambientales lo cual se puede apreciar en la siguiente imagen:

Imagen 3. Bienes y servicios ambientales que presentan los humedales, como ecosistemas estratégicos



Fuente: [3]

3.2.2 Ciclo biogeoquímico del carbono

El carbono es uno de los elementos esenciales de los seres vivos, debido a que compone gran parte de la materia orgánica, además de su facilidad para unirse con otros átomos para formar diferentes cadenas de compuestos de longitud variable [7]. Entre los átomos a los que se une se encuentra el oxígeno, dando lugar al monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂), ambos compuestos gaseosos que son considerados como factores de problemas ambientales en el mundo.

Por un lado, el carbono es posible encontrarlo en la atmósfera, éste carbono se genera a partir de las emisiones por el uso de combustibles fósiles; según estudios, la emisión de este tipo de gases se ha incrementado en 3.5 veces desde el año 1950, lo que quiere decir que hasta hace unos años, el volumen de carbono emitido era de 6.2 billones de toneladas al año [8].

Además de la atmósfera, donde también es posible encontrar carbono, es el océano aunque de forma disuelta, debido a la absorción por parte del fitoplancton que se

encuentra en el agua. En cuanto al carbono que se encuentra en la biósfera se hace referencia tanto al suelo como a la biomasa, es decir los productos forestales, tales como bosques y plantaciones que no sean con fines de agricultura [9].

Las rocas son otro de los lugares donde el carbono se encuentra presente, ya sean como rocas carbonatos, que son compuestos de sales donde el más reconocido es el carbonato cálcico (CaCO_3) o calcita; o como combustibles fósiles, entre los que se tienen el petróleo, el carbón y el gas. Con respecto a estos últimos la principal problemática son las emisiones de dióxido de carbono que se generan al hacer uso desmedido de los combustibles fósiles [8].

Por otro lado, el carbono se clasifica en cuatro reservorios que son:

- Vegetación aérea y subterránea
- Materia en descomposición, aérea y subterránea
- Materia orgánica en el suelo (Biomasa, hojas)
- Disuelto en agua

Estos cuatro reservorios son los que se involucran en el ciclo biogeoquímico del carbono, el cual es definido como el movimiento del carbono entre el medio biótico y abiótico; se ve afectado por las actividades antropogénicas, puesto que la generación desmedida del carbono desequilibra dicho ciclo, es decir, la cantidad de carbono que es capturado y el que es emitido por el hombre tienden a tener una diferencia muy notoria [10].

El ciclo biogeoquímico del carbono comienza con la fotosíntesis realizada por las plantas; durante este proceso la planta captura el dióxido de carbono presente en el medio, el cual será transformado por enzimas en el estroma. Durante el proceso de la fotosíntesis es importante destacar la presencia de cloroplastos, estructuras que contienen clorofila (Pigmento de color verde compuesto por un anillo de porfirina con magnesio que capta la luz, esencial para la fotosíntesis al convertirse en el catalizador de esta) [7].

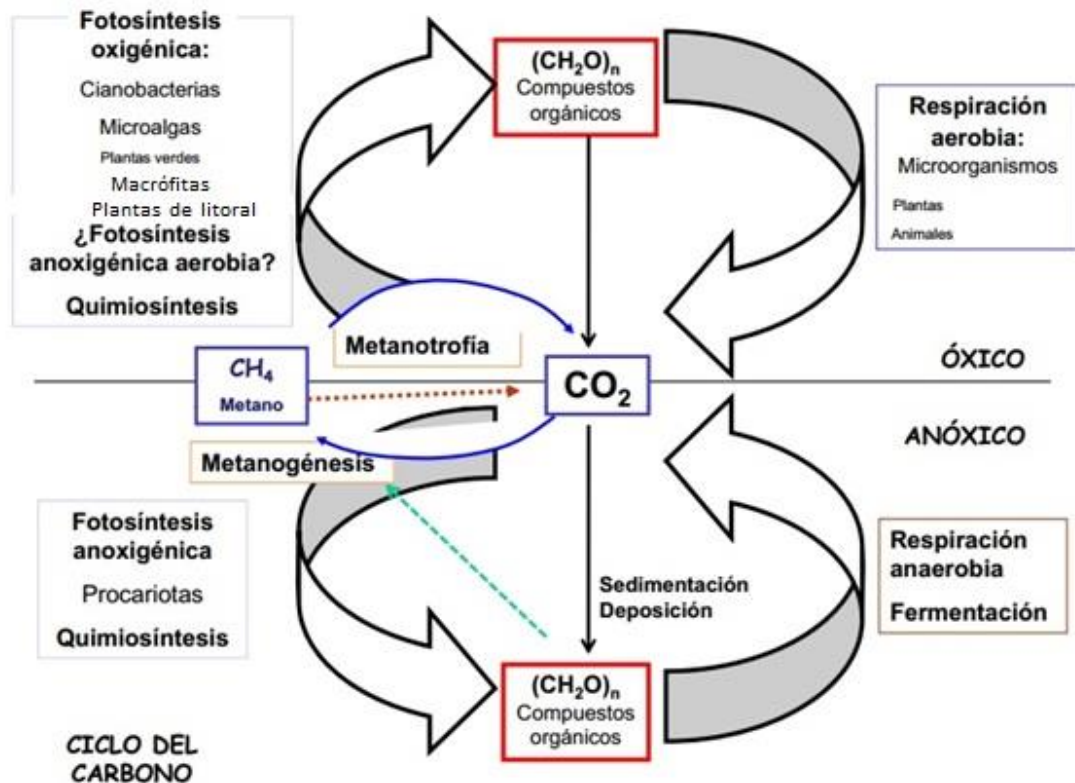
Se distinguen dos fases de la fotosíntesis, una fase luminosa o fotoquímica, en esta los cloroplastos captan la energía lumínica y la transforman en energía química dando como resultado Adenosin Trifosfato (ATP) debido al transporte de electrones; y la segunda es la fase oscura, en la cual se hace uso del ATP producido anteriormente y se sintetizan los hidratos de carbono que serán integrados en los tejidos de la planta y liberando oxígeno como resultado [7].

El siguiente paso dentro del ciclo, es la inclusión en la cadena trófica. Esto sucede cuando las plantas sirven como alimento de las distintas especies; aquí ocurren dos procesos: el primero es la acumulación de carbono dentro de los seres vivos que consumen las plantas (siendo el carbono un átomo elemental en la vida), cuando termina la vida de estos seres vivos y llegan al punto de la descomposición, generan

materia orgánica cuyo porcentaje contiene carbono que es reintegrado al sistema y el segundo proceso es la respiración efectuada por cada uno de los seres [11].

En éste proceso de respiración, el oxígeno que es liberado por el desarrollo de la fotosíntesis ingresa junto con una mezcla de otros gases al sistema respiratorio de los seres vivos, allí se desarrolla el proceso inverso a la fotosíntesis donde el catalizador son los azúcares consumidos y se hace una transformación química hasta obtener dióxido de carbono, el cual es liberado al ambiente y retorna al ciclo al ser captado por las plantas [11].

Esquema 1: Ciclo del carbono en sistemas acuáticos



Fuente: [12]

Otra manera de capturar el carbono presente en el ambiente, es cuando se encuentra disuelto en el agua, allí las diferentes especies como peces y microorganismos, secuestran el carbono mediante la respiración y transformación de éste en caparazones y estructuras óseas en carbonato de calcio. Este proceso

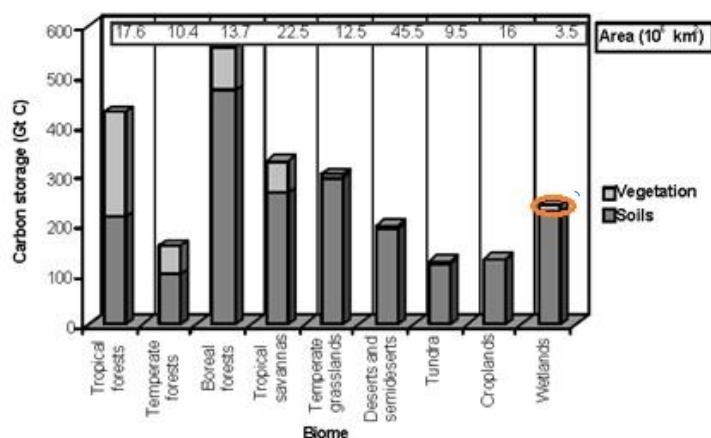
es la formación de la sal CaCO_3 a partir de la presencia de dióxido de carbono y agua, generando ácido carbónico que reaccionará con el calcio o el magnesio presente en el agua; aquí alguno de los dos metales desplaza el hidrógeno del ácido formando la sal que hará parte fundamental de la formación de los caparazones o estructuras esqueléticas de ciertas especies como los arrecifes de coral [11].

3.2.2.1 Captura de carbono

La captura del carbono es el proceso mediante el cual el Dióxido de Carbono CO_2 es tomado de la atmósfera para ser transformado en Oxígeno (O_2), hidratos de carbono y carbonatos, mediante el proceso de la fotosíntesis o simplemente ser reservado como en el caso de los suelos. Se encuentra en todo el ciclo biogeoquímico del carbono y es efectuado por diferentes actores [10].

El primer agente que se encarga de capturar el carbono es la vegetación, la cual mediante el proceso de la fotosíntesis transforma el carbono en oxígeno. El segundo es el suelo que se encarga de almacenar el carbono, el cual se convierte en metano, y puede llegar a ser liberado por la degradación del suelo por actividades como la ganadería, la agricultura y la dragación de ambientes como los humedales. El tercer agente son los microorganismos en el agua, en este caso el fitoplancton realiza un proceso de fotosíntesis donde toma el carbono disuelto en el agua y lo transforma en oxígeno, o también mediante las especies que toman el carbono para transformarlo en conchas y exoesqueletos [10].

Imagen 4. Gráfica de la cantidad de carbono que se encuentra captado en distintos biomas a nivel global.



Fuente: [13]

3.2.2.1.1 Captura de carbono en humedales

Los humedales ocupan 4-6% de la extensión del planeta, pero son los lugares que más carbono reservan. Hasta el año 2005 se tiene que la cantidad de carbono, a nivel global, que los humedales contienen es de 350-535 Gt C [13].

3.2.3 Cambio Climático

Toda actividad humana que va ligada al desarrollo industrial, cualquier forma de vida y el crecimiento económico, genera un impacto al ambiente. Actividades como la producción de alimentos, el transporte y procesos productivos entre otros, que hacen uso de diferentes maquinarias que funcionan a base de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo, emiten gases a la atmósfera alterando el comportamiento del clima [14].

Estos gases son considerados de efecto invernadero, entre los cuales es posible encontrar: el dióxido de carbono, el metano, el vapor de agua, monóxido de carbono, clorofluorocarbonados, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros.

En los últimos años, debido al progreso tan acelerado de la industria y también debido al crecimiento demográfico el cual genera mayor demanda en alimentos y por ende aumento de la extensión de tierras destinadas a la agricultura, se ha podido evidenciar de una forma más notoria la acumulación de estos gases en la atmósfera [14].

En los últimos años se ha constatado el incremento de la temperatura, ocasionando de esa forma el incremento del nivel del mar y alteraciones en el comportamiento de los animales, entre otros fenómenos [14].

Como fenómeno normal se tiene que a la Tierra llega una radiación de onda corta, la cual es absorbida más que todo en la superficie, y es distribuida atmosférica y oceánicamente; posteriormente, esta energía se retransmite al espacio (como una onda larga), con el fin de mantener un balance entre la energía recibida y la energía emitida. El aumento de los gases efecto invernadero han ocasionado la disminución de este balance, ya que la onda emitida al espacio no se puede dispersar en su totalidad y ésta permanece en la superficie, generando que la temperatura global aumente [15].

A partir de los diferentes cambios en el clima, se han realizado diferentes modelos matemáticos con el fin de simular los procesos de circulación atmosférica lo que ha permitido estudiar la variabilidad del clima. Entre los gases invernadero uno de los más importantes es el vapor de agua, debido a que este aumento en la temperatura atmosférica [15].

3.2.3.1 Gases Efecto Invernadero

Para entender qué son los gases de efecto invernadero (GEI) es necesario exponer el fenómeno del **efecto invernadero**. La existencia de vida en la Tierra ha sido posible gracias a un balance de temperatura generada entre los rayos UV que ingresan a la Tierra, los emitidos por el sol y el fenómeno de reflexión de la mayoría de estos rayos, aquellos que quedan atrapados en la atmósfera son los encargados de no permitir que el planeta se enfríe demasiado. Los gases de efecto invernadero son los encargados de mantener los rayos UV en la capa atmosférica. Estos gases son: óxidos de nitrógeno y azufre, dióxido de carbono, metano, vapor de agua y compuestos clorofluorocarbonados [16].

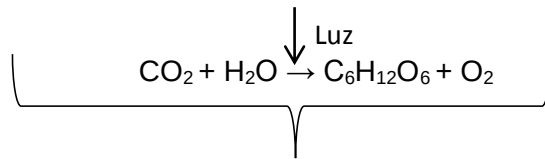
El dióxido de carbono es el gas más importante ya que es el que se genera con mayor frecuencia, su crecimiento se explica desde la revolución industrial con el uso de combustibles fósiles como el petróleo o el gas. El metano CH_4 es otro gas importante, calienta al planeta 20 veces más que el CO_2 y es producido por las bacterias Metanogénicas durante el proceso de degradación de materia orgánica [16].

Los demás gases suelen generarse durante el desarrollo de diferentes actividades productivas e industriales, por la quema de bosques o la actividad de los volcanes y la degradación de los suelos [16].

Con la acumulación de estos gases se generan efectos adversos entre los cuales se encuentran: el aumento de la temperatura global al no poder ser liberados muchos de los rayos UV que ingresan al planeta, generando un desbalance en los ciclos dando paso a fenómenos como sequías e inundaciones prolongadas, la escasez de alimento consecuencia de este desbalance, la generación de enfermedades, especialmente con la presencia de vectores que se desarrollan por las condiciones de ciertas zonas cuando se presenta un cambio del clima, entre otros [16] [17].

3.2.4 Productividad Primaria

La producción primaria es aquella en la que se produce nueva materia orgánica, es decir la biomasa producida por los autótrofos presentes en el ecosistema. La velocidad con la que se lleva a cabo el proceso de la fotosíntesis en la productividad, que requiere de tres fuentes de energía: la luz, moléculas orgánicas y moléculas inorgánicas; la productividad involucra los siguientes procesos metabólicos: la producción primaria bruta que es igual a la fotosíntesis total, la productividad primaria neta que es la diferencia entre lo producido por autótrofos menos lo consumido por autótrofos que equivale a la respiración de autótrofos más el consumo. [18].



La velocidad con la que se realice este proceso es equivalente a la productividad
Siendo:

Producción primaria bruta (PPb): La fotosíntesis total es decir $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2$

Producción primaria neta (PPn): Es la biomasa sobrante después de la realización del proceso de la respiración, está dado por la siguiente formula:

$$\text{Pn} = \text{Pb} - \text{R}$$

Dónde:

Pn: Producción Neta

Pb: Producción bruta

R: Proceso respiratorio

Si el resultado da positivo, se puede interpretar como el aumento de la biomasa de las plantas en el ecosistema [70].

El proceso de captura de carbono por parte de las plantas tiene una importancia ambiental que se centra en la disminución de la presencia de este gas en la atmósfera. Como se ha determinado anteriormente en el presente trabajo, existen varios efectos negativos en la acumulación de éste y otros gases en la atmosfera, que generan problemas tanto en la salud de los humanos como a nivel ambiental, en cuanto al agotamiento de los distintos hábitats por el calentamiento global y cambios drásticos en el comportamiento del clima generando situaciones extremas, entre otros [18].

Existe otra importancia ambiental pero a su vez también es indirecta, se trata de la calidad y fertilidad de los suelos. Cuando se generan cultivos que capturan carbono, también se facilita la cobertura vegetal y se evita uno de los problemas más importantes en este ámbito que es la erosión de los suelos. La presencia de materia orgánica facilita el proceso [18].

La importancia ambiental en cuanto a la producción de oxígeno a partir del proceso de la fotosíntesis, se basa en la premisa de que el oxígeno es uno de los más importantes, para la existencia de la vida tanto animal, humana y vegetal. Muchas de las actividades que se desarrollan necesitan del oxígeno para poder realizarse. La producción de Oxígeno permite la respiración, función necesaria para el desarrollo de la vida, permite el crecimiento y desarrollo de la vida en el planeta,

hace parte de la conformación del aire, masa que es capaz de permitir en transporte de más compuestos, entre otros [18].

Un claro ejemplo de la producción primaria está dado por el fitoplancton el cual constituye la base de la cadena alimentaria, además de ser uno de los organismos acuáticos con características fotosintéticas. Entre estos se encuentran las cianobacterias las cuales son algas verdes – azuladas, las diatomeas las cuales son amarillas con dorado y por último los dinoflagelados. No obstante el fitoplancton también se encarga de fijar el Dióxido de Carbono (CO_2) atmosférico, donde a partir de estudios como por ejemplo *The effect of seasonality in phytoplankton community composition on CO_2 uptake on the Scotian Shelf* de S.E. Craiga, H. Thomasa, C.T. Jonesa, W. K.W. Lib, B. J.W. Greenanb, E.H. Shadwickc y W.J. Burta se pudo determinar que dos de cada tres moléculas son utilizadas en la fotosíntesis y posteriormente es precipitado como Carbonato de Calcio (CaCO_3).

Lamentablemente este proceso está limitado por una de las fuentes de energía (Luz), ya que a medida que aumenta la columna de agua, disminuye este [19]. En la siguiente tabla es posible ver la productividad primaria que se ha registrado en la literatura, comparando distintas zonas:

Tabla 1. Productividad primaria en distintas zonas del mundo, en unidades de $\text{mg C}^{-1} \text{año}^{-1}$

Zona vs. Productividad ($\text{mg C}^{-1} \text{año}^{-1}$)	
Humedales zonas tropicales	10 mg
Selva	8,5 mg
Bosques Tropicales	6 mg
Hum. con esp. Leñosas (Trópico)	11 mg
Hum. Con esp leñosas (Templado)	16 - 32 mg
Planicie inundable	12 - 20 mg
Hum. Herbáceo de agua dulce	3 - 7 mg
Lagos	0,5 - 1 mg
Zona Boreal	0,4 - 16 mg

Fuente: [14]

3.2.5 Macrófitas

Las macrófitas o hidrófitos son el nombre con el cual se conocen a las plantas acuáticas; se caracterizan por estar presentes en cuerpos de agua y su crecimiento es acelerado, generando procesos de eutroficación en estos ambientes. [20].

Las macrófitas comprenden tres tipos biológicos: Los Flotantes, que son aquellos que no están sujetos al sustrato, entre los cuales es posible encontrar el *Jacinto de agua* o la *Lenteja de agua*. También se encuentran los enraizados – flotantes, que tienen como característica su sujeción al sustrato y que las hojas que generan son grandes y son las que se mantienen flotando; aquí se encuentran los *Nenúfares*. Por último, se tienen los macrófitos sumergidos, que tienen todas sus estructuras enraizadas dentro del agua y una especie reconocida de éstas son las *Espigas de agua* [20] [21]. Dentro de ésta última, una de las especies más notables a la vista, son cualquiera de las especies de *Lemna Sp* y el *Buchón de agua*, que cuentan con la característica de ser de hojas notablemente pequeñas y abundantes en la zona donde se hallen [22].

El papel que desempeñan estas plantas dentro de los ecosistemas acuáticos comprende desde la proporción de hábitats, alimento y protección para otras especies que se encuentren en el agua, hasta convertirse en materia prima de algunas industrias como la producción de alimento para animales de granja, a razón del contenido proteico presente, y como uno de los compuestos más requeridos en la generación de biocombustibles. Algunos se encuentran en la alimentación de los seres humanos y su principal uso es la depuración de efluentes contaminados, especialmente en la remoción del ortofosfato [22]. Esto es importante debido a que el ortofosfato o ácido fosfórico puede contaminar las capas freáticas (estas son capas de agua que se encuentran a una pequeña profundidad del suelo), no obstante el ortofosfato también estimula el crecimiento de microorganismos acuáticos de maneras exageradas generando así la contaminación de cuerpos hídricos. Este compuesto químico está presente en el agua debido a la descarga de aguas residuales o por los drenajes agrícolas [23].

Las macrófitas se caracterizan, además, por ser fácilmente visibles, ser organismos sedentarios y que acumulan sustancias tóxicas, lo que los convierte en excelentes bioindicadores (Organismos que se emplean para conocer las condiciones ambientales en los ecosistemas), a primera vista de la calidad del agua en el efluente, a partir de su sensibilidad ante el cambio en factores como el pH, turbiedad, temperatura y salinidad, entre otros; todo esto generado por la presencia de materia orgánica en los lugares donde se establecen y, como se mencionó anteriormente, tienen una reproducción de comportamiento acelerado, lo cual suele convertirse en un problema de control [20].

Esto depende de la carga orgánica que contenga el efluente y como su crecimiento es continuo llegan a ocupar gran parte de la superficie del espejo de agua. Si estos cuerpos hídricos son utilizados para alguna actividad entonces deben ser removidas las macrófitas y eso conlleva un costo adicional para las personas que hagan uso del mismo.

Dentro de los mecanismos para el control del crecimiento de estas plantas se encuentra el uso de maquinaria para remover los excesos de macrófitas (Mecánico) o el control biológico que utiliza animales que consuman para mantener el equilibrio y por último está el control químico en donde se aplica glifosato, herbicida que es fácilmente reconocido como una sustancia tóxica y que implica un impacto negativo para el ambiente por su uso [22].

Las macrófitas existentes en el humedal según los recorridos de campo y la corroboración del documento “Humedales del territorio” [3] fueron:

3.2.5.1 Botoncillo Amarillo (*Bidens laevis*)

El botoncillo amarillo, con nombre científico *Bidens laevis*, es una especie que pertenece a la familia de los Asteraceae, especie que agrupa desde árboles y arbustos hasta plantas herbáceas; crecen en Estados Unidos, México, Chile, Colombia, Uruguay y Argentina, pero se han encontrado especies en los continentes de África y Oceanía. Se caracterizan por tener una flor compuesta y rodeada de varias filas de brácteas; suelen crecer en lugares con temperaturas moderadas, que sean húmedos y donde se evidencien aguas poco profundas, para el caso de este trabajo, son los humedales [24].

El Botoncillo Amarillo se reconoce principalmente por la presencia de una flor amarilla, como es posible ver en la imagen 2. Su reproducción es rápida, razón por la cual es verla de forma abundante en los humedales y cuenta con características medicinales. Llega a medir cerca de 1 m de alto y tienen hojas opuesta con forma dentado grueso; las flores suelen tener pétalos con un largo de 1.5 a 3 cm. Debido a que crecen en ambientes húmedos, gran parte de sus raíces se encuentran bajo el agua [25].

El botoncillo es utilizado en las pruebas de genotoxicidad como indicador de la germinación de semillas de acuerdo a la presencia de ciertos insecticidas como el edosulfan (Compuesto organoclorado y altamente tóxico) y para evaluar la sensibilidad ante compuestos como el *Hidrazida Maleica* o *Sal potásica* y *Metanosulfonato de metilo* [24].

Imagen 4. Flor del Botoncillo amarillo (*Bidens laevis*)



Fuente: Elaboración Propia

3.2.5.2 Enea (*Typha latifolia*)

La enea es la planta más común en los humedales de Bogotá, se le conoce también como *Anea*, *Espadaña*, *Totoro* o *Junco de Estera*, entre otros; pertenece al género *Typha*, cuyas plantas se caracterizan por tener tallos fuertes y ser acuáticas [26]. La especie *latifolia* se caracteriza por alcanzar de 2 a 3 metros de altura y sus hojas tienen un ancho de 18 mm; habitualmente habitan en las orillas de las corrientes de agua lentos [27]. Se desarrolla en cualquier lugar que tenga suelo húmedo o saturado la mayor parte del año; Puede establecerse en suelos con bajo porcentaje de materia orgánica, y acepta suelos con características de básicos, ácidos y hasta calizos [28].

La enea puede permanecer en épocas de inundaciones hasta 80 cm y el mínimo de altura de agua a la cual puede establecerse es de 50 cm. La inflorescencia se caracteriza por ser similar a un habano y con coloración opaca. La reproducción de esta planta es rápida, lo cual se ha convertido en uno de los mayores problemas de los humedales, al requerir de un mantenimiento continuo [28].

Esta planta se usa en la fabricación de canastos; los tallos y hojas al ser gruesos y resistentes son utilizados en la construcción de techos de cabañas. La celulosa que se extrae de ellas es utilizada para la fabricación de rayón y papel; la parte más baja de la planta solía utilizarse como alimento. A nivel ambiental, sirven como alimento a ciertas especies, como abrigo para aves, además de tolerar altas concentraciones de plomo, cobre y níquel, de tal forma que han sido usados como tratamiento secundario de las aguas residuales [26].

Además de lo anterior, la enea funciona como un indicador de calidad de agua en cuanto a la acumulación de metales pesados, especialmente el hierro, manganeso, cadmio, zinc, cobre, cobalto, plomo, níquel y cromo. La acumulación de estos metales suele darse en los rizomas, raíces y hojas de las plantas [29].

Imagen 5. Grupo de Enea en el Humedal Santa María del Lago



Fuente: Elaboración Propia

3.2.5.3 Buchón Cucharita (*Limnobium laevigatum*)

El buchón cucharita, o científicamente conocido como *Limnobium laevigatum*, es la planta que presenta mayor problema para las fuentes de agua que son estáticas, debido a su desmesurado crecimiento. Perteneciente a la familia Hydrocharitaceae que se caracterizan por ser hierbas acuáticas sumergidas o flotantes de agua dulce, cuyas hojas circulares son emergentes con un ancho de 20 a 50 mm [30].

Es considerada como una de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo, debido a que su reproducción es rápida dando paso a una proliferación desmedida que genera un impacto en varios aspectos como: la facilidad en la navegación, ya que es una planta que en abundancia forma una especie de tapete sobre el espejo de agua, igualmente para actividades de pesca y turísticas; suelen requerir de un continuo mantenimiento mecánico para retirarlas. Al formar una masa densa evitan el paso de luz al espejo de agua lo que provoca que las especies que se encuentran en el no puedan respirar y se quedan sin oxígeno, tanto las plantas como los peces presentes [31].

A pesar de que es una especie que genera un impacto negativo en el ambiente en que se halla cuando no hay un control de su crecimiento, se ha encontrado una utilidad a ello y es la remediación de los suelos que están en proceso de degradación con ayuda del compostaje [32]. Los estudios que se han realizado en cuanto a este proceso, se han realizado en otra especie, que es el Buchón de Agua (*Echiornia crassipens*), pero aplicable a la especie que se encuentra en el Humedal. La idea que se tiene de utilizar esta planta durante el compostaje es que el buchón funcione como el agente degradante de la materia orgánica, como suelen hacerlo los microorganismos, y con ayuda de un abultante, se pueda realizar la debida degradación de materia orgánica y con ello una estabilización de los suelos

que se están tratando, esto dando un producto final que no contiene patógenos ni malezas [33].

Otra utilidad con la cual cuentan las especies de buchón, es ser filtros biológicos en aguas residuales que contienen metales pesados y sólidos suspendidos, con ello disminuyendo la presencia de color en este tipo de aguas. Todo tipo de buchón sirve como indicador de contaminación ambiental, es decir, que la presencia excesiva de esta macrófita quiere decir que hay una gran cantidad de nutrientes en el agua [34].

Imagen 6. Buchón cucharita en el Humedal Santa María del Lago



Fuente: Elaboración Propia

3.2.5.4 Juncos

3.2.5.4.1 *Schoenoplectus californicus*

Los juncos, también conocidos como totoras, son hierbas acuáticas con características de ser perennes, con un tallo que alcanza de 1 a 3 m de altura y un diámetro en promedio de 1 cm; las hojas de este tipo de macrófita son pequeñas y en forma de vaina que se encuentran en la base del tallo. Las flores que produce son espigas que cuentan con un largo de hasta 5 cm y de color castaño. Es una especie nativa del continente americano, y presente en cuerpos de agua lénticos y de agua dulce; son bastante comunes en los humedales de Bogotá debido a su rápido crecimiento [26].

Las utilidades que se le dan a estas plantas van desde lo industrial, en el uso de la celulosa presente en sus tallos para realizar papel fino, uso artesanal en la fabricación de elementos decorativos y a nivel medicinal para la curación de heridas. A pesar de ello, el problema que presenta con este tipo de plantas es que al ser captadoras de sedimentos entorpecen el flujo de agua en los medios en los cuales se encuentran [35].

Una de las utilidades ambientales que tiene el junco, es la bioacumulación de pesticidas organoclorados, compuestos químicos contaminantes y de gran problema para el medio ambiente, especialmente los hábitats acuáticos, debido a su resistencia a la degradación y que suelen ser utilizados en los cultivos como solución a las plagas [36].

Imagen 7. Grupo de junco cerca de las orillas del Humedal



Fuente: Elaboración Propia

3.2.5.4.2 *Juncus bogotensis*

El *Juncus bogotensis* también es conocido como *juncus effusus*, en la ciudad se encuentra ubicado a una altura de 2700 a 2750 m.s.n.m. Tiene una forma similar al *Schoenoplectus californicus*.

Es una planta perenne, alcanza alturas de hasta 60 cm, sus tallos son delgados los cuales terminan en vainas basales y de color castaño; es posible encontrarlo en las orillas de los humedales [37].

Ambientalmente sirve para remover diferentes compuestos como el arsénico y el amonio en aguas residuales; el arsénico, compuesto tóxico de origen geológico pero también generado por actividades mineras, es absorbido mediante reacciones redox entre las raíces de los juncos y el agua que contiene el arsénico [38].

3.2.5.5 Helecho de Agua (*Azolla filiculoides*)

El helecho de agua, también conocido como helecho mosquito o azolla, pertenece a la familia de las *Azolla filiculoides*, que reúne el grupo de pequeñas plantas acuáticas flotantes. Desde la era Cretácica se ha descrito cerca de 40 especies, pero en la actualidad existen 6 representativas, entre las que se encuentra la *Azolla filiculoides* que es de nuestro interés [39].

El helecho de agua tiene su origen en el continente Americano, pero es posible encontrarlo en el noreste de Europa; la espora del helecho de agua es de tipo trigonal. Se caracteriza por tener un tamaño realmente pequeño, de superficie psilado o lisa, y de bordes estrechos y rectos [40].

Es una especie que se encuentra en alturas desde los 5 hasta los 4200 msnm, en climas templados y regiones tropicales. Suele tener un tono rojizo debido a la presencia de la cianobacteria fijadora de nitrógeno *Anabaena sp* bajo una relación simbiótica, la cual reside en la cavidad interior de las hojas del helecho. Debido a esto, la azolla suele tener altos niveles de nitrógeno, lo que la hace un excelente fertilizante para los cultivos, especialmente de arroz. Adicionalmente suele utilizarse como alimento para animales y ambientalmente, en la fitorremediación de suelos y aguas superficiales [40].

Se caracteriza además por residir en ambientes con agua fresca, de lo cual se puede esperar que sea sensible a la presencia de agentes externos; en estudios se ha demostrado que es un indicador para los niveles altos de salinidad en las aguas. Adicionalmente, tiene la capacidad para remover el color de las distintas aguas residuales [41].

Imagen 8. Conjunto de macrófitas en el agua; las pequeñas hojas de color rojizo es el Helecho de Agua



Fuente: Elaboración Propia

3.2.6 Bienes y Servicios Ambientales

Los bienes y servicios son, como lo dice su nombre, bienes o elementos, tanto tangibles como intangibles, que tienen la función de satisfacer las necesidades de los individuos y grupos de ellos [42].

Dentro de los bienes y servicios, se encuentran aquellos relacionados con los aspectos social, económico, cultural, científico y de los ecosistemas; éstos últimos son los denominados *Bienes y Servicios Ambientales*, los cuales trabajan de acuerdo con los recursos naturales y el mercado que existe con éstos [42].

El *mercado ambiental* no se encuentra plenamente definido, a diferencia de los demás sectores económicos, debido a sus características con respecto al destino

final que es la contribución a la calidad del medio ambiente, la minimización de impactos y la eficiencia en la repartición de los recursos [42].

Dentro de los bienes y servicios ambientales se comprenden todas aquellas acciones para evitar los impactos y riesgos ambientales generados por procesos productivos, además de los esfuerzos para la optimización de los mismos, minimizando el consumo de recursos naturales [42].

Los bienes ambientales son aquellos recursos tangibles utilizados como insumos en la producción y se transforman durante el proceso; los servicios ambientales, se caracterizan por ser transformados dentro del proceso, pero no se gastan y generan una utilidad indirecta al consumidor [42].

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) dentro de este sector ambiental es posible integrar “las actividades que están desarrolladas a medir, prevenir, limitar, minimizar o corregir daños al agua, aire, y suelo, así como problemas relacionados con residuos, ruido y ecosistemas. Ello incluye tecnologías más limpias, productos y servicios que reducen el riesgo ambiental y minimizan la contaminación y el uso de recursos” [43]. Los bienes y servicios ambientales se pueden clasificar, según OCDE – Eurostat, que es el centro de estadística de la Unión Europea, en tres puntos:

- ✓ Grupo A, control de la contaminación, en donde se incluyen las herramientas y equipos de “final de tubo” para los procesos productivos
- ✓ Grupo B, tecnologías y productos más limpios, en el cual las tecnologías genéricas y los bienes con un impacto menor se encuentran
- ✓ Grupo C, gestión de los recursos naturales, que trabaja los procesos en donde se hace un uso racional de los recursos, trabajos de gestión y distribución de energía con fuentes renovables.

Las plantas acuáticas podrían ser clasificadas como proveedoras de un servicio ambiental, dentro del Grupo C, ya que está relacionada con los recursos naturales y su conservación, ligada al desarrollo de una herramienta que tiene como objetivo ayudar en el aumento de la temperatura global.

La razón por la cual los recursos naturales han sido agregados al flujo económico radica en que la naturaleza forma parte de todos los procesos productivos, comenzando con la generación de materias primas que serán transformadas [42]. Dentro de la política, la aplicación de bienes y servicios ambientales va de acuerdo al monitoreo de la contaminación de los ecosistemas, la prevención y atención a desastres, planeación y reducción de los impactos generados en cada una de las actividades. Cuando se habla de ésta última relación, se da a entender la

connotación económica que adquiere el medio ambiente al haber una contribución al capital natural del país y a la generación de empleo.

Imagen 9. Tabla de clasificación de los bienes y servicios ambientales según la OCDE – EUROSTAT

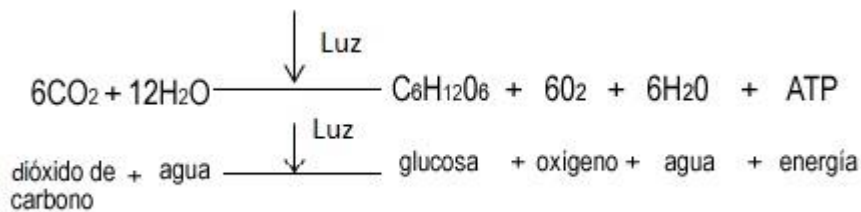
DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS GRUPOS OCDE-EUROSTAT		
Grupo A. Control de la contaminación	Grupo B. Tecnologías y productos limpios	Grupo C. Gestión de los recursos naturales
Equipo ambiental y materiales específicos: • Control de la contaminación atmosférica. • Tratamiento de aguas residuales. • Tratamiento de residuos sólidos. • Remediación y limpieza de suelos, aguas superficiales y subterráneas. • Reducción de ruido y vibraciones. • Monitoreo, análisis y mejoramiento ambiental. • Otros bienes. Servicios ambientales: • Control de la contaminación atmosférica. • Gestión de aguas residuales. • Gestión de residuos sólidos. • Remediación y limpieza de suelos, aguas superficiales y subterráneas. • Reducción de ruido y vibraciones. • Investigación y Desarrollo Ambiental. • Construcción e ingeniería ambiental. • Servicios de análisis e información estadística. • Educación, entrenamiento e información. • Otros.	• Tecnologías y procesos limpios o de uso eficiente de recursos. • Productos limpios o eficientes en recursos.	• Control de la contaminación del aire en ambientes cerrados. • Abastecimiento de agua. • Materiales reciclados / reciclaje. • Plantas de energía renovable. • Gestión y ahorro de energía / calor. • Agricultura y pesquerías sustentables (incluye biotecnología aplicada). • Silvicultura sustentable. • Gestión de riesgos naturales. • Ecoturismo. • Otras.

Fuente: [42]

Dentro de los bienes y servicios provenientes de un ecosistema se tiene una clasificación, los no transables, en donde se encuentra la *Captura de carbono y liberación de oxígeno*; se consideran así porque son aquellos que el ecosistema libera y cumple una función en beneficio del pueblo [42].

✓ Fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso de conversión de la materia orgánica, en este caso el dióxido de carbono (CO_2) atmosférico, en una estructura compleja orgánica, que sería la glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), además de otros productos como el oxígeno O_2 , agua y energía; se desarrolla en presencia de radiación solar. La ecuación química que representa esta síntesis es la siguiente:



La fotosíntesis inicia con la captación de la energía solar a través de las hojas de las plantas, las cuales tienden a tener una forma aplanada y con poco espesor para permitir que la luz pueda penetrar en las hojas y alcance a los cloroplastos, éstos se encuentran contenidos en la mitad de la estructura, en las células mesofílicas, las cuales se podrían considerar como las más importantes, debido a que allí es donde se efectúa la fotosíntesis [44].

Las mismas hojas, recubiertas por una capa cerosa (Cutícula) que evita la evaporación del agua, fundamental en el proceso como se puede ver en la ecuación 1, captan igualmente el dióxido de carbono a través de unos poros, llamados *estomas*, a intervalos apropiados. Dentro de los cloroplastos (Organelos de doble membrana) se encuentran los *estromas*, en él hay una bolsa interconectada y de forma circular denominadas *tilacoides* sobre los cuales se deposita la clorofila que en estas bolsas es donde se efectúan las reacciones de luz de la fotosíntesis [44].

La fotosíntesis se divide en dos fases:

- Fase Luminosa: Aquí la luz solar es transformada en energía química; en dos moléculas que son ATP (Adenosin Trifosfato) y NADPH (Dinucleótido de nicotinamida y adenina fosfato), las cuales serán usadas posteriormente en la fase oscura de la fotosíntesis para almacenar las moléculas de gran energía como lo es la glucosa [44].

La fotosíntesis ocurre en las membranas de las tilacoides, allí se encuentran dos fotosistemas, que contienen cada uno, grupos de proteínas, clorofila,

pigmentos y las moléculas portadoras de electrones; las moléculas de la clorofila absorben la luz y pasan la energía a una molécula específica que se denomina *centro de reacción*, uno de los electrones de este centro sale de la clorofila y pasa al otro sistema que es denominado *el transporte de electrones*. Durante este proceso el electrón pierde energía la cual da como resultado el ATP y el NADPH [44].

Cuando la clorofila queda libre de electrones, atrae los electrones de las moléculas del agua que absorbe. La molécula al dividirse y ceder sus electrones, libera como subproducto el oxígeno.

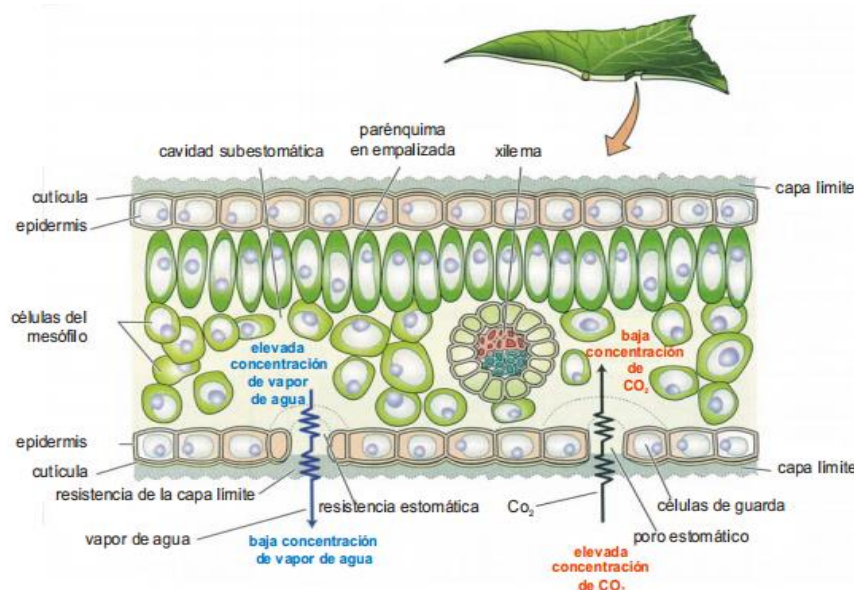
- Fase Oscura: En esta fase de la fotosíntesis, se toman las dos moléculas generadas en la fase anterior, como la energía para sintetizar la glucosa a partir del dióxido de carbono y el agua. Dentro de esta fase también interactúan un azúcar, el cual captura el gas, que es denominado *bifosfato de ribulosa* o RuBP y otras enzimas encargadas de ser los catalizadores de estas reacciones [44].

La fase oscura ocurre en tres fases: Fijación de carbono, síntesis de gliceraldehído-3-fosfato o G3P y la regeneración de RuBP. En la fase de fijación de carbono, a través de enzimas, el RuBP se combina con el CO_2 que se encuentra en la atmósfera, formando ácido fosfoglicérico o PGA, el cual será transformado en G3P con ayuda de la energía obtenida del ATP y del NADPH. Por último, en la regeneración de RuBP, quedan 2 moléculas de G3P que servirán para sintetizar la glucosa [44].

Una vez sintetizados los compuestos orgánicos, estos se utilizan para mantener los tejidos de la planta y para mantener las reservas de carbohidratos de la planta. En el proceso de la fotosíntesis uno de los factores principales es la radiación incidente en la hoja, la temperatura, la disponibilidad de agua y cantidad de nutrientes en la planta. En el caso de la temperatura esta es importante debido a que controla la tasa de producción bruta y la respiración, además determina la tasa de la fotosíntesis neta [45].

Por otro lado, de toda la radiación que incide en la hoja, solo los fotones que posean una longitud de onda entre los 400 y 700 nm serán más útiles para la planta. Estos son absorbidos por las hojas, siendo de esta manera un flujo de energía para la fotosíntesis y además determina la tasa de asimilación del CO_2 [45]

Imagen 10. Anatomía de la hoja de una planta en donde se muestran las resistencias al flujo de entrada de Dióxido de Carbono CO_2 y de salida de vapor de agua a través de estomas.



Fuente: [45]

3.3 MARCO INSTITUCIONAL

El desarrollo de esta investigación se realiza con base en los requerimientos de las siguientes instituciones

– **Universidad Santo Tomás:**

La Universidad Santo Tomás USTA es el primer claustro universitario en el país, fundada por la Orden de Predicadores (O.P) el 13 de junio de 1580. Cuenta con sedes en Bogotá, Medellín, Villavicencio, Bucaramanga y Tunja. Cuenta con acreditación de alta calidad para varios de sus programas académicos. La Universidad Santo Tomás se encuentra acreditada en alta calidad para varios de los programas que ofrece para la división de ingeniería se encuentran: Ingeniería Civil, de Telecomunicaciones, Electrónica y Mecánica; en las demás divisiones se puede encontrar con: Comunicación Social, Psicología, Cultura Física, entre otras. El programa de Ingeniería Ambiental se encuentra en proceso de acreditación, el cual no había sido posible llevarlo a cabo por la cantidad de promociones graduadas de esta carrera [46].

El aporte de esta investigación a la universidad enriquece el conocimiento de la evaluación ambiental aplicada y sienta bases para el desarrollo de otras investigaciones sobre los humedales capitalinos, para el fortalecimiento de las bases de datos de la universidad.

– **Secretaría Distrital de Ambiente:**

La Secretaría Distrital de Ambiente SDA es el ente regulador distrital en cuanto a los temas ambientales que se puedan presentar en la ciudad. Para el presente trabajo se realizó un convenio entre la Universidad Santo Tomás con la Secretaría Distrital de Ambiente [47]. Es esta la entidad encargada de administrar los humedales capitalinos y tiene interés especial en el fortalecimiento de convenios interinstitucionales para realizar investigaciones en estos importantes laboratorios vivientes.

3.4 MARCO LEGAL

En la siguiente tabla se resumen los documentos normativos que se relacionan con el desarrollo del presente trabajo.

Tabla 2. Documentos relacionados con los humedales

Documento	Resumen
Decreto – Ley 2811 de 1974	El código de los Recursos Naturales estipula la protección de los cuerpos y lechos de agua como una medida para evitar la contaminación ambiental.
Decreto 1541 de 1978	Condiciones relacionadas con los cuerpos de agua diferentes a los mares. Abarca limitaciones, restricciones, conservación de los mismos.
Decreto 1594 de 1984	Se establecen los usos del agua de los humedales, el cual debido a sus características físico-químicas es la preservación de la fauna y flora.
Ley 165 de 1994	Se aprueba el Convenio sobre la Diversidad Biológica, con la cual se reafirma que la biodiversidad y la protección de ésta es de interés para toda la humanidad; se observa que es vital prever, prevenir y atacar las causas de su reducción

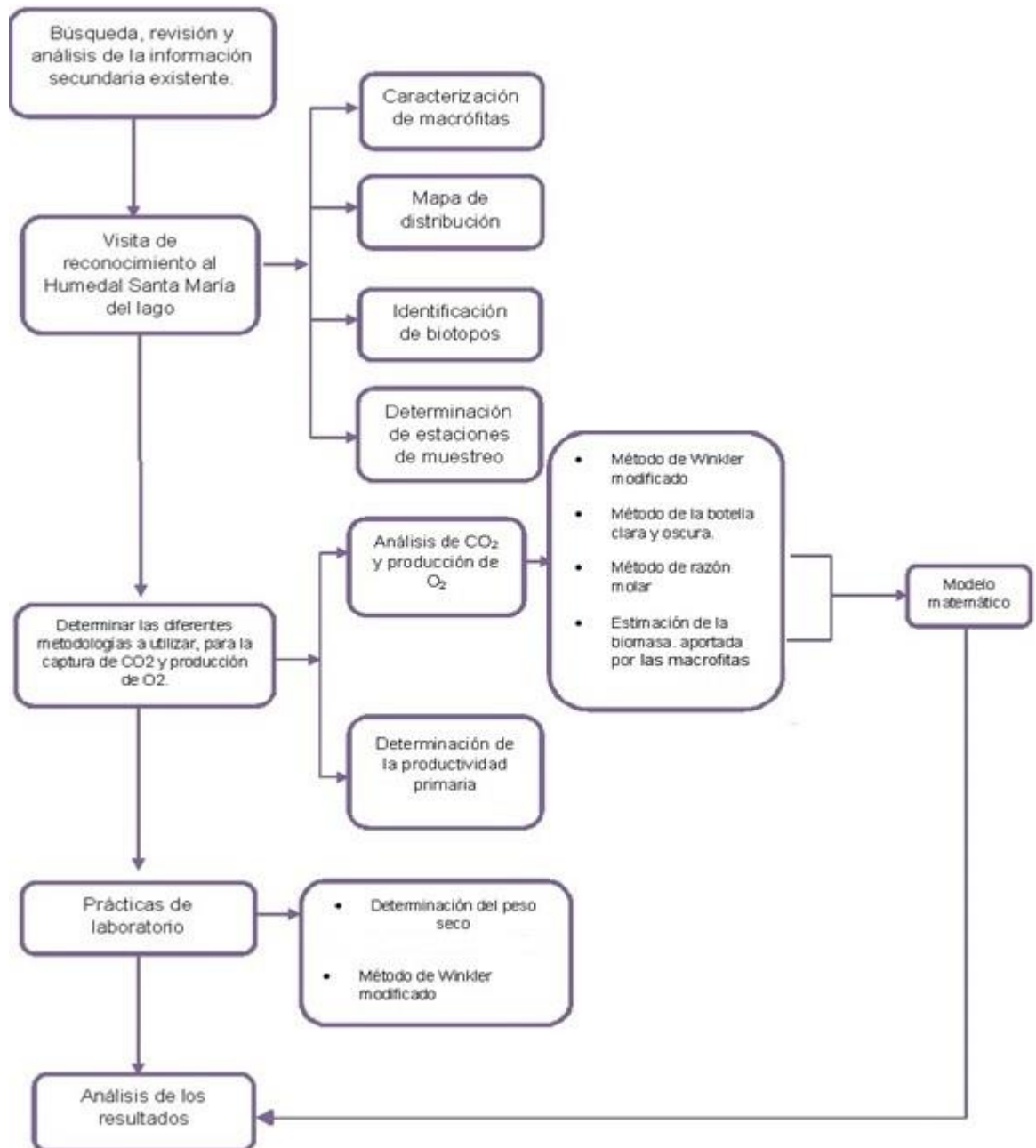
Resolución 157 de 2004	Reglamenta el uso sostenible, conservación y manejo de los humedales
Resolución 196 de 2006	Formulación de la guía técnica para planes de manejo de los humedales
Acuerdo 02 de 1993	Se declara la obligatoriedad de la conservación de lo humedales
Acuerdo 19 de 1994	Se declaran como reservas naturales los humedales que se encuentran dentro del territorio del Distrito Capital
Decreto 624 de 2007	Se establecen las políticas de los Humedales dentro del territorio del Distrito Capital
Decreto 386 de 2008	Se dictan las medidas para la recuperación de los humedales en el Distrito Capital

Fuente: Elaboración Propia

4. DESARROLLO CENTRAL

El proceso metodológico tenido en cuenta para la determinación de la cantidad de CO_2 capturado y O_2 producido por diferentes biotopos (Comunidad de macrófitas definida) en el humedal Santa María del lago, desarrolla las siguientes etapas y se sintetiza en el siguiente diagrama:

Diagrama de flujo de la metodología



4.1 Búsqueda, revisión y análisis de la Información secundaria existente

Se realizó una descripción y análisis de la información secundaria existente sobre las siguientes temáticas: Estudios sobre estructura y función de macrófitas en los humedales, especialmente en las macrófitas presentes en el humedal Santa María del Lago, estudios sobre productividad primaria, Captura de carbono y estudios realizados en el humedal de Santa María del Lago, entre otros.

4.2 Visita de reconocimiento al Humedal Santa María del Lago

Se realizó un recorrido de reconocimiento con el fin de identificar las condiciones estructurales del humedal, la identificación de las macrófitas y los biotopos que éstas conforman, para tener una visión integral de la composición y distribución de las macrófitas.

Posteriormente, con la ayuda de Google Earth y el programa gvSIG se digitalizó el croquis del humedal, subsiguientemente en diferentes salidas de campo se identificaron las macrófitas y se espacializó la composición florística de las mismas sobre ese croquis, teniendo en cuenta su distribución a lo largo y ancho del humedal; mediante un análisis espacial de esta cartografía y las diferentes visitas de campo se determinaron los biotopos (Comunidad de macrófitas definida), con el fin de seleccionar las estaciones de muestreo.

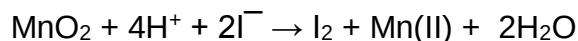
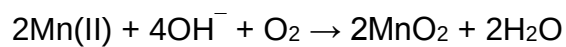
4.3 Metodologías para la captura de Dióxido de Carbono CO₂ y producción de Oxígeno O₂.

Una vez revisada y analizada la información secundaria existente sobre las metodologías propuestas por diferentes autores para calcular la captura de carbono y la producción de oxígeno, se seleccionaron las siguientes metodologías:

- Método de Winkler modificado para determinación de Oxígeno disuelto en el agua.
- Método de la botella clara y oscura para medición de productividad primaria
- Método de Razón molar que consiste en el análisis estequiométrico para determinación de moles de carbono.

4.3.1 Método de Winkler modificado

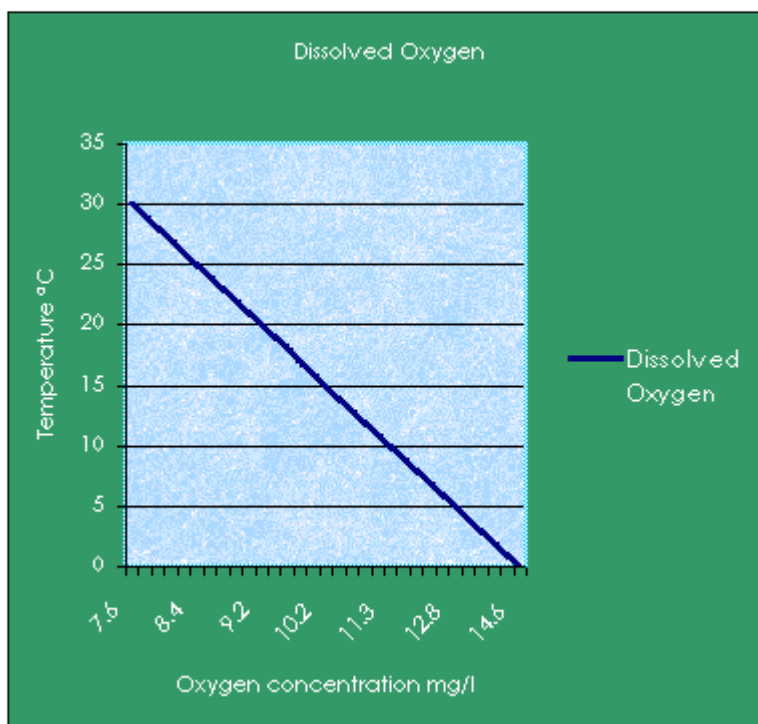
El método de Winkler es utilizado para determinar el oxígeno disuelto en una muestra de agua; se basa en la oxidación del ión yoduro, el cual se encuentra en el reactivo utilizado, por el oxígeno de la muestra de agua, junto con la valoración del yodo con el tiosulato sódico, en donde el indicador a usar será el almidón [48]. Las reacciones que se presentan en este método son:



En ésta reacción, el hidróxido de manganeso reacciona con el oxígeno en medio de una solución altamente alcalina; cuando se acidifica la solución en presencia del yoduro, el hidróxido de manganeso que fue oxidado se reduce nuevamente a Mn(II), el yodo que es liberado por este proceso representa el oxígeno que se encuentra disuelto en el agua. Suelen hacerse algunas modificaciones a este método base para eliminar interferencias por la presencia de otros iones en el agua que puedan generar algún cambio en los resultados esperados. [49].

Así, metodología de Winkler determina la concentración de Oxígeno por medio de reacciones de óxido- reducción dando valores certeros de la producción de oxígeno disuelto; existen diferentes factores que influyen en la cantidad de oxígeno disuelto como lo es la temperatura debido a que a mayor temperatura menos concentración de oxígeno disuelto [50] , como se puede apreciar en la gráfica 1:

Grafica 1: Cantidad de oxígeno disuelto en el agua teniendo en cuenta la temperatura



Fuente: [50]

Además hay otros factores que afectan el oxígeno disuelto como el contenido de sales y la presión atmosférica, pero el método de Winkler modificado permite obtener datos válidos para la realización de estudios según Standard Methods [51].

Este método permitió que se realizaran las mediciones de oxígeno disuelto en el agua para ellos se utilizó un kit de oxígeno disuelto (Imagen 11) que aplicaba dicho método, este incluye:

- Sulfato de manganeso
- Reactivo alcalino-acida
- Ácido Sulfúrico
- Indicador de almidón
- Solución de reactivo valorante (Tiosulfato de Sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$))
- 1 Jeringa calibrada
- 1 botella de vidrio
- 1 vaso calibrado de 10m

Imagen 11. Kit de oxígeno disuelto.



Fuente: Elaboración Propia

Lo primero que se realizó fue llenar la botella de vidrio con la muestra del agua del humedal, sin agitar el frasco para que el burbujeo no produzca oxigenación, posteriormente se le agregan 5 gotas de sulfato de manganeso y 5 gotas de Reactivo alcalino-acida, generando así que el floculante se comenzará a asentar, se agita la muestra, asados 2 minutos se le añadieron 10 gotas de ácido sulfúrico, generando que la muestra se torne de color amarillo y completamente limpia [52].

De esa muestra se extrajeron 10ml que se añadieron al vaso calibrado, al cual se le añadieron dos gotas de indicador de almidón, dándole un tono azul a la muestra, por último haciendo uso de la jeringa calibrada se le añadió solución de reactivo valorante (Tiosulfato de Sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)) hasta que la muestra quedara

transparente y se hizo la medición de cuanto Oxígeno disuelto había en el agua en mg/L o ppm [52].

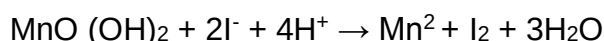
Lo anterior ocurrió debido a que Iones de manganeso (Mn^{2+}) reaccionan con oxígeno (O_2) en presencia de hidróxido (OH^-) para formar un precipitado de óxido de manganeso (MnO) como se puede observar en la siguiente ecuación química:

Ecuación 2: Formación del precipitado de óxido de Manganeso



Además el reactivo alcalino-acido se añadió con el fin de prevenir que cualquiera de los iones de nitrito interfirieran en la prueba. En cuanto a la adición de ácido, el hidróxido de óxido de manganeso ($MnO(OH)_2$) oxida el yoduro (I^-) a yodo (I_2) y está dado por la forma:

Ecuación 3: Oxidación del Yoduro a Yodo



Puesto que la cantidad de yodo generado es equivalente a la de oxígeno en la muestra, la concentración de yodo se calcula mediante una valoración de iones tiosulfato ($2S_2O_3^{2-}$) que reducen el yodo de nuevo a iones de yoduro (I^-).

Ecuación 4: Reducción del Yodo a iones de Yoduro

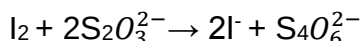


Imagen 12. Asentamiento De La Muestra De Agua	Imagen 13. La Muestra Toma Un Tono Amarillo Y Está Limpia	Imagen 14. Adición Del Indicador De Almidón	Imagen 15. Adición De Solución Tiosulfato de Sodio ($Na_2S_2O_3$) Hasta Que La Muestra Quedara Transparente
			
Fuente: Elaboración Propia			

4.3.2 Método de la botella clara y oscura.

Con el fin de determinar la productividad de Oxígeno total en el agua se realizó esta metodología, la cual consistió en tomar 2 botellas de tapa esmerilada o botellas winkler por cada biotopo (es decir 8 botellas) de las cuales solo cuatro se forraron con plástico negro. Posteriormente se procedió a ir a cada estación de muestreo donde se midió el oxígeno por el método de Winkler modificado, se tomó una de las botellas claras (botella winkler sin forrar) y se llenó de agua, en esta ocurrirá la fotosíntesis y la respiración y se repite lo mismo con la botella oscura (botella winkler forrada) y en esta sólo ocurrirá la respiración [53].

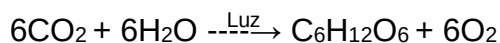
Pasadas 6 horas de incubación a 20 cm de profundidad, se efectuó la medición del oxígeno disuelto en cada botella ya que el sistema que tiene el humedal Santa María del Lago, ya que se establece que el tiempo óptimo oscila entre 5 -7 horas y no debe exceder las 24 horas, ya que los tiempos largos tienden a invalidar los valores obtenidos en cuanto a la producción de oxígeno [54]. Posteriormente se determinó la productividad neta de Oxígeno aplicando las siguientes formulas:

- Productividad Bruta: *Oxígeno de la botella clara - Oxígeno inicial*
- Respiración: *Oxígeno inicial - Oxígeno de la botella oscura*
- Productividad Neta: *Productividad Bruta - Oxígeno respirado*

4.3.3 Método de razón molar para la determinación del Dióxido de Carbono (CO₂) capturado

Con el fin de determinar la cantidad de Dióxido de Carbono CO₂ capturado se decidió usar este método el cual consiste en hacer una relación por moles o moléculas entre dos de las especies participantes en la reacción, para ello la relación estuvo basada en los coeficientes de la ecuación balanceada de la fotosíntesis [55].

Ecuación 5: Ecuación de la fotosíntesis



Con los datos obtenidos con la productividad neta de oxígeno se realizó la conversión de mg a g se procedió a realizar la relación molar la cual está dada por el siguiente esquema:

Esquema 2: Metodología de la razón molar



Fuente: [55]

4.4 Estimación de la biomasa aportada por las macrófitas

Se realizó la recolección de las cinco especies de macrófitas: las Eneas (*Typha latifolia*), Botoncillo amarillo (*Bidens laevis*), Juncos (*Juncus bogotensis*), Azolla (*Azolla filiculoides*) y Buchón (*Limnobium laevigatum*), posteriormente fueron llevadas al laboratorio donde se pesaron con el fin de obtener 10g de cada muestra para determinar el peso fresco o húmedo, como se puede observar a continuación

Imagen 16. Medición del peso en gramos de la Enea (<i>Typha latifolia</i>)	Imagen 17. Medición del peso en gramos del Buchón (<i>Limnobium laevigatum</i>)	Imagen 18. Medición del peso en gramos del Botoncillo amarillo (<i>Bidens laevis</i>)
		
Fuente: Elaboración Propia	Fuente: Elaboración Propia	Fuente: Elaboración Propia

Imagen 19. Medición del peso en gramos de la Azolla (<i>Azolla filiculoides</i>)	Imagen 20. Medición del peso en gramos del Junco (<i>Cyperus sp, juncus sp</i>)
	
Fuente: Elaboración Propia	Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente las macrófitas fueron colocadas en el horno a diferentes temperaturas desde 20°C hasta 87 °C durante tiempos que oscilaron entre 12, 18, 24 , 36 y 48 horas, con el fin de determinar el tiempo y la temperatura exacta requerida para eliminar el peso del agua y establecer la biomasa total o peso seco; estos parámetros se pudieron establecer, debido a que previamente se realizaron en 10 pruebas de ensayo y error para obtener la temperatura y tiempo óptimo de secado de las plantas, dando un resultado de a 60°C durante 24h con el objetivo de que las muestras no se carbonizaran y que eliminaran toda el agua presente en estas.

Imagen 21. Medición del peso seco de la Enea (<i>Typha latifolia</i>)	Imagen 22. Medición del peso seco de la Azolla (<i>Azolla filiculoides</i>)	Imagen 23. Medición del peso seco del Botoncillo amarillo (<i>Bidens laevis</i>)
		
Fuente: Elaboración Propia	Fuente: Elaboración Propia	Fuente: Elaboración Propia

Imagen 24. Medición del peso seco del Buchón (<i>Limnobiium laevigatum</i>)	Imagen 25. Medición del peso seco del Junco (<i>Cyperus sp, juncus sp</i>)
	
Fuente: Elaboración Propia	Fuente: Elaboración Propia

Y con los datos obtenidos se procedió a aplicar las siguientes ecuaciones:

Ecuación 6: Ecuaciones para la estimación de biomasa

CH% Contenido de humedad

$$CH\% = ((Ph - Ps) / Ps) * 100$$

Ps = Peso Seco

Ph = Peso Húmedo

$$Biomasa (g) = Pt / (1 + (CH\% / 100))$$

Ps = Peso Total (Pt)

Fuente: [56]

4.3.5 Diseño del modelo matemático en MatLab para la estimación del Oxígeno (O₂) producido por las macrófitas a partir de la biomasa

Con base en los datos obtenidos en la estimación de la biomasa y aplicando el método de razón molar con la ecuación 5 de la fotosíntesis, se procedió a calcular el CO₂ capturado, el oxígeno producido y el contenido de carbono en la biomasa de las macrófitas en el proceso de fotosíntesis, para ello se utilizó el programa de MatLab, el cual permitió realizar estos cálculos de manera más eficiente.

4.3.5.1 Estimación del Dióxido de Carbono CO₂ y del Oxígeno O₂ producido por las macrófitas por medio de la razón molar

Teniendo en cuenta el método de razón molar, se procedió a plantear una ecuación con el fin de relacionar la glucosa con el dióxido de carbono, con el fin de hallar el valor de este último, posteriormente se simplificó dicha ecuación para luego ser introducida en el código de Matlab, de igual manera se repitió este procedimiento para la determinación del oxígeno producido en donde se relacionó el dióxido de carbono con el oxígeno. Esto con el fin de estimar el Dióxido de Carbono CO₂ y del Oxígeno O₂ producido por las macrófitas del humedal.

Ecuación 7: Relación entre la glucosa y dióxido de carbono para la estimación de este último, siendo x la biomasa en gramos.

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

Ecuación 8: Ecuación simplificada ingresada en Matlab para la determinación del dióxido de carbono, siendo X la biomasa en gramos.

$$X * \left(\frac{1}{180} \right) * \left(\frac{6}{1} \right) * \left(\frac{44}{1} \right)$$

Posteriormente se planteó la ecuación para estimar el O₂ producido quedando de la forma:

Ecuación 9: Ecuación de la relación entre dióxido de carbono y el oxígeno para la estimación de este último, siendo Y el dióxido de carbono en gramos.

$$Y \text{ g CO}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol CO}_2}{44 \text{ g CO}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol O}_2}{6 \text{ mol CO}_2} \right) * \left(\frac{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2}{1 \text{ mol O}_2} \right)$$

Ecuación 10: Ecuación simplificada ingresada en Matlab para la determinación del oxígeno, siendo Y el dióxido de carbono en gramos.

$$Y * \left(\frac{1}{44} \right) * \left(\frac{6}{6} \right) * \left(\frac{32}{1} \right)$$

4.3.5.2 Determinación del contenido de carbono en la biomasa

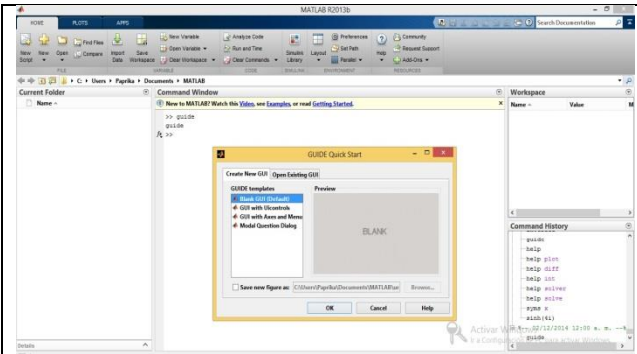
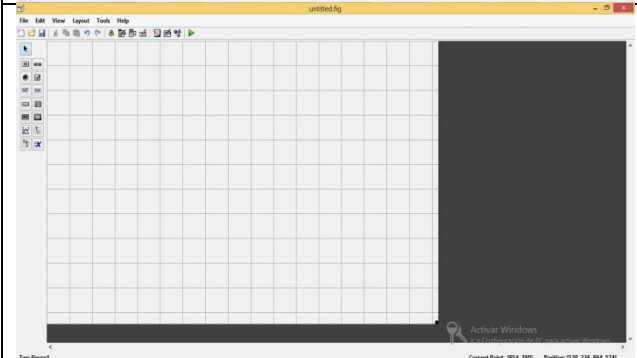
La biomasa es el peso de la materia viva, que no ha sufrido cambios considerables. Esta acumula la energía del sol, la cual es absorbida por los seres autótrofos. Además, debido al ciclo del carbono, la biomasa también contiene parte de carbono en ésta. Debido a lo anterior existe una relación en la que se asume que aproximadamente hay contenido un 50% de carbono en la biomasa en forma de carbono orgánico ($C_6H_{12}O_6$) [57].

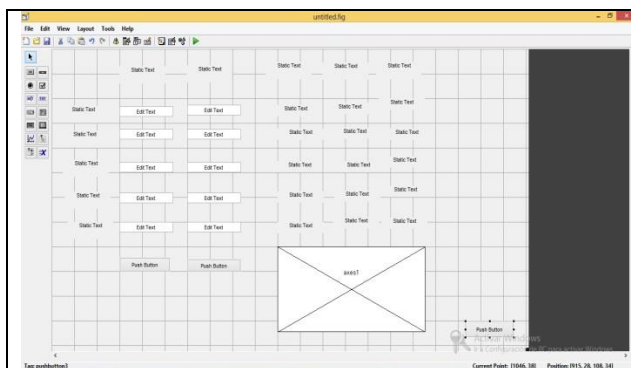
Es decir que para la estimación de este contenido se le saco el 50% al valor de la biomasa.

4.3.5.3 Generación del código del modelo matemático en Matlab

Con las ecuaciones obtenidas anteriormente se procedió a diseñar como sería el interfaz del modelo matemático y una vez planteado esto se procedió a diseñar el código del modelo siguiendo los siguientes pasos:

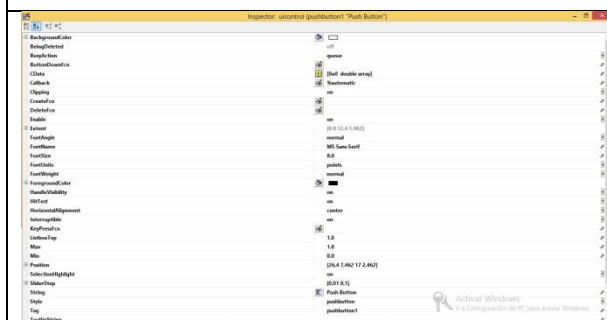
Tabla 3. Metodología para generar un código con interfaz en Matlab

	En el programa de Matlab, lo primero que se hizo fue ingresar la función <i>guide</i> en el workspace (la cual permitió abrir la ventana GUIDE Quick Start y posteriormente, se escogió la pestaña create new GUIDE y se seleccionó la opción Blank GUI (default), la cual abrió una ventana de trabajo.
	En esta ventana (.fig) con ayuda de los botones que se encuentran a la izquierda los cuales son funciones internas de GUIDE se diseño el interfaz.

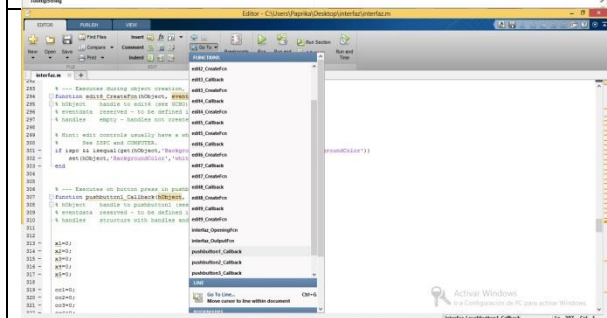


Para la creación de este se utilizaron las siguientes funciones:

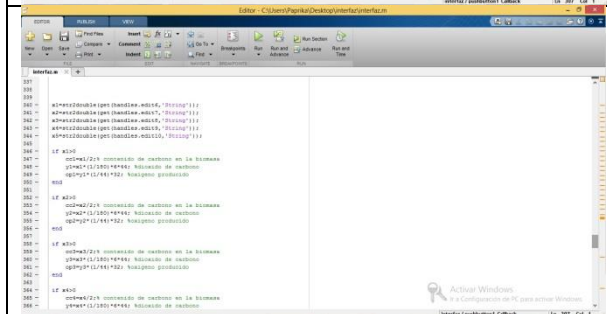
- Static text: Este es un comando el cual muestra información que el usuario no puede modificar.
- Edit text: Es un comando el cual puede ser modificado por el usuario.
- Push button: Es un botón el cual al ser oprimido realizara una serie de operaciones y/o funciones las cuales están programadas en este.
- Axes: Este permite graficar diferentes datos en este caso el oxígeno producido.



Para cambiar las propiedades de cada función se le dio doble click, aquí se modificaron cosas como el nombre, tamaño de la letra, color de fondo, color de la letra etc.



Para generar parte del código se guardó el proyecto generando un *script* (.m), desde allí se hizo click en la opción Go To de Matlab y se seleccionaron los botones (push button).

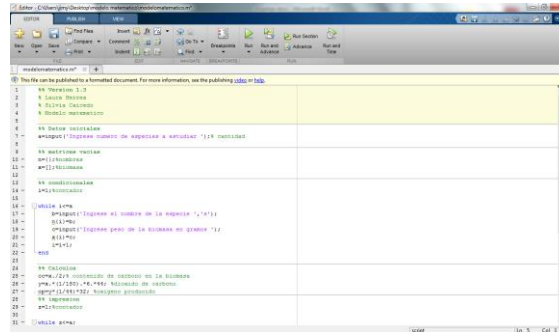


Esto se realizó con el fin de insertar los códigos y ecuaciones correspondientes para cada botón, entre estas funciones están: la determinación de contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono producido y el oxígeno producido (botón calcular). Además se cuenta con el botón de limpiar y salir.

Fuente: Elaboración Propia

Aparte se creó otro código el cual permitió hacer los cálculos deseados pero para un número n de especies. Este código es un *script* (.m) el cual trae adentro una serie de condicionales de tal manera que los datos ingresados quedan organizados en una matriz.

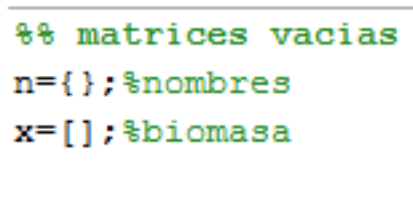
Imagen 26. Código (.m) creado en Matlab



Fuente: Elaboración Propia

Dado que se necesita un tamaño de matriz indeterminado (ya que este sería $1 \times n$) se crean matrices vacías.

Imagen 27. Comandos para la creación de matrices vacías



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar n es diferente de x , puesto que n tiene llaves y x corchetes, esto se debe a que se dijo que x sería la biomasa (se ingresan números que corresponden a los datos obtenidos de biomasa) mientras que n albergaría valores tipo char (nombre de las especies, es decir letras) las cuales se guardan en su sistema matricial.

Después de haber generado las matrices vacías se procede a ejecutar los cálculos.

Imagen 28. Comandos necesarios para generar el contador y para el ingreso de datos

```

%% condicionales
i=1;%contador

while i<=a
    b=input('Ingrese el nombre de la especie ','s');
    n{i}=b;
    c=input('Ingrese peso de la biomasa en gramos ');
    x{i}=c;
    i=i+1;
end

```

Fuente: Elaboración Propia

Se empieza definiendo un valor para $i=1$ de tal manera que el contador empiece con 1, luego de esto se le agrego el condicional *while* que se podría analizar como un mientras se cumpla la condición ejecute el código. Para este caso sería mientras i menor o igual a (a) ejecute el código.

Luego se pidió el ingreso del nombre, el cual se guardó en la variable b , y este a su vez se guardó en la posición i de la matriz n . Mediante este código lo que se hace es guardar los diferentes nombres en la posición i de la matriz n .

De la misma forma se aplica el código para el ingreso de x (la biomasa). Por último se agregó $i+1$. De tal manera que cuando vuelva a empezar el ciclo empiece con $i=2$ y así sucesivamente. Donde lo que se hará es reescribir la variable b y c y ubicar estos nuevos valores en la posición i

Luego se terminó el código *while* con la palabra *end*.

Después de esto se empezó el procedimiento de los cálculos de lo que se desea hallar. Como ya se tenía la biomasa y los nombres de las especies lo que se hizo fue definir las ecuaciones.

Posteriormente, se definió como se va a imprimir las respuestas en pantalla empezando con un contador $z=1$

Imagen 29. Comando para imprimir las respuestas

```

%% impresion
z=1;%contador

while z<=a;
    if z==1;
        fprintf('\n  Biomasa  Contenidocarbono Dioxidocarbono  Oxigeno\n');
        fprintf('Especie '),fprintf('%13.3i ',z),disp(n{z});
        fprintf('%13.3f %13.3f %13.3f %13.3f\n',x(z),cc(z),y(z),op(z));

    else z>1;
        fprintf('Especie '),fprintf('%13.3i ',z),disp(n{z});
        fprintf('%13.3f %13.3f %13.3f %13.3f\n',x(z),cc(z),y(z),op(z));
    end
    z=z+1;
end

```

Fuente: Elaboración Propia

Para esto también se usó un condicional *while* para de esta manera llamar la posición de cada una de las matrices. Aparte de eso se agregó un condicional *if* que se podría analizar como si se cumple la condición ejecute este *else* si se cumple esta haga esto. Para este caso se diría si $z=1$ ejecute este código, si $z>1$ ejecute este, como se sabe que no hay más opciones se termina el programa ahí con *end*. Se usa este condicional ya que se quiere que imprima solo una vez lo siguiente.

Imagen 30. Impresión de los datos organizados

Biomasa Contenidocarbono Dioxidocarbono Oxigeno

Fuente: Elaboración Propia

Con el código *fprint* lo que se hizo fue darle una forma de impresión organizada a los resultados.

Luego se agregó $z=z+1$ para que de esta manera vuelva a iniciar el ciclo.

Por último, se utilizó el comando *bar* para generar una gráfica de barras y además de esto se definió el título de esta y los nombres en los eje x e y.

5. RESULTADOS

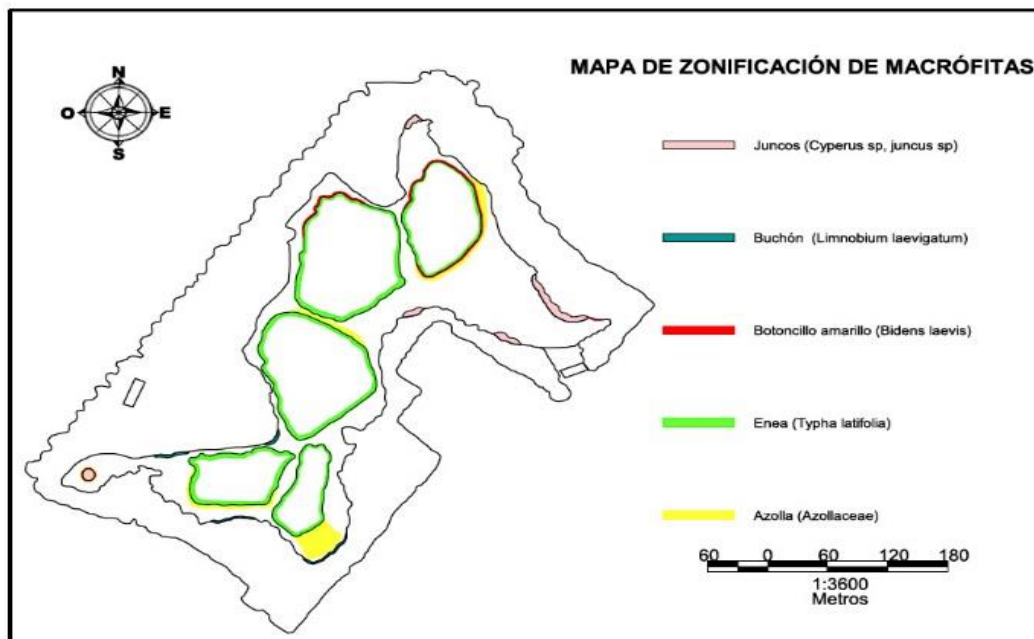
5.1 Resultados de la identificación de los principales biotopos potenciales para captura de CO₂ y producción de O₂ del humedal.

Para la identificación de cada biotopo (Comunidad de macrófitas definida) se realizaron actividades como la determinación de la composición florística de las especies de macrófitas, es decir identificar cuáles especies se encuentran presentes en el humedal, identificando un total de 5 especies las cuales fueron: Enea (*Typha latifolia*), Botoncillo amarillo (*Bidens laevis*), Juncos (*Cyperus sp*, *juncus sp*), Azolla (*Azolla filiculoides*) y Buchón (*Limnobiium laevigatum*); igualmente de realizó un mapa con el fin determinar su distribución espacial que corresponde a la zonificación de las macrófitas y cómo estas se combinan unas con otras.

Con el fin de identificar la distribución de las diferentes macrófitas del humedal Santa María del Lago y la captura de Dióxido de Carbono (CO₂) y producción de Oxígeno (O₂) se realizaron un total de 14 visitas, de las cuales 3 de éstas se hicieron con el fin de identificar la distribución de macrófitas y de los biotopos, éstas durante el mes de septiembre, en 6 visitas posteriores, se realizaron diferentes muestreos ensayo y error los cuales se realizaron en septiembre y principios de octubre (se seleccionaron 4 puntos de muestreo cada uno con 6 réplicas) estas se ejecutaron con el fin de que se tuviera la certeza de que los datos obtenidos fueran los correctos y por último se hicieron las últimas 5 visitas en donde se realizaron los muestreos definitivos (se seleccionaron 4 puntos de muestreo cada uno con 5 réplicas) estas se efectuaron en octubre y noviembre.

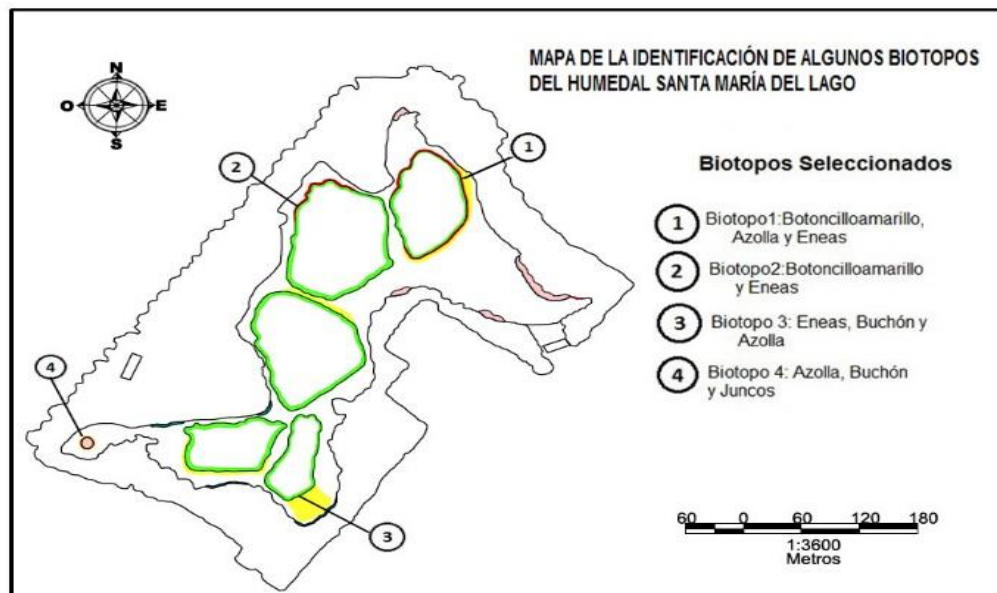
De la información obtenida en las tres primeras visitas se pudo realizar el Mapa 1 (zonificación de macrófitas), además también se seleccionaron los diferentes biotopos a estudiar permitiendo la realización del mapa 2, Anexos C y D:

Mapa 1. Mapa de zonificación de macrófitas



Fuente: Elaboración Propia

Mapa 2. Mapa de la identificación de algunos biotopos del humedal Santa María del Lago



Fuente: Elaboración Propia

Con el fin de determinar cuál tipo de macrófita esta mayormente distribuida en el humedal (cuerpo de agua), se procedió a calcular un estimado de las áreas con ayuda del programa gvSIG. En este se obtuvo que el cuerpo hídrico ocupa aproximadamente 7,75 hectáreas, de esa área total las macrófitas solo ocupan 1,07 hectáreas es decir el 13,88% del total del cuerpo de agua, esto se puede apreciar en el siguiente esquema:

Grafica 2. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS MACRÓFITAS EN EL HUMEDAL SANTA MARÍA DEL LAGO EN EL CUERPO DE AGUA



Fuente: Elaboración Propia

La macrófita con mayor porcentaje de ocurrencia en el humedal es la Enea (*Typha latifolia*) ocupando el 7,89% es decir un área de 0,61 Ha aproximadamente, seguida por la Azolla (*Azolla filiculoides*) la cual tiene un porcentaje de 3,44% y un área aproximada de 0,26 hectáreas, esta se encontró mayormente agrupada en la zona sur del humedal. De la zonificación realizada se pudo apreciar que la Enea (*Typha latifolia*) se encuentra ubicada bordeando los islotes más grandes del humedal. La Macrófita que posee la menor distribución el Buchón de agua (*Limnobium laevigatum*) con un porcentaje de 0,47% con un área estimada de 0,036 Ha, esta especie se pudo encontrar principalmente en las orillas del humedal.

En el caso del Botoncillo amarillo (*Bidens laevis*) se pudo observar que este por lo general se encuentra alrededor de la Enea (*Typha latifolia*), además este no estuvo presente en todos los islotes, también cabe resaltar que este ocupó un 0,86% del área total por lo tanto posee un área cercana a las 0,066 Ha.

5.2 Resultados de la determinación de la concentración de Dióxido de Carbono (CO₂) y producción de Oxígeno (O₂) en cada biotopo (Comunidad de macrófitas definida) seleccionado por medio del método de la botella clara y la botella oscura.

A partir de las diferentes metodologías desarrolladas durante esta investigación (Método de Winkler, Botella Clara y Botella Oscura, Razón Molar y Determinación de Biomasa) se pudo calcular la cantidad de oxígeno que es capaz de producir cada biotopo y la cantidad de dióxido de carbono que es capturado igualmente. Los datos obtenidos se basan en el proceso de la fotosíntesis realizada por cada macrófita en el humedal.

Estos resultados tienen como fin determinar el servicio ambiental que ofrece el humedal Santa María del Lago como respuesta para el cambio climático. Los resultados fueron analizados por medio de la estadística descriptiva mediante el uso de tablas y gráficas que muestran el comportamiento de los datos obtenidos durante cada uno de los muestreos, además se calculó la varianza y la desviación estándar entre otros.

En el caso de la varianza esta se define como una medida para determinar la dispersión entre los datos de una muestra [58]. En este trabajo se alcanzaron resultados de varianza que se consideran bajos de acuerdo a que los datos de cada muestreo los cuales tampoco son tan altos, de forma que se concluye que los datos obtenidos no se encuentran tan dispersos los unos de los otros. Esto se argumenta con la observación de las tablas de datos donde están consignados los resultados y se ve que los datos no son tan diferentes entre ellos. Además, se tiene que al no haberse hallado datos atípicos dentro de los muestreos soporta aún más el hecho de que la varianza sea considerada baja.

Con respecto a la significancia que tienen estos resultados de varianza de acuerdo a los datos obtenidos se puede considerar que, al trabajar en medidas de mg/L los datos son similares y no se observan unas diferencias muy significativas entre los datos obtenidos.

5.2.1 Método de Winkler modificado

De lo planteado en el desarrollo central sobre el método de Winkler modificado se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4. Resultados de la medición del Oxígeno inicial en los 5 muestreos de los diferentes biotopos

Biotopo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
	21/10/2014	28/10/2014	04/11/2014	11/11/2014	18/11/2014
	Oxígeno Inicial (mg/L)	Oxígeno Inicial (mg/L)	Oxígeno Inicial (mg/L)	Oxígeno Inicial (mg/L)	Oxígeno Inicial (mg/L)
1: Botoncillo Amarillo, Azolla y Enea	6,6	6,8	6,4	6,8	6,7
2: Botoncillo Amarillo y Enea	9,2	9,2	8,8	8,9	9,1
3: Enea, Buchón y Azolla	9,3	9,5	9	9,1	9,3
4: Azolla, Buchón y Junco	7,5	7,7	7,8	7,6	7,4

Fuente: Elaboración Propia

De estos datos se puede observar que el biotopo que presenta mayor cantidad de Oxígeno inicial es el biotopo 3 compuesto por las siguientes macrófitas: Enea (*Typha latifolia*), Azolla (*Azolla filiculoides*) y Buchón (*Limnobiium laevigatum*), puesto que se registró que el oxígeno inicial está comprendido entre 9 mg/L y 9,5 mg/L, siendo este último el mayor valor registrado, de los 20 valores obtenidos en los diferentes muestreos realizados. El menor valor registrado fue de 6,4 mg/L el cual se obtuvo del biotopo (Comunidad de macrófitas definida) 1 el cual está compuesto por: Botoncillo Amarillo (*Bidens laevis*), Azolla (*Azolla filiculoides*) y Eneas (*Typha latifolia*).

Asimismo, se calculó la varianza de estos datos donde se obtuvo 1,21 mg/L es decir que los datos tienden a tener un comportamiento no tan disperso (las variaciones entre estos son bajas), en el caso de la desviación estándar se obtuvo que fue de 1,10 mg/L, es decir que este valor está por encima o por debajo del promedio de los datos. El promedio de Oxígeno inicial registrado por los 4 biotopos fue de 8,13 mg/L. En el caso del biotopo 4 compuesto por Azolla (*Azolla filiculoides*), Buchón (*Limnobiium laevigatum*) y Juncos (*Cyperus sp*, *juncus sp*) este tiene valores que van desde 7,4 mg/L hasta los 7,8 mg/L.

Tabla 5. Resultados de la medición del Oxígeno en Botella clara en los 5 muestreos de los diferentes biotopos

Biotopo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
	21/10/2014	28/10/2014	04/11/2014	11/11/2014	18/11/2014
	Oxígeno en Botella Clara (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Clara (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Clara (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Clara (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Clara (mg/L/6h)
1: Botoncillo Amarillo, Azolla y Enea	7,7	7,7	7,5	7,9	7,8
2: Botoncillo Amarillo y Enea	10,9	10,5	10,4	10,5	10,9
3: Enea, Buchón y Azolla	11,4	11,5	11,1	11,3	11,5
4: Azolla, Buchón y Junco	8,8	9,2	9,1	8,9	8,2

Fuente: Elaboración Propia

En esta tabla se puede observar que el oxígeno de la botella clara (es decir el oxígeno que se obtiene de la fotosíntesis) que registró el valor más alto fue de 11,5 mg/L el cual fue producido por el biotopo 3 compuesto por las siguientes macrófitas: Enea (*Typha latifolia*), Azolla (*Azolla filiculoides*) y Buchón (*Limnobium laevigatum*), nuevamente el biotopo que registro el menor valor de Oxígeno fue el biotopo 1 el cual está compuesto por: Botoncillo Amarillo (*Bidens laevis*), Azolla (*Azolla filiculoides*) y Eneas (*Typha latifolia*) siendo de 7,5 mg/L.

También se calculó la varianza de estos datos donde se obtuvo 2,23 mg/L por lo que comparado con el oxígeno inicial la varianza es mayor por 1,02 mg/L, aun así la cifra es baja por lo que se comportan homogéneamente (las variaciones entre estos son bajas), en el caso de la desviación estándar se obtuvo que fue de 1,49 mg/L por que los datos tienen a desviarse por encima o por debajo de este valor. El promedio del oxígeno en la botella clara fue de 9,64 mg/L que comparado con el promedio del oxígeno inicial, hubo un incremento de 1,51 mg/L pasadas 6h.

Tabla 6. Resultados de la medición del Oxígeno oscura en los 5 muestreos de los diferentes biotopos

Biotopo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
	21/10/2014	28/10/2014	04/11/2014	11/11/2014	18/11/2014
	Oxígeno en Botella Oscura (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Oscura (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Oscura (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Oscura (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Oscura (mg/L/6h)
1: Botoncillo Amarillo, Azolla y Enea	6,5	6,7	6,2	6,7	6,6
2: Botoncillo Amarillo y Enea	8,7	9,1	8,4	8,5	8,6
3: Enea, Buchon y Azolla	8,8	9,2	8,7	8,5	8,9
4: Azolla, Buchon y Junco	7,4	7,3	7,5	7,4	7,8

Fuente: Elaboración Propia

En esta tabla se puede observar que el oxígeno de la botella oscura (es decir el oxígeno que se consume en la respiración) que registró el valor más alto fue de 9,2 mg/L el cual fue producido por el biotopo 3 compuesto por las siguientes macrófitas: Enea (*Typha latifolia*), Azolla (*Azolla filiculoides*) y Buchón (*Limnobiium laevigatum*), nuevamente el biotopo que registro el menor valor de Oxígeno fue el biotopo 1 el cual está compuesto por: Botoncillo Amarillo (*Bidens laevis*), Azolla (*Azolla filiculoides*) y Eneas (*Typha latifolia*) siendo de 6,2 mg/L, así mismo este uno de los valores que más se repite.

También se calculó la varianza de estos datos donde se obtuvo 0,95 mg/L por lo que comparado con el oxígeno inicial la varianza es menor por 0,25 mg/L, siendo de esta manera una cifra baja por lo que se comportan homogéneamente (las variaciones entre estos son bajas), en el caso de la desviación estándar calculada fue de 0,97 mg/L, lo que indica que los datos presentan una tendencia a estar por encima o por debajo de este valor. El promedio del oxígeno en la botella oscura fue de 7,87 mg/L que comparado con el promedio del oxígeno inicial, hubo una disminución de 0,25 mg/L pasadas 6h.

5.2.2 Análisis de resultados del método de la botella clara y oscura

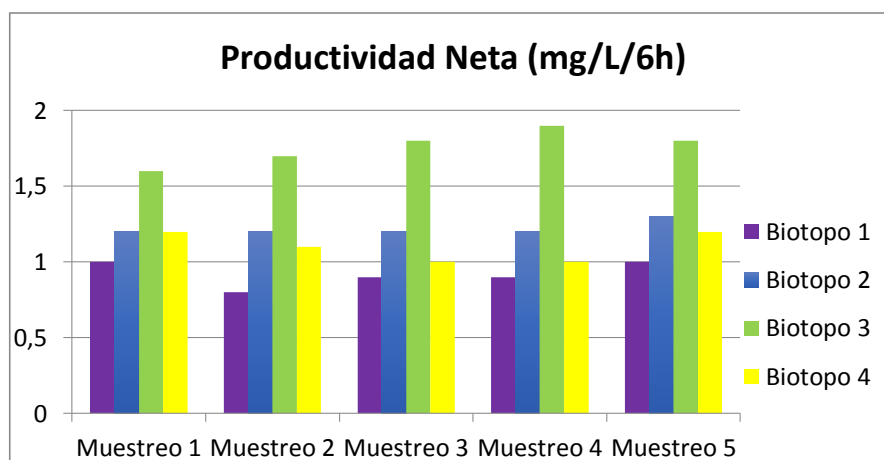
En las siguiente tabla y gráfica se pueden observar los datos obtenidos tras realizar los cálculos para la determinación de la productividad neta de oxígeno en los 4 diferentes biotopos (en el Anexo F se puede apreciar con mayor detalle todos los datos obtenidos antes de obtener la productividad neta).

Tabla 7. Tabla de la productividad Neta de oxígeno en (mg/L/6h) en los diferentes biotopos

Productividad Neta (mg/L/6h)					
Biotopo	Muestreo 1 21/10/2014	Muestreo 2 28/10/2014	Muestreo 3 04/11/2014	Muestreo 4 11/11/2014	Muestreo 5 18/11/2014
1: Botoncillo Amarillo, Azolla y Enea	1	0,8	0,9	0,9	1
2: Botoncillo Amarillo y Enea	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3
3: Enea, Buchón y Azolla	1,6	1,7	1,8	1,9	1,8
4: Azolla, Buchón y Junco	1,2	1,1	1	1	1,2

Fuente: Elaboración Propia

Grafica 3. Productividad Neta de Oxígeno en (mg/L/6h)



Fuente: Elaboración Propia

De lo anterior, se pudo determinar que el biotopo que presenta una mayor productividad es el número 3 el cual está conformado por las macrófitas Enea (*Typha latifolia*), Azolla (*Azolla filiculoides*) y Buchón (*Limnobium laevigatum*) donde se obtuvo como resultado 1,9 mg/L, lo cual se puede apreciar de mejor manera en la gráfica 2, el rango de producción neta está comprendido entre 0,8 mg/L y 1,9 mg/L en un lapso de 6h. Seguido de este está el biotopo número dos el cual está conformado por Botoncillo amarillo (*Bidens laevis*) y Eneas (*Typha latifolia*) donde su rango de producción está comprendido entre 1,2 mg/L y 1,3 mg/L. El Biotopo que presento la menor producción de Oxígeno fue el biotopo número 1, compuesto por Botoncillo Amarillo (*Bidens laevis*), Azolla (*Azolla filiculoides*) y Eneas (*Typha latifolia*) reportando una producción neta mínima de 0,8 mg/L, también es importante resaltar que este biotopo tiene un comportamiento similar al biotopo 4 compuesto por Azolla (*Azolla filiculoides*), Buchón (*Limnobium laevigatum*) y Junco (*Cyperus sp, juncus sp*).

En el cálculo de la varianza de los 20 datos se obtuvo 0,11 mg/L por lo que las variaciones entre estos datos son bajas, en el caso de la desviación estándar calculada fue de 0,33 mg/L, es decir que este valor está por encima o por debajo del promedio de los datos. Y el promedio de producción neta fue de 1,25 mg/L.

5.2.3 Análisis de resultados del método de razón molar para la determinación del Dióxido de Carbono CO₂ capturado

Teniendo en cuenta la ecuación 5 de la fotosíntesis en donde el Dióxido de Carbono (CO₂) hace referencia al dióxido de carbono capturado y con los datos del oxígeno producido, por medio del método de razón molar se procedió a realizar la determinación del Dióxido de Carbono (CO₂) capturado por los diferentes biotopo (Revisar Anexo E, donde se puede apreciar con más detalle las ecuaciones con las que se pudo calcular el Dióxido de Carbono (CO₂)), dando como resultado los siguientes datos:

Tabla 8. Datos obtenidos del Oxígeno producido y el dióxido de Carbono capturado

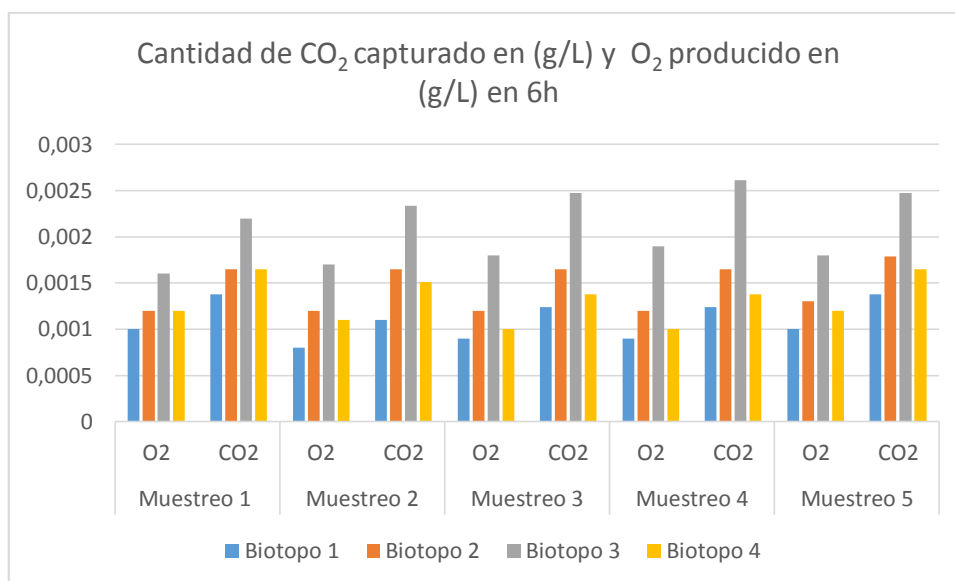
Productividad Neta (mg/L/6h)										
Biotopo	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3		Muestreo 4		Muestreo 5	
	O ₂ (g/L)	CO ₂ (g/L)	O ₂ (g/L)	CO ₂ (g/L)	O ₂ (g/L)	CO ₂ (g/L)	O ₂ (g/L)	CO ₂ (g/L)	O ₂ (g/L)	CO ₂ (g/L)
1: Botoncillo Amarillo, Azolla y Enea	0,001	0,0013	0,0008	0,0011	0,0009	0,0012375	0,0009	0,0012375	0,001	0,001375
2: Botoncillo Amarillo y Enea	0,0012	0,0016	0,0012	0,00165	0,0012	0,00165	0,0012	0,00165	0,0013	0,0017875
3: Enea, Buchón y Azolla	0,0016	0,0022	0,0017	0,0023375	0,0018	0,002475	0,0019	0,0026125	0,0018	0,002475
4: Azolla, Buchón y Junco	0,0012	0,00165	0,0011	0,0015125	0,001	0,001375	0,001	0,001375	0,0012	0,00165

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el biotopo que captura más Dióxido de Carbono (CO₂) es el biotopo número 3 el cual está compuesto de las siguientes macrófitas: Enea (*Typha latifolia*), Azolla (*Azolla filiculoides*) y Buchón (*Limnobiium laevigatum*). Este captura entre 0,0022 g/L y 0,0026 g/L de Dióxido de Carbono (CO₂) en un lapso de 6h, siendo este último el mayor dato registrado. El menor dato registrado de captura de CO₂ fue 0,00123 g/L del biotopo 1 el cual está compuesto por Botoncillo Amarillo (*Bidens laevis*), Azolla (*Azolla filiculoides*) y Eneas (*Typha latifolia*).

No obstante, también se determinó la varianza de todos los datos obtenidos en la captura de Dióxido de Carbono (CO₂), dando como resultado 0,000000207 (g/L)² y dado que esta cifra es muy pequeña se puede concluir que hay poca variación entre los datos. En el caso de la desviación estándar se obtuvo que era de 0,00045 (g/L), es decir que este valor está por encima o por debajo del promedio de los datos. Además se pudo observar que el valor que tiende a repetirse más fue el de 0,00165 g/L, estando presente en los biotopo 2 y 4. Conjuntamente se calculó el promedio del Dióxido de Carbono (CO₂) capturado por los 4 biotopo siendo de 0,001718 g/L.

Grafica 4. Cantidad de Dióxido de Carbono (CO₂) capturado en (mg/L) y Oxígeno O₂ producido en (mg/L) en 6h



Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el biotopo 3 es el que tiene mayor producción de O₂ y captura más CO₂, el cual está compuesto por Enea (*Typha latifolia*), Azolla (*Azolla filiculoides*) y Buchón (*Limnobium laevigatum*).

5.3 Resultados obtenidos del diseño del modelo matemático que permita comparar la eficiencia en la captura de Dióxido de Carbono (CO₂) y producción de Oxígeno (O₂) entre diferentes tipos de vegetación acuática, del humedal Santa María del Lago

Primero se estimó la biomasa aportada por las diferentes macrófitas, ya que este dato era importante para determinar el contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono y el oxígeno producido.

Posteriormente, para la elaboración del modelo matemático se realizaron dos códigos, el primero de ellos generó un interfaz en el cual se calculó la determinación de contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono producido y el oxígeno producido en para 5 especies de macrófitas del humedal, el segundo código permite determinar lo mismo la diferencia es que este no genera un interfaz pero puede realizar los cálculos para n número de especies.

5.3.1 Análisis de la estimación de la biomasa seca aportada por las macrófitas

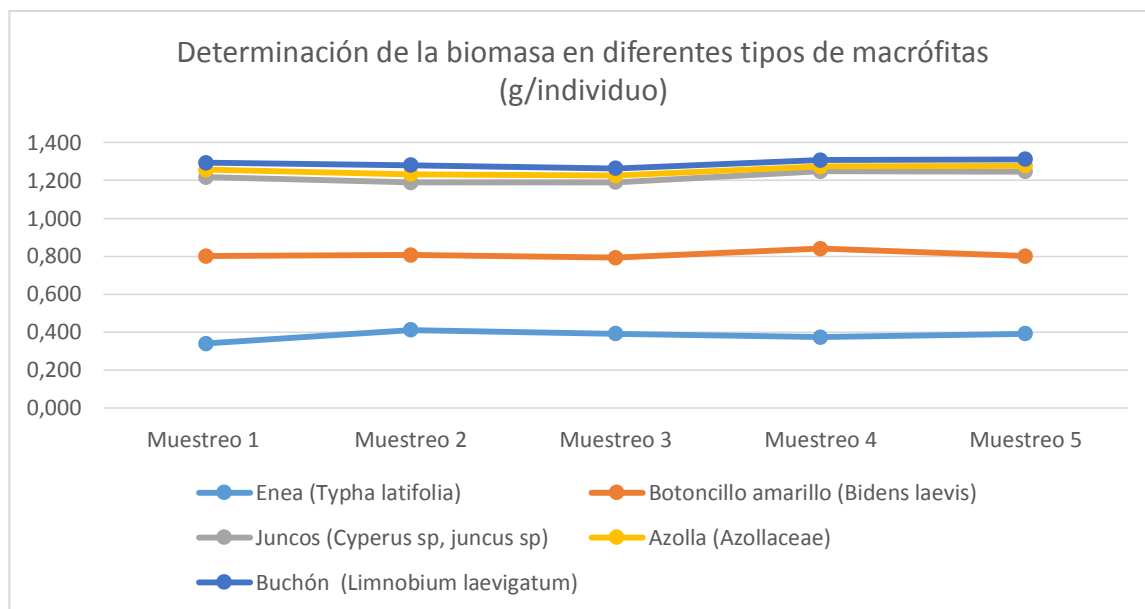
Con los datos obtenidos en la estimación de la biomasa y remplazando dichos valores en la ecuación 6 se pudieron obtener los siguientes resultados (en el Anexo F se puede apreciar con más detalle los diferentes resultados obtenidos antes de obtener el valor de la biomasa):

Tabla 9. Determinación de la biomasa seca en diferentes tipos de macrófitas (g/individuo)

Especie	Muestreo 1 Biomasa (g/individuo) 21/10/14	Muestreo 2 Biomasa (g/individuo) 28/10/14	Muestreo 3 Biomasa (g/individuo) 04/11/14	Muestreo 4 Biomasa (g/individuo) 11/11/14	Muestreo 5 Biomasa (g/individuo) 18/11/14
Enea (<i>Typha latifolia</i>)	0,341	0,412	0,392	0,374	0,392
Botoncillo amarillo (<i>Bidens laevis</i>)	0,461	0,394	0,402	0,467	0,409
Juncos (<i>Cyperus sp, juncus sp</i>)	0,416	0,383	0,397	0,407	0,446
Azolla (<i>Azolla filiculoides</i>)	0,039	0,043	0,036	0,026	0,030
Buchón (<i>Limnobium laevigatum</i>)	0,036	0,049	0,037	0,034	0,034

Fuente: Elaboración Propia

Grafica 5. Determinación de la biomasa seca en diferentes tipos de macrófitas (g/individuo)



Fuente: Elaboración Propia

De los datos obtenidos en la estimación de la biomasa se pudo observar que la especie que posee menor biomasa con respecto a las demás es la Azolla (*Azolla filiculoides*) siendo de 0,026 g; la especie que posee mayor biomasa es el Botoncillo amarillo (*Bidens laevis*) siendo de 0,47g. En la gráfica 4 se puede observar que la Azolla (*Azolla filiculoides*) y el Buchón (*Limnobiium laevigatum*) poseen una biomasa similar que está dentro de un rango que va desde 0,026 g hasta los 0,049g, esto se debe a que las macrófitas poseen una morfología y tamaño diferente.

En la estimación de la varianza de todos los datos obtenidos de la biomasa de las especies dio como resultado 0,034 g y dado que esta cifra es muy pequeña se puede concluir que hay poca variación entre los datos. En el caso de la desviación estándar se obtuvo que era de 0,186 g, es decir que este valor está por encima o por debajo del promedio de los datos. Además se pudo observar que hay algún valor que tienda a repetirse, el promedio de biomasa de las 5 especies fue de 0,258g.

5.3.2 Resultados del código e interfaz

Una vez ejecutado el código diseñado en Matlab (revisar Anexo A) se generó un interfaz y con los datos obtenidos de la estimación de la biomasa se procedió a determinar el contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono producido

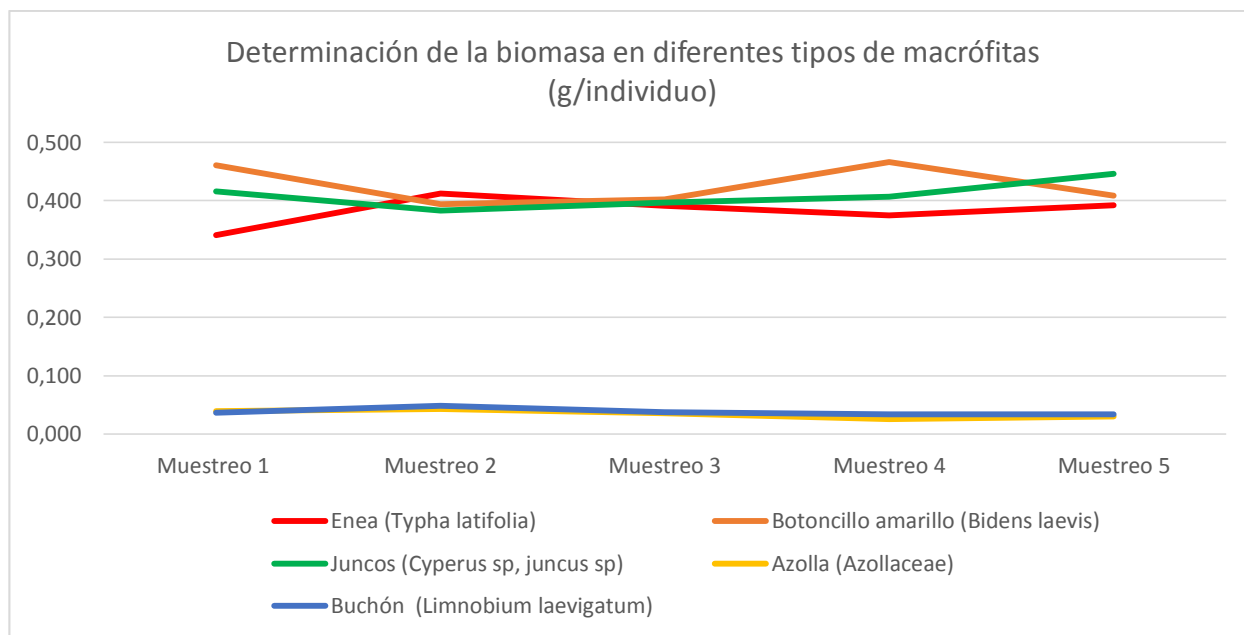
y el oxígeno producido por las 5 especies de macrófitas de cada uno de los muestreos (en el Anexo G se pueden observar las diferentes interfaces generadas)

Tabla 10: Contenido de carbono en la biomasa (g)

Contenido de carbono en la biomasa (g)					
Especie	Muestreo 1 21/10/14	Muestreo 2 28/10/14	Muestreo 3 04/11/14	Muestreo 4 11/11/14	Muestreo 5 18/11/14
Enea (<i>Typha latifolia</i>)	0,1705	0,206	0,196	0,187	0,196
Botoncillo amarillo (<i>Bidens laevis</i>)	0,2305	0,197	0,201	0,2335	0,223
Juncos (<i>Cyperus sp, juncus sp</i>)	0,208	0,1915	0,1985	0,2035	0,2045
Azolla (<i>Azolla filiculoides</i>)	0,0195	0,0215	0,018	0,013	0,015
Buchón (<i>Limnobia laevigatum</i>)	0,018	0,0245	0,0185	0,017	0,017

Fuente: Elaboración Propia

Grafica 6. Determinación de la biomasa en diferentes tipos de macrófitas (g/individuo)



Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se observa la cantidad de Carbono capturada por las macrófitas, en donde la menor cantidad capturada fue de 0,013g por Azolla (*Azolla filiculoides*) y la mayor cantidad capturada fue de 0,2335g por el Botoncillo amarillo (*Bidens laevis*); en la gráfica 5 se puede observar que el Buchón (*Limnobium laevigatum*) y la Azolla (*Azolla filiculoides*) tienden a capturar la misma cantidad de carbono, estando en un rango entre los 0,013g y los 0,0245g. También cabe resaltar en el muestreo número 3 las macrófitas tuvieron un comportamiento similar en el caso de las que más carbono capturaron y las que menos carbono capturaron, estando dentro de los rangos de 0,018g a 0,0185g las que menos capturaron y 0,196g a 0,20g las que más capturaron.

En el cálculo de la varianza de todos los datos obtenidos en la captura de Carbono, dando como resultado 0,034 g y dado que esta cifra es pequeña se puede concluir que hay poca variación entre los datos. En el caso de la desviación estándar se obtuvo que era de 0,186 g, es decir que este valor está por encima o por debajo del promedio de los datos el cual fue 0,258 g.

Tabla 11: Dióxido de Carbono (CO₂) capturado por las especies

Dióxido de Carbono capturado por las especies (g)					
Especie	Muestreo 1 21/10/14	Muestreo 2 28/10/14	Muestreo 3 04/11/14	Muestreo 4 11/11/14	Muestreo 5 18/11/14
Enea (<i>Typha latifolia</i>)	0,500133	0,604267	0,574933	0,548533	0,574933
Botoncillo amarillo (<i>Bidens laevis</i>)	0,676133	0,577867	0,5896	0,684933	0,654133
Juncos (<i>Cyperus sp, juncus sp</i>)	0,610133	0,561733	0,582267	0,596933	0,599867
Azolla (<i>Azolla filiculoides</i>)	0,0571	0,0630667	0,0528	0,0381333	0,044
Buchón (<i>Limnobium laevigatum</i>)	0,0528	0,0718667	0,0542667	0,0498667	0,0498667

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que la Azolla (*Azolla filiculoides*) es la macrofita que registro la menor cantidad de Dióxido de Carbono (CO₂) capturado, la cual generó un rango de 0,038 g a 0,06g de CO₂ y la mayor cantidad de Dióxido de Carbono (CO₂) capturado estuvo entre un rango de 0,57g a 0,68g por el Botoncillo amarillo (*Bidens laevis*).

En el cálculo de la varianza de todos los datos obtenidos en la captura de CO₂, dando como resultado 0,074 g y dado que esta cifra es pequeña se puede concluir que hay poca variación entre los datos. En el caso de la desviación estándar se obtuvo que era de 0,273 g, es decir que este valor está por encima o por debajo del promedio de los datos el cual fue 0,378 g.

Tabla 12. Oxígeno producido (g)

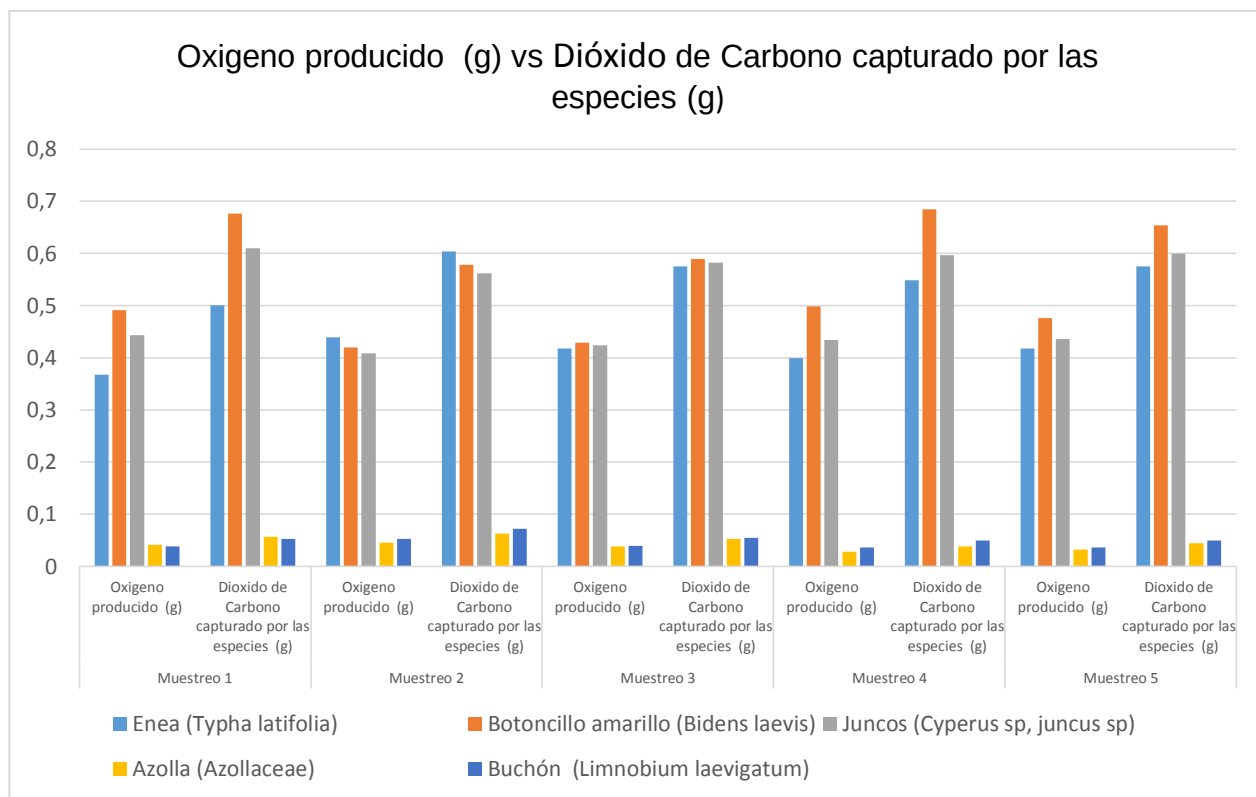
Oxígeno producido (g)					
Especie	Muestreo 1 21/10/14	Muestreo 2 28/10/14	Muestreo 3 04/11/14	Muestreo 4 11/11/14	Muestreo 5 18/11/14
Enea (<i>Typha latifolia</i>)	0,367733	0,439467	0,418133	0,398933	0,418133
Botoncillo amarillo (<i>Bidens laevis</i>)	0,491733	0,420267	0,4288	0,498133	0,475733
Juncos (<i>Cyperus sp.</i> , <i>juncus sp</i>)	0,443733	0,408533	0,423467	0,434133	0,436267
Azolla (<i>Azolla filiculoides</i>)	0,0416	0,0458667	0,0384	0,0277333	0,032
Buchón (<i>Limnobium laevigatum</i>)	0,0384	0,0522667	0,0394667	0,0362667	0,0362667

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que la Azolla (*Azolla filiculoides*) es la macrofitas que registro la menor cantidad de Dióxido de Carbono (CO₂) capturado, la cual generó un rango de 0,027g a 0,045g de CO₂ y la mayor cantidad de Dióxido de Carbono (CO₂) capturado estuvo entre un rango de 0,42 g a 0,49 g por el Botoncillo amarillo (*Bidens laevis*).

En el cálculo de la varianza de todos los datos obtenidos en la captura de CO₂, dando como resultado 0,039 g y dado que esta cifra es pequeña se puede concluir que hay poca variación entre los datos. En el caso de la desviación estándar se obtuvo que era de 0,199g, es decir que este valor está por encima o por debajo del promedio de los datos el cual fue 0,275g.

Grafica 7. Oxígeno producido (g) y Dióxido de Carbono capturado por las especies (g)



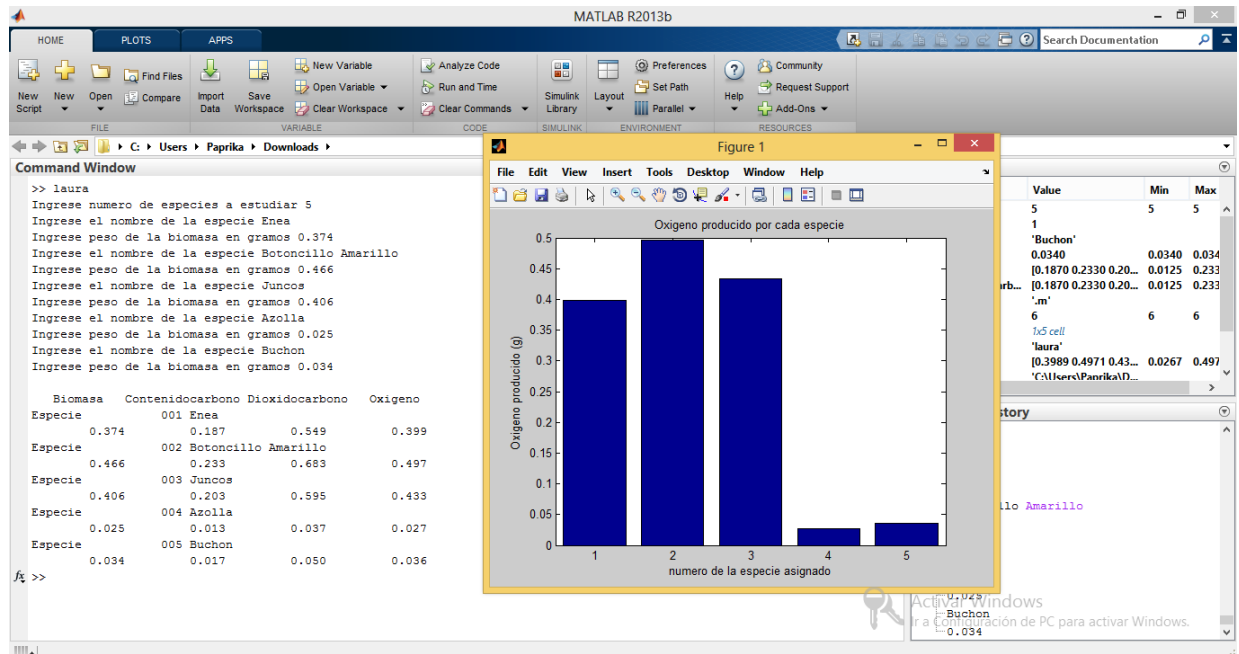
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la gráfica 6, el Botoncillo amarillo (*Bidens laevis*) es la macrófita que más CO₂ captura y O₂ produce, por lo que es directamente proporcional, también se puede ver que en el muestro 1 y 4 fue donde mayor cantidad de CO₂ se produjo. También es importante resaltar que las macrófitas Enea (*Typha latifolia*), Botoncillo amarillo (*Bidens laevis*) y Juncos (*Cyperus sp, juncus sp*) tuvieron un comportamiento similar, donde se puede apreciar principalmente en el muestreo 3.

5.3.3 Resultados del código ejecutado desde Matlab

Este código a diferencia del anterior (revisar Anexo B) no genera una interfaz, por lo que se ejecuta directamente desde Matlab, pero permite realizar los cálculos a n número de especies, como se puede observar a continuación:

Imagen 31. Ejecución del código directamente desde Matlab.



Fuente: Elaboración Propia

De este código se pudo observar que generaba los mismos resultados que el código anterior, por lo que se pudo corroborar que ambos códigos funcionaban de manera adecuada, es importante resaltar que a pesar que de que este código permita calcular Dióxido de Carbono (CO_2) capturado, el Oxígeno (O_2) producido para n número de especies, este es más tedioso de utilizar, debido a si se ingresa mal un dato, se debe comenzar nuevamente desde el principio el ingreso de los datos.

6. CONCLUSIONES

- En la determinación de la captura de carbono se encontró que el biotopo 3 formado por las especies Enea (*Typha latifolia*), Buchón (*Limnobium laevigatum*) y Azolla (*Azolla filiculoides*) tuvo una producción neta de Oxígeno con un rango entre 0,8 mg/L y 1,9 mg/L. En promedio la concentración de captura de Dióxido de Carbono 4 biotopos fue de 0,001718 mg/L y de producción de Oxígeno fue de 0,00125 mg/L.
- La especie que captura más Dióxido de Carbono (CO₂) y que produce más Oxígeno (O₂) es el Botoncillo amarillo (*Bidens laevis*) debido a la biomasa acumulada la cual se estima en un rango entre 0,394 g/individuo y 0,467 g/individuo, por lo cual se recomienda mantener esta especie en el humedal para la prestación de estos servicios ambientales.
- El humedal Santa María del Lago provee un servicio ambiental, ya que captura dióxido de carbono (CO₂) y mediante el proceso de fotosíntesis genera oxígeno (O₂); no es posible afirmar que capturará todo el carbono presente en la atmósfera de la zona, pero sí funciona como una herramienta para la disminución dióxido de carbono (CO₂), además el humedal Santa María del Lago tiene entre sus funciones ser un reservorio de agua.
- Con respecto al modelo matemático, es posible concluir que es aplicable a todas las especies estudiadas en el Humedal Santa María del Lago, ya que genera resultados determinantes y comparativos en cuando a la producción de oxígeno de cada una de las macrófitas, es de fácil uso ya que solo requiere datos sencillos. Además el código en MATLAB permite crear un interfaz más eficiente que un documento en Excel y que genera facilidad en su uso.

7. RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta que el Oxígeno (O_2) disuelto en el agua disminuye cuando se presentan precipitaciones en el área de influencia, se recomienda realizar muestreos tanto en época seca como en época de lluvias, de tal forma que se obtengan más datos con el fin de determinar la producción de oxígeno en el humedal tanto en época seca como en época lluviosa
- El Humedal Santa María del Lago, cuenta con diferentes macrófitas, como se vió durante el desarrollo de este, pero en las condiciones bajo las cuales se realizaron los muestreos no se tomó en consideración el área que ocupa cada una de las macrófitas y los biotopos, por lo tanto se recomienda que para obtener resultados determinantes de cada zona del humedal es necesario medir el área de cada uno de los biotopos, teniendo en cuenta que hay macrófitas que se encuentran más que otras.
- Es posible ampliar el número de biotopos tomando en consideración otras especies que se encuentran en el humedal, como es el caso de la sombrillita de agua o de algas.
- Los suelos de humedales cuentan con la característica de poder capturar carbono debido a sus condiciones de humedad, por lo tanto se recomienda comparar datos de captura por parte de las plantas junto con datos obtenidos en las cantidades secuestradas por los suelos. Además de las diferentes plantas terrestres presentes en el humedal.
- Se recomienda en los recorridos ambientales del humedal Santa María del Lago, incluir más información de las diferentes macrófitas presentes en este, debido a que es importante concientizar a las personas sobre la importancia de estas.
- Debido a que los muestreos se realizaron en horas de la mañana, se recomienda realizar muestreos en horas de la tarde y noche con el fin de determinar y comparar la producción de Oxígeno neto a diferentes horas del día.
- Es recomendable para los ingenieros explorar diferentes programas, debido a que esto les permitirá desenvolverse mejor y realizar cálculos de manera más fácil y eficiente.

8. GLOSARIO

Bioindicadores: Organismos o comunidades en los que su existencia o funcionamiento dependen del medio en que se desarrollan y cambian al modificarse sus condiciones ambientales. [59]

Biomasa: Planta o materia que hay sobre la superficie, desde productos agrícolas, forestales y restos orgánicos de la industria. Incluye a los organismos vivos o de origen biológico. Se encuentra disponible como fuente de energía (electricidad, calor y energía). [60]

Biotopo (Comunidad de macrófitas definidas): Territorio o espacio vital cuyas condiciones ambientales son las adecuadas para que en él se desarrolle una determinada comunidad de seres vivos [61].

Calentamiento Global: Fenómeno de aumento de la temperatura global gracias a la presencia de los gases de efecto invernadero. Este fenómeno naturalmente es la razón de que la vida en el planeta sea posible, pero debido a la creciente presencia de GEI en la atmósfera, la temperatura global ha aumentado tanto, a tal punto de ser un problema ambiental. [62]

Combustible fósil: Es aquella fuente de energía proveniente de los organismos que estuvieron vivos y por procesos naturales ahora tienen características de alta presencia de carbón, lo cual libera energía al ser quemado. [63]

Clorofila: Pigmento implicado directamente en el proceso de fotosíntesis y le dependiendo de su presencia en las plantas, denota la tonalidad en ella. [64]

Dióxido de Carbono: Gas incoloro e inodoro, soluble en agua, etanol y acetona. Se encuentra en la atmósfera en una concentración del 0,04% aunque su tiempo de permanencia es corto ya que se regenera continuamente al ser consumido por las plantas durante la fotosíntesis [65].

Fotosíntesis: Proceso de transformación, mediante el cual la energía solar se convierte en energía química, que permite la producción de compuestos orgánicos, a partir de agua, dióxido de carbono y sales minerales [7].

Gases de Efecto Invernadero: Los gases de efecto invernadero son aquellos que son emitidos por las distintas actividades tanto naturales como antropogénicas que se encuentran presentes en la atmósfera; se les llama de efecto invernadero porque naturalmente suelen acumularse en la atmósfera para evitar el escape masivo de los rayos UV que ingresan a la Tierra y proporcionan la temperatura ideal para la existencia de vida en el planeta. Los gases de efecto invernadero son: Vapor de agua, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros. [66]

Humedal: Terrenos saturados con agua que combinan las características de ecosistemas terrestres y acuáticos, y mantienen una actividad biológica que se adapta muy bien a ambientes húmedos [3].

Interfaz: Es el entorno con el cual es posible hacer uso de un sistema operativo; es el elemento puente entre un usuario y el sistema. [67]

Macrófita: Plantas que tienen sus cuyas estructuras vegetativas (Hojas, tallos y raíz) sumergidas o flotantes [20].

Oxígeno Disuelto: Cantidad de oxígeno que se encuentra libre en el agua y no está combinado con el hidrógeno o los otros elementos en el medio. Es indicador de la contaminación presente en el agua, entre más bajo sea el nivel de oxígeno disuelto en el agua, mayor será la carga contaminante en ella. [68]

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] O. M. B. Guerrero, Cultura y Ambiente: La educación ambiental, contexto y perspectivas., Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- [2] I. D. d. Turismo, «Ruta Humedal Santa María del Lago,» Bogotá, 2011.
- [3] Corporación autónoma regional , «Humedales del Territorio,» Imprenta Nacional de Colombia, Bogota, 2011.
- [4] M. E. Hernández, «Suelos de Humedales como Sumideros de Carbono y Fuentes de Metano,» *Terra Latinoamericana*, vol. 28, nº 2, pp. 139 - 147, 2010.
- [5] E. W. P. a. C. Department of Sustainability, «The Role of Wetlands in the Carbon Cycle,» Canberra, 2012.
- [6] Birol Kayranli, Miklas Scholz, Atif Mustafa, Asa Hedmark, «Carbon Storage and Fluxes within Freshwater Wetlands: a Critical Review,» *Wetlands*, vol. 30, pp. 111 - 124, 2010.
- [7] Campos-Bedolla, Sanmartí, Torres, Mingo, Fernandez, Gullón, Biología 2, Mexico: Ed. Limusa, 2002.
- [8] Guillermo Montoya, Lorena Soto, Ben de Jong, Kristen Nelson, Pablo Farias, Pajal Yakactic, John Taylor, «Desarrollo Forestal Sustentable: Captura de Carbono en las zonas Tzeltal y Tojolabal del estado de Chiapas,» Insituto Nacional de Ecología, Chiapas.
- [9] Manuel Enrique Figueroa Clemente, Susana Redondo Gomez, Los sumideros naturales de carbono: Una estrategia sostenible entre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial, Sevilla: Muñoz Moya Editores Extremeños, 2007.
- [10] N. Unidas, Estimación de los Costos de Oportunidad de REDD+: Manual de Capacitación, Washington, 2011.
- [11] W. Mook, Isótopos Ambientales en el Ciclo Hidrológico: Principios y Aplicaciones, Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2002.

- [12] Universidad Autonoma de Madrid - Facultad de Ciencias, «LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS,» Madrid, 2009.
- [13] Sudip Mitra, Reiner Wassmann, Paul L.G. Vlek, «An Appraisal of global wetland area and its organic carbon stock,» *Current Science*, vol. 88, nº 1, pp. 25 - 35, 2005.
- [14] M. Estrada Porrúa, «Cambio climático global: causas y consecuencias,» *Informacion y analisis*, nº 16, 2001.
- [15] J. Martinez y A. Fernandez Bremauntz, «Cambio Climatico una Vision desde Mexico,» Mexico D.F, 2004.
- [16] Ricardo Almenar Asensio, Emerit Bono Martínez, Ernest García García, La Sostenibilidad del Desarrollo: El Caso Valenciano, Valencia: Artes Gráficas Soler, 2000.
- [17] Observatorio De Salud Y Medio Ambiente De Andalucía , «CAMBIO CLIMÁTICO II: Fauna Y Vectores,» Andalucía , 2012 .
- [18] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, «CAPTURA DE CARBONO EN LOS SUELOS PARA UN MEJOR MANEJO DE LA TIERRA,» Roma , 2002.
- [19] M. Badillo Alemán, M. d. C. Galindo de Santiago, A. Gallardo Torres, G. Lizama, G. Palomino Albarrán, M. Leticia Arena Ortiz y X. Chiappa Carrara, «Manual de practicas de ecologia acuatica,» Mexico D.F, 2010.
- [20] P. García Murillo, R. Fernandez Zamudio y S. Cirujano Bracamonte, Habitantes del Agua. Macrófitos., Andalucía: Agencia Andaluza del Agua, 2009.
- [21] M. D. C. F. d. I. Mora, Manual de Fitodepuración - Filtro de Macrofitas en flotación, Madrid: Politécnica de Madrid, 2001.
- [22] M. d. P. Arroyave, «La lenteja de agua (Lemna minor L.): Una planta acuática promisorio.,» *Revista EIA*, nº 1, pp. 33-38, 2004.
- [23] Universidad Nacional de La Pampa, «DETERMINACION DE ORTOFOSFATOS EN AGUA,» La Pampa, 2012 .
- [24] D.J. Perez, G. Lukaszewicz , M.L. Menone, E.L. Camadro , «Sensitivity of *Bidens laevis* L. to mutagenic compounds. Use of chromosomal aberrations

as biomarkers of genotoxicity,» *Environmental Pollution*, vol. 159, nº 1, pp. 281 - 286, 2011.

- [25] Timothy A. Block, Ann Fowler Rhoads, *Aquatic Plants of Pennsylvania: A Complete Reference Guide*, Pennsylvania: University of Pennsylvania Press, 2011.
- [26] J. E. E. Moreno, «Humedales Bogotá,» 01 08 2012. [En línea]. Available: <http://humedalesbogota.com/2012/08/01/plantas-acuaticas-en-los-humedales-de-bogota/>. [Último acceso: 28 10 2014].
- [27] M. D. C. F. d. I. Mora, «Macrófitas de interés en fitodepuración,» de *Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación*, Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, pp. 91 - 105.
- [28] J. M. M. Box, *Prontuario de Agricultura: Cultivos Agrícolas*, Madrid: Mundi-Prensa Libros, 2005.
- [29] Agnieszka Klink, Aurelia Maciol, Magdalena Wislocka, Józef Krawczyk, «Metal accumulation and distribution in the organs of *Typha latifolia* L. (Cattail) and their potential in use in bioindication,» *Limnologia*, vol. 43, pp. 164 - 168, 2013.
- [30] Joseph M. DiTomaso, Evelyn Healy, *Aquatic and Riparian Weeds of the West*, Oakland: University of California: Agriculture and Natural Resources, 2003.
- [31] S. Lowe, M. Browne, M. De Porter, S. Boudjelas, *100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database*, Auckland, Nueva Zelanda.: Fondation D'Enterprise Total, 2004.
- [32] L. O. C. Farak, «Compostaje del Buchon de Agua como alternativa de gestión. Primero Resultados,» Universidad de Los Andes, Bogotá.
- [33] Hector Aponte, Cesar O. Parreches, «Crecimiento y Propagación de *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo diferentes concentraciones de Nutrientes.,» *The Biologist*, vol. 11, nº 1, pp. 69 - 78, 2013.
- [34] C. I. V. Bernal, «Tratamiento de residuos líquidos del área de tinturados en flores de exportación con *Eichhornia Crassipes* (Buchon de Agua),» *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 1, nº 2, pp. 23 - 27.

- [35] V. Sabaj, «Extracción de juncos "Schoenoplectus californicus" en el área protegida Humedales de Santa Lucía (Uruguay): Contexto ecológico, socioespacial y perspectivas de manejo sustentable.,» Universidad de la Republica, Montevideo, 2011.
- [36] Karina S.B. Miglioranza, Julia E.A. de Moreno, Victor J. Moreno, «Organochlorine pesticides sequestered in the aquatic macrophyte Schoenoplectus californicus (C.A. Meyer) Sojak from a shallow lake in Argentina,» *Water Research*, vol. 38, pp. 1765 - 1772, 2004.
- [37] R. H. Mohlenbrock, Aquatic and Standing water plants of the central Midwest, Illinois: The Board of Trustees, 2006.
- [38] Khaja Zillur Rhaman, Arndt Wiessner, Peter Kusch, Manfred van Afferden, Jürgen Mattusch, Roland Arno Müller, «Removal and fate of arsenic in the rhizosphere of juncus effusus treating artificial wastewater in laboratory-scale constructed wetlands,» *Ecological Engineering*, vol. 69, pp. 93 - 105, 2014.
- [39] P. Stafford, «Azollaceae,» *Review of Palaeobotany & Palynology*, vol. 123, pp. 9 - 17, 2003.
- [40] Monique M.L. van Kempen, Alfons J.P. Smolders, Gerard M. Bögemann, Leo L.M. Lamers, Erci J.W. Visser, Jan G.M. Roelofs, «Responses to Azolla filiculoides str. - Anabaena azollae Lam. association to elevated sodium chloride concentrations: Amino acids as indicator for salt stress and tipping point.,» *Aquatic Botany*, vol. 106, pp. 20 - 28, 2013.
- [41] F. Vafaei, A.R. Khataee, A. Movafeghi, S.Y. Salehi Lisar, M. Zarei, «Bioremoval of an azo dye by Azolla filiculoides: Study of growth, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes status.,» *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 75, pp. 194 - 200, 2012 .
- [42] C. M. Villareal, Bienes y Servicios Ambientales en Mexico: caracterización preliminar y sinergias entre protección ambiental, desarrollo del mercado y estrategia comercial., Santiago de Chile: GTZ, 2005.
- [43] OCDE, The Environmental Goods and Services Industry Manual, 1999.
- [44] Teresa Audesirk, Gerald Audesirk, Bruce E. Byers, Biología: ciencia y Naturaleza, Mexico: Pearson, 2004.
- [45] C. Gracia, «Fotosíntesis,» de *Ecología Forestal: Estructura, Funcionamiento y Producción de masas Forestales*, pp. 95-131.

- [46] «Universidad Santo Tomás,» [En línea]. Available: www.usta.edu.co. [Último acceso: 17 11 2014].
- [47] «Secretarías Distrital de Ambiente,» [En línea]. Available: www.ambientebogota.gov.co. [Último acceso: 17 11 2014].
- [48] R.S.Ramalho, Tratamiento de Aguas Residuales, Barcelona: Ed. Reverté, 1996.
- [49] Herbert Laitinen, Walter Harris, Análisis Químico, Barcelona: Ed. Reverte, 1982.
- [50] Lenntech , «Water Treatment Solutions Lenntech,» 20015. [En línea]. Available: <http://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-Oxígeno-disuelto-en-el-agua.htm>. [Último acceso: 13 03 2015].
- [51] F. Dunnivant, «Oxígeno disuelto en agua,» 2012.
- [52] Hanna Instruments, «Instruction Manual: HI Dissolved Oxygen Test Kit,» Bucarest , 2005.
- [53] Universidad de Sonora, «Fitoplancton marino,» Hermosillo, 2010.
- [54] Maribel Badillo, María Galindo, Alfredo Gallardo, Gabriel Lizama, Gabriela Palomino, María Leticia, Xavier Chappa, Manual de Prácticas de Ecología Acuática, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.
- [55] «Química 10ma Edicion,» McGrawHill, 2010, pp. 99-101.
- [56] IDEAM, «Monitoreo a los ciclos del agua y carbono en ecosistemas de altamontaña, Caso piloto, Proyecto nacional de Adaptacion al cambio climatico -INAP- Componente B,» IDEAM y Caonservacion Internacional , Bogota, 2011.
- [57] S. Pearson, Sourcebook for land use, land-use change and forestryprojects. Winrock International and the, 2005, pp. 13-22.
- [58] M. F. Triola, Estadística Novena Edición, Mexico: Pearson Addison Wesley, 2004.
- [59] M. A. C. Martí, Principios de Toxicología: Diagnóstico, Tratamiento y Gestión del Medio Ambiente, Barcelona: Tebar.

- [60] X. E. Castelle, Energía, Agua, Medioambiente, Territorialidad y Sostenibilidad, Madrid: Ediciones Diaz Santos, 2012.
- [61] Diccionario de la Real Academia Española.
- [62] C. Baird, Química Ambiental, Barcelona: Reverte, 2001.
- [63] R. Lafferriere, El Mecanismo de Desarrollo Limpio Del Protocolo de Kyoto, 2008.
- [64] Francisco Jose García, Josefa Rosello, Pilar Santamaría, Introducción al funcionamiento de las plantas, Editorial de la UPV, 2006.
- [65] Diccionario de Química, Madrid: Oxfor University Press, 1997.
- [66] W. M. Ciesla, Cambio Climático, bosques y ordenación forestal: Una visión en conjunto, Estudio FAO Montes, 1995.
- [67] G. Wielage, Gran Libro Windows 2000 Profesional, Barcelona: Marcombo S.A., 2000.
- [68] A. C. Sole, Instrumentación Industrial, Barcelona: Marcombo, 2011.
- [69] N. R. Guerrero, M. A. O. Quintero y J. C. P. Naranjo, «Determinación del Área Foliar en Fotografías Tomadas con una Cámara Web, un Teléfono Celular o una Cámara Semiprofesional,» Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, Medellín , 2012.
- [70] T. Ortega, «Produccion primaria bruta y neta,» 2010.

10. ANEXOS

Anexo A. Código creado en Matlab el cual permite generar una interfaz

```
function varargout = interfaz(varargin)
% INTERFAZ MATLAB code for interfaz.fig
%   INTERFAZ, by itself, creates a new INTERFAZ or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = INTERFAZ returns the handle to a new INTERFAZ or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   INTERFAZ('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in INTERFAZ.M with the given input arguments.
%
%   INTERFAZ('Property','Value',...) creates a new INTERFAZ or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before interfaz_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to interfaz_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help interfaz

% Last Modified by GUIDE v2.5 28-Nov-2014 14:00:52

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @interfaz_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @interfaz_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
```

```

% --- Executes just before interfaz is made visible.
function interfaz_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to interfaz (see VARARGIN)

% Choose default command line output for interfaz
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes interfaz wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = interfaz_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit7 as a double

```



```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit8 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit9 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit9 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```

% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit10 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit10 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit6 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```

% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

x1=0;
x2=0;
x3=0;
x4=0;
x5=0;

```

```

cc1=0;
cc2=0;
cc3=0;
cc4=0;
cc5=0;

```

```

y1=0;
y2=0;
y3=0;
y4=0;
y5=0;

```

```

op1=0;
op2=0;
op3=0;
op4=0;
op5=0;

```

```

x1=str2double(get(handles.edit6,'String'));
x2=str2double(get(handles.edit7,'String'));
x3=str2double(get(handles.edit8,'String'));
x4=str2double(get(handles.edit9,'String'));
x5=str2double(get(handles.edit10,'String'));

```

```

if x1>0
    cc1=x1/2;% contenido de carbono en la biomasa
    y1=x1*(1/180)*6*44; %dioxido de carbono
    op1=y1*(1/44)*32; %Oxígeno producido
end

```

```

if x2>0
    cc2=x2/2;% contenido de carbono en la biomasa
    y2=x2*(1/180)*6*44; %dioxido de carbono
    op2=y2*(1/44)*32; %Oxígeno producido
end

```

```

if x3>0
    cc3=x3/2;% contenido de carbono en la biomasa
    y3=x3*(1/180)*6*44; %dioxido de carbono
    op3=y3*(1/44)*32; %Oxígeno producido
end

```

```

if x4>0
    cc4=x4/2;% contenido de carbono en la biomasa
    y4=x4*(1/180)*6*44; %dioxido de carbono
    op4=y4*(1/44)*32; %Oxígeno producido
end

```

```

if x5>0
    cc5=x5/2;% contenido de carbono en la biomasa
    y5=x5*(1/180)*6*44; %dioxido de carbono
    op5=y5*(1/44)*32; %Oxígeno producido
end

```

```

set(handles.text13,'String',cc1);
set(handles.text14,'String',cc2);
set(handles.text15,'String',cc3);
set(handles.text16,'String',cc4);
set(handles.text17,'String',cc5);

```

```

set(handles.text18,'String',y1);
set(handles.text19,'String',y2);
set(handles.text20,'String',y3);
set(handles.text21,'String',y4);
set(handles.text22,'String',y5);

```

```

set(handles.text23,'String',op1);
set(handles.text24,'String',op2);
set(handles.text25,'String',op3);
set(handles.text26,'String',op4);
set(handles.text27,'String',op5);

```

```

op=[op1 op2 op3 op4 op5];

```

```

bar(op);

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

x1=0;
x2=0;
x3=0;
x4=0;
x5=0;

n1=0;
n2=0;
n3=0;
n4=0;
n5=0;

cc1=0;
cc2=0;
cc3=0;
cc4=0;
cc5=0;

y1=0;
y2=0;
y3=0;
y4=0;
y5=0;

op1=0;
op2=0;
op3=0;
op4=0;
op5=0;

set(handles.edit6,'String',x1);
set(handles.edit7,'String',x2);
set(handles.edit8,'String',x3);
set(handles.edit9,'String',x4);
set(handles.edit10,'String',x5);

set(handles.edit1,'String',n1);
set(handles.edit2,'String',n2);
set(handles.edit3,'String',n3);
set(handles.edit4,'String',n4);
set(handles.edit5,'String',n5);

set(handles.text13,'String',cc1);
set(handles.text14,'String',cc2);

```

```
set(handles.text15,'String',cc3);
set(handles.text16,'String',cc4);
set(handles.text17,'String',cc5);
```

```
set(handles.text18,'String',y1);
set(handles.text19,'String',y2);
set(handles.text20,'String',y3);
set(handles.text21,'String',y4);
set(handles.text22,'String',y5);
```

```
set(handles.text23,'String',op1);
set(handles.text24,'String',op2);
set(handles.text25,'String',op3);
set(handles.text26,'String',op4);
set(handles.text27,'String',op5);
```

```
op=[op1 op2 op3 op4 op5];
```

```
bar(op);
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
close(gcf)
```

Anexo B. Código ejecutado desde Matlab

```
% Laura Milena Herrera Rivera
% Silvia Maria Caicedo Villate
% Modelo matematico

%% Datos iniciales
a=input('Ingrese número de especies a estudiar ');% cantidad

%% matrices vacias
n={};%nombres
x=[];%biomasa

%% condicionales
i=1;%contador

while i<=a
    b=input('Ingrese el nombre de la especie ','s');
    n{i}=b;
    c=input('Ingrese peso de la biomasa en gramos ');
    x(i)=c;
    contenidodecarbono=x./2;
    cc=x./2;% contenido de carbono en la biomasa
    y=x.*(1/180).*6.*44;%dioxido de carbono
    op=y*(1/44)*32;%Oxígeno producido
    i=i+1;
end
%% impresion
z=1;%contador

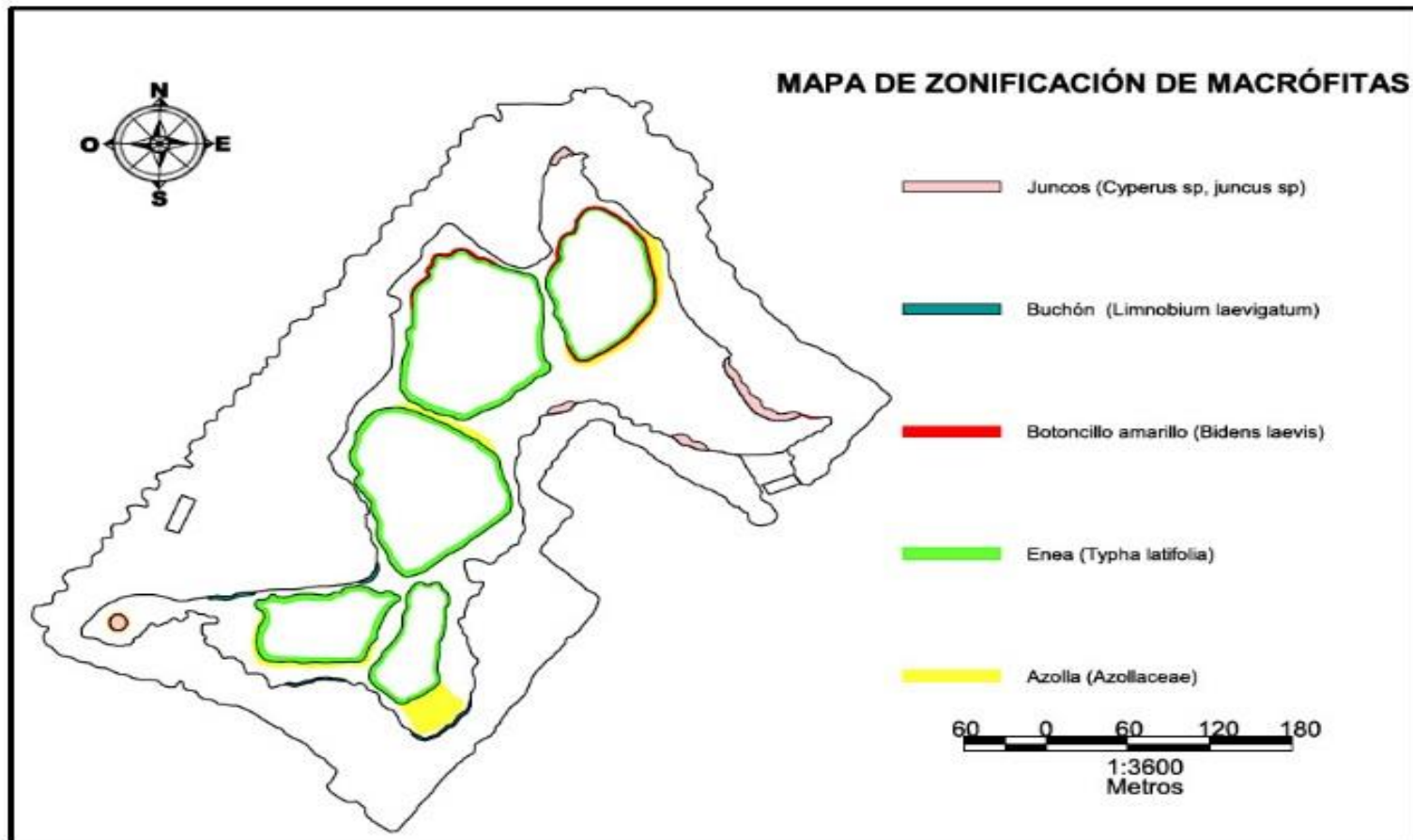
while z<=a;
    if z==1;
        fprintf('\n Biomasa  Contenidocarbono Dioxidocarbono  Oxígeno \n');
        fprintf('Especie '),fprintf('%13.3i ',z),disp(n{z});
        fprintf('%13.3f %13.3f %13.3f %13.3f\n',x(z),cc(z),y(z),op(z));

    else z>1;
        fprintf('Especie '),fprintf('%13.3i ',z),disp(n{z});
        fprintf('%13.3f %13.3f %13.3f %13.3f\n',x(z),cc(z),y(z),op(z));
    end
    z=z+1;
end
%% grafica

bar(op);
title('Oxígeno producido por cada especie');
xlabel('número de la especie asignado');
ylabel('Oxígeno producido (g)')
```

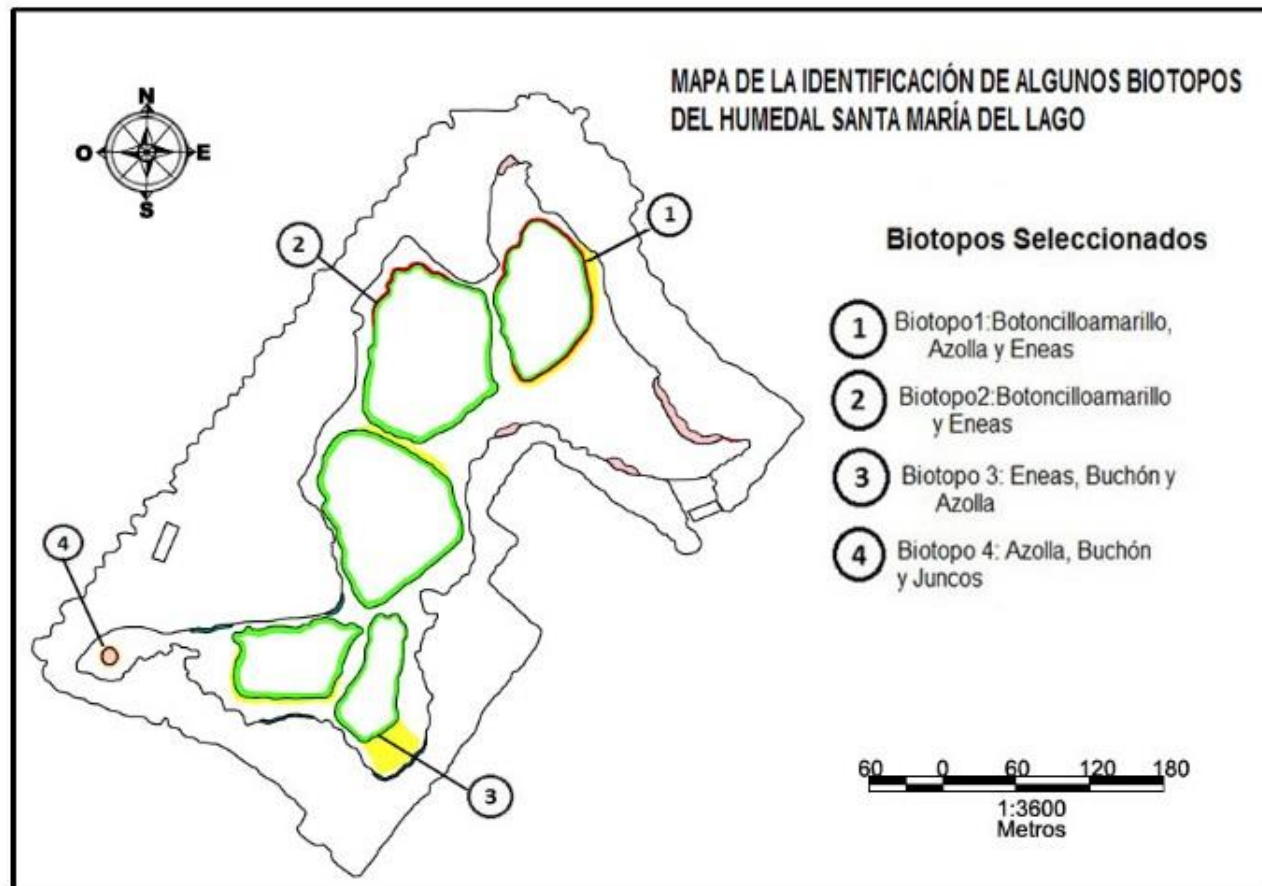
Anexo C

Mapa 3. Mapa de zonificación de macrófitas



Fuente: Elaboración Propia

Anexo D. Mapa 4. Mapa de la identificación de algunos biotopo del humedal Santa María del Lago



Fuente: Elaboración Propia

Anexo E. Ecuaciones para la determinación del CO₂ en los diferentes biotopos

- Muestreo 1

- Biotopo 1

$$0,0014 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$
$$= 0,001925 \text{ g/L CO}_2$$

- Biotopo 2

$$0,0016 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$
$$= 0,0022 \text{ g/L CO}_2$$

- Biotopo 3

$$0,0018 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$
$$= 0,002475 \text{ g/L CO}_2$$

- Biotopo 4

$$0,0015 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$
$$= 0,0020625 \text{ g/L CO}_2$$

- Muestreo 2

- Biotopo 1

$$0,0012 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$
$$= 0,00165 \text{ g/L CO}_2$$

- Biotopo 2

$$0,0016 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$
$$= 0,0022 \text{ g/L CO}_2$$

- Biotopo 3

$$0,0019 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$
$$= 0,0026125 \text{ g/L CO}_2$$

- Biotopo 4

$$0,0014 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right) \\ = 0,001925 \text{ g/L CO}_2$$

- Muestreo 3

- Biotopo 1

$$0,0014 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right) \\ = 0,001925 \text{ g/L CO}_2$$

- Biotopo 2

$$0,0017 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right) \\ = 0,0023375 \text{ g/L CO}_2$$

- Biotopo 3

$$0,002 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right) \\ = 0,00275 \text{ g/L CO}_2$$

- Biotopo 4

$$0,0015 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right) \\ = 0,0020625 \text{ g/L CO}_2$$

- Muestreo 4

- Biotopo 1

$$0,0014 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right) \\ = 0,001925 \text{ g/L CO}_2$$

- Biotopo 2

$$0,0017 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$

$$= 0,0023375 \text{ g/L CO}_2$$

○ Biotopo 3

$$0,002 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$

$$= 0,00275 \text{ g/L CO}_2$$

○ Biotopo 4

$$0,0014 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$

$$= 0,001925 \text{ g/L CO}_2$$

- Muestreo 5

○ Biotopo 1

$$0,0013 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$

$$= 0,0017875 \text{ g/L CO}_2$$

○ Biotopo 2

$$0,0015 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$

$$= 0,0020625 \text{ g/L CO}_2$$

○ Biotopo 3

$$0,0017 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$

$$= 0,0023375 \text{ g/L CO}_2$$

○ Biotopo 4

$$0,0014 \text{ g/L O}_2 * \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{O}_2} \right) * \left(\frac{6 \text{ mol CO}_2}{6 \text{ mol O}_2} \right) * \left(\frac{44 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right)$$

$$= 0,001925 \text{ g/L CO}_2$$

Anexo F. Datos obtenidos de los diferentes muestreos de Oxígeno inicial, botella clara y botella oscura.

Muestreo 1			
Biotopo	Oxígeno Inicial (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Clara (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Oscura (mg/L/6h)
1: Botoncillo Amarillo, Azolla y Enea	6,6	7,7	6,5
2: Botoncillo Amarillo y Enea	9,2	10,9	8,7
3: Enea, Buchon y Azolla	9,3	11,4	8,8
4: Azolla, Buchon y Junco	7,5	8,8	7,4

Muestreo 2			
Biotopo	Oxígeno Inicial (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Clara (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Oscura (mg/L/6h)
1: Botoncillo Amarillo, Azolla y Enea	6,8	7,7	6,7
2: Botoncillo Amarillo y Enea	9,2	10,5	9,1
3: Enea, Buchon y Azolla	9,5	11,5	9,2
4: Azolla, Buchon y Junco	7,7	9,2	7,3

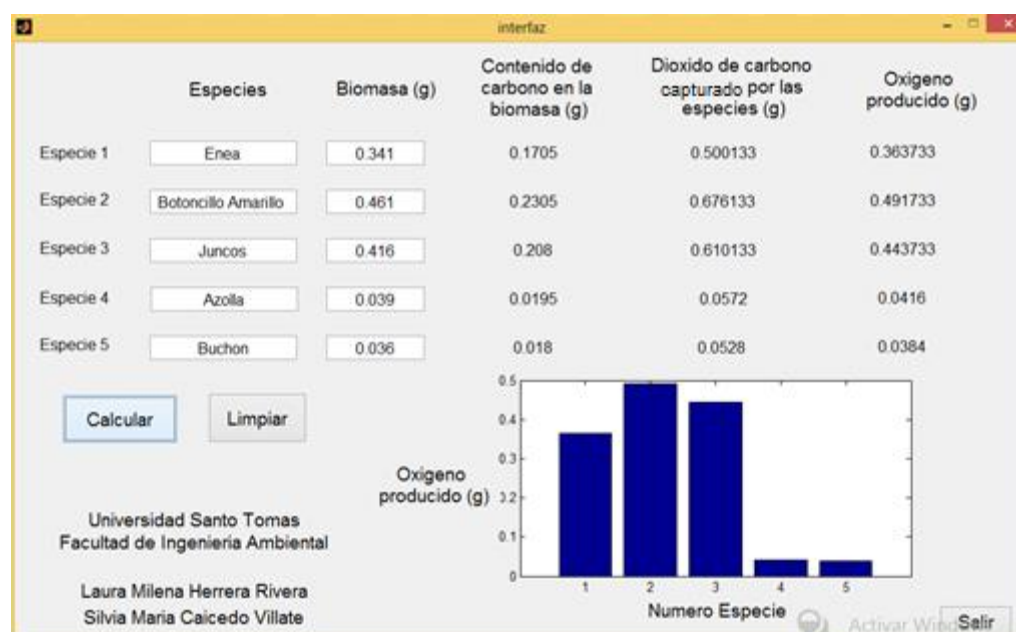
Muestreo 3			
Biotopo	Oxígeno Inicial (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Clara (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Oscura (mg/L/6h)
1: Botoncillo Amarillo, Azolla y Enea	6,4	7,5	6,2
2: Botoncillo Amarillo y Enea	8,8	10,4	8,4
3: Enea, Buchon y Azolla	9	11,1	8,7
4: Azolla, Buchon y Junco	7,8	9,1	7,5

Muestreo 4			
Biotopo	Oxígeno Inicial (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Clara (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Oscura (mg/L/6h)
1: Botoncillo Amarillo, Azolla y Enea	6,8	7,9	6,7
2: Botoncillo Amarillo y Enea	8,9	10,5	8,5
3: Enea, Buchon y Azolla	9,1	11,3	8,5
4: Azolla, Buchon y Junco	7,6	8,9	7,4

Muestreo 5			
Biotopo	Oxígeno Inicial (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Clara (mg/L/6h)	Oxígeno en Botella Oscura (mg/L/6h)
1: Botoncillo Amarillo, Azolla y Enea	6,7	7,8	6,6
2: Botoncillo Amarillo y Enea	9,1	10,9	8,6
3: Enea, Buchon y Azolla	9,3	11,5	8,9
4: Azolla, Buchon y Junco	7,4	8,2	7,8

Anexo G

Imagen 32. Interfaz generado por el programa Matlab para la determinación del contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono capturado y el oxígeno producido por las macrófitas en el muestreo 1



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 33. Interfaz generado por el programa Matlab para la determinación del contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono capturado y el oxígeno producido por las macrófitas en el muestreo 2

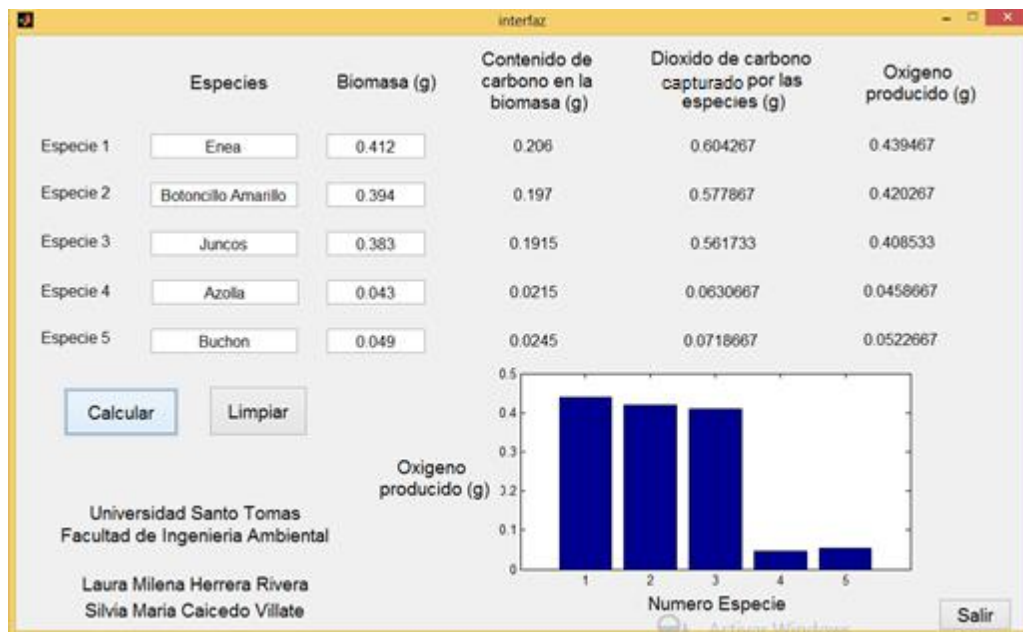
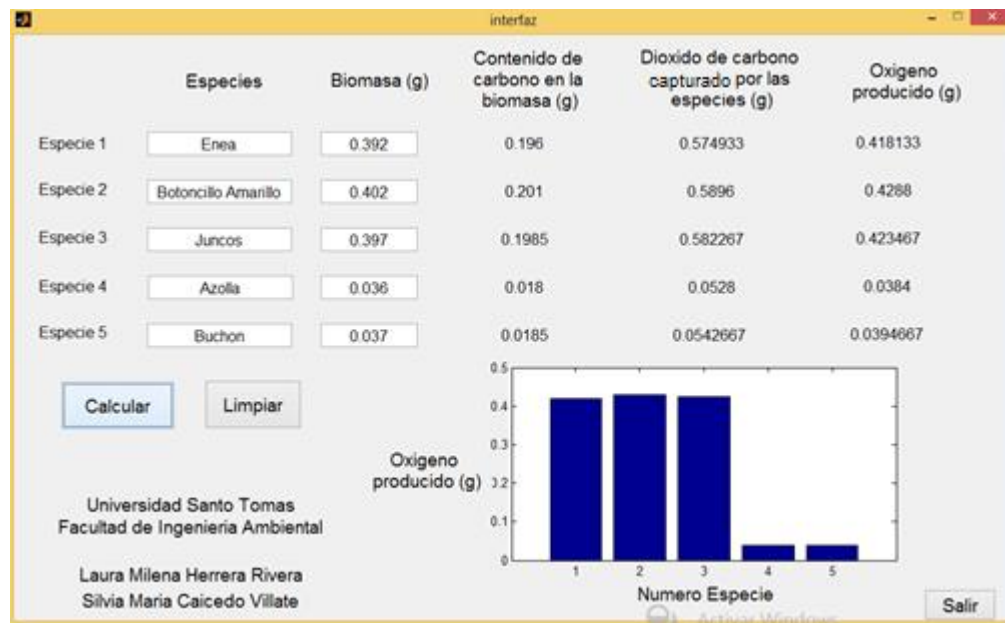
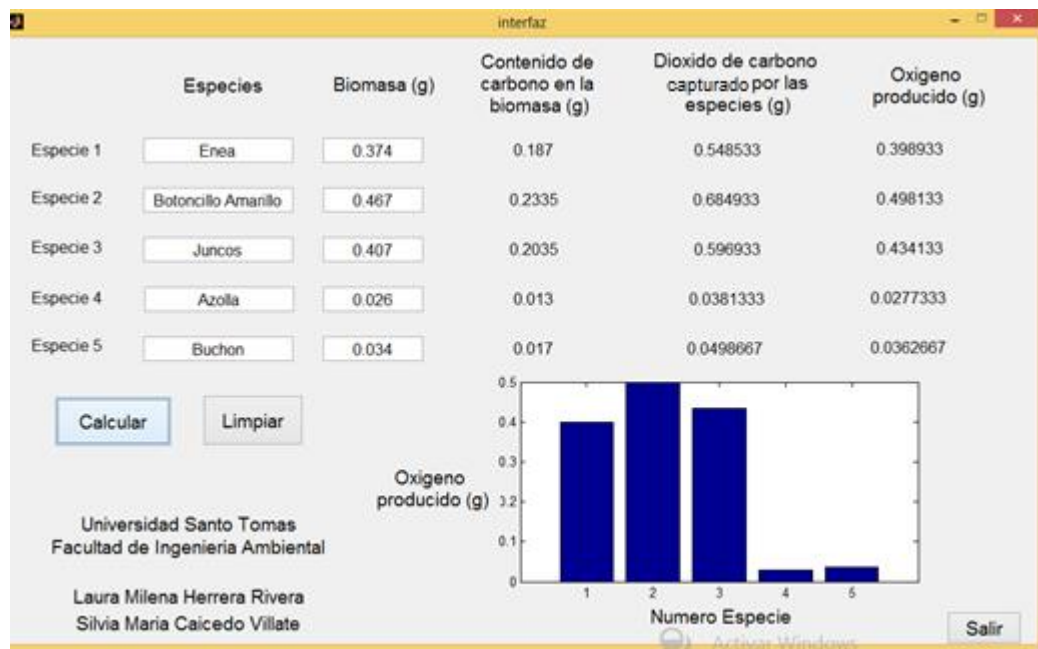


Imagen 34. Interfaz generado por el programa Matlab para la determinación del contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono capturado y el oxígeno producido por las macrófitas en el muestreo 3



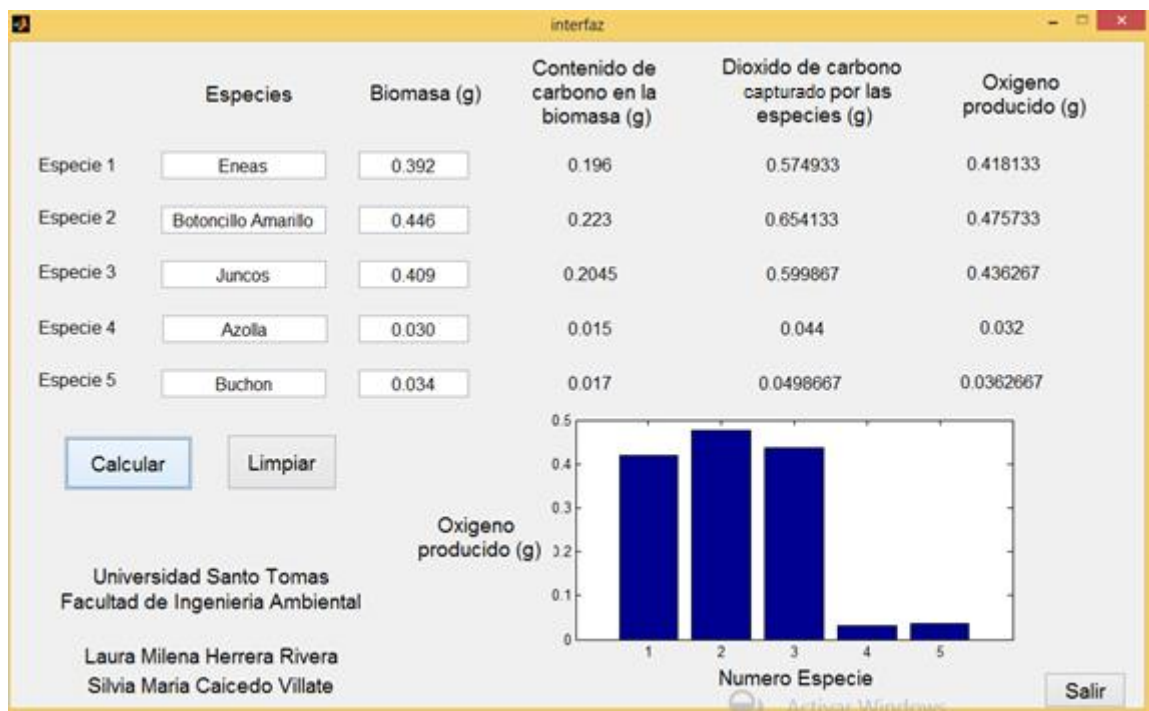
Fuente: Elaboración Propia

Imagen 35. Interfaz generado por el programa Matlab para la determinación del contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono capturado y el oxígeno producido por las macrófitas en el muestreo 4



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 36. Interfaz generado por el programa Matlab para la determinación del contenido de carbono en la biomasa, el dióxido de carbono capturado y el oxígeno producido por las macrófitas en el muestreo 5



Fuente: Elaboración Propia