

Universidad Tecnológica de Panamá

Facultad de Ingeniería Civil

Estimación de CO₂ por el proceso de respiración de suelo en el manglar de la
Bahía de Panamá

Presentado por:

Natasha Gómez Zanetti

Lilisbeth Rodríguez Carrasco

Trabajo de Graduación presentado a la Universidad Tecnológica de Panamá
como requisito para optar por el Título de Licenciatura en Ingeniería Ambiental

República de Panamá

2022

RESUMEN

Estudios revelan que los manglares poseen la capacidad de almacenar el carbono más que un bosque tropical, la mayor parte de este elemento se encuentra debajo del suelo, y esta función es catalogada como la segunda más importante para mitigar los efectos del cambio climático. Parte del ciclo del carbono es regresar a la atmósfera y esto se realiza por medio de la respiración del suelo. Siendo el objetivo de esta investigación, dar a conocer las cantidades de CO₂ que se emite en el manglar por medio de este proceso natural. Se establecieron 3 parcelas con existencias de mangles predominantes: *Avicennia bicolor* y *Avicennia germinans*. Adicional, se realizó un inventario forestal, dando como resultado 371 especies, donde el *Avicennia bicolor* prevalecía con 218 ante el *Avicennia germinans* con 153. Establecidos los parámetros, se tomaron en cuenta las variables: Flujo de CO₂ del suelo y temperatura del aire que fueron medidos por el sistema de gases LICOR 6400, y la temperatura del aire/suelo por medio de una torre meteorológica. Además de las mediciones físicas en los árboles como: el diámetro a la altura del pecho, diámetro y superficie de copa, y distancia. El resultado muestra que la respiración de suelo es de 38.82 toneladas de CO₂/ha, en el periodo analizado (1-8-2021 al 17-11-2021). Se recomienda apoyar futuras investigaciones que aporten a la continuación del proyecto y beneficie al ecosistema.

Palabras Claves: manglar, dióxido de carbono, respiración de suelo, cambio climático y regresión lineal múltiple.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico principalmente a Dios, por darme las fuerzas necesarias para seguir mis sueños y nunca rendirme.

Se lo dedico también, a mis padres y hermano que siempre estuvieron a mi lado, brindándome todo su apoyo incondicional.

Natasha Gómez Zanetti

Este trabajo de graduación ha sido posible gracias a Dios, que me ha dado la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.

Con mucho cariño a mis padres y hermanos por todo el apoyo, el amor y la preocupación que me han brindado.

A mi pareja Fermín De León muchas gracias por todo el apoyo que me ha dado en todos estos años. Y a nuestro futuro bebé, quién ha sido mi mayor motivación en la culminación de esta etapa de mi vida.

Lilisbeth Rodríguez Carrasco

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Reinhardt Pinzón, por brindarme la oportunidad de formar parte de su proyecto de investigación y por todo el apoyo emocional, económico y técnico hasta finalizar el trabajo de tesis.

Gracias al Profesor Francisco López por ayudarnos a direccionar de la mejor manera esta investigación y por resolver todas las dudas que tuve en el camino.

También agradezco al Ing. Jaime González, Dra. Nathalia Tejedor y al personal del Centro de Investigaciones hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) por el apoyo técnico durante las giras al sitio de estudio.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO 1: LOS MANGLARES Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO	
CLIMÁTICO.....	1
1.1. Cambio Climático	2
1.2. Gases de efecto Invernadero	5
1.3. Legislación Panameña	8
1.3.1. Marco legal sobre Cambio Climático.....	8
1.3.2. Proyectos	13
1.3.3. Marco legal sobre los Manglares	14
1.3.4. Convenios Internacionales de protección a los manglares	18
1.4. Manglares.....	19
1.4.1. Flujo de CO ₂ en manglares a nivel global	21

1.4.2.	Flujo de CO ₂ en manglares de Panamá.....	26
1.5.	Ciclo de Carbono e importancia de la respiración del suelo.....	28
CAPÍTULO 2: ÁREA DE ESTUDIO		31
2.1.	Humedal Bahía de Panamá	32
2.1.1.	Geología.....	33
2.1.2.	Tipos de Suelo	34
2.1.3.	Hidrología.....	34
2.1.4.	Vegetación	36
2.1.5.	Cobertura vegetal actual	39
2.2.	Especies predominantes en el área de estudio.....	40
2.2.1.	Especies arbóreas	41
2.2.2.	Especies animales	46
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN		49
3.1.	Parámetros establecidos	51
3.2.	Equipos utilizados en campo.....	57
3.2.1.	Torre meteorológica, sistema de covarianza Eddy	57
3.2.2.	LICOR 6400 (Licor Biogeosciences)	59
3.2.3.	Software. Creación de una nueva medición de suelo	62
3.3.	Inventario Forestal.....	64
3.4.	Aplicación de Software Estadístico	71

3.4.1. Regresión Lineal Múltiple	74
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	77
4.1. Condiciones ambientales	78
4.2. Resultados del equipo LICOR 6400	81
4.2.1. Flujo de CO ₂ del suelo (Efflux)	81
4.2.2. Temperatura del aire	84
4.3. Resultados de la Torre Meteorológica Jay Zieman	84
4.3.1. Temperatura del aire y temperatura del suelo.....	85
4.4. Análisis estadístico del flujo de CO ₂ en el periodo agosto-noviembre...	90
4.4.1. Aplicación de modelo matemático.....	94
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
ANEXOS	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Disminución de la cobertura de manglares en Panamá, 1969-2007. .	27
Figura 2: Componentes en el almacén y captura de CO ₂ en el manglar y esquematización de los flujos de carbono en un manglar conservado y degradado. Definiciones de los componentes del IPCC (2003).	29
Figura 3: Geología de las cuencas costeras con delta en el Humedal Bahía de Panamá.	33
Figura 4: Cuencas con deltas hacia los manglares de la Bahía de Panamá.	35
Figura 5: Vegetación del Humedal Bahía de Panamá.	37
Figura 6: <i>Avicennia bicolor</i>	42
Figura 7: <i>Avicennia germinans</i>	43
Figura 8: <i>Acrostichum aureum</i>	45
Figura 9: Playero Menudo (<i>Calidris minutilla</i>), Plan de conservación para los humedales de la Bahía de Panamá.	47
Figura 10: Cangrejo violinista (<i>Uca</i>).	48
Figura 11: Recorrido del área de estudio hacia los sitios de monitoreo y la torre.	52
Figura 12: Esquemas de los sitios de estudio con distancia total entre árboles.	54
Figura 13: Torre Meteorológica Jay Zieman.	58
Figura 14: LI-6400XT y cámara 6400-09.	59
Figura 15: Gráfica de un ciclo de medición y regresión lineal de los datos obtenidos del CO ₂ del suelo y de la cámara.	61

Figura 16: Medición del diámetro a la altura del pecho (DBH).	64
Figura 17: Localización de los extremos de la parcela.	67
Figura 18: Esquemas de la delimitación de la parcela por cuadrantes.....	68
Figura 19: Archivo de Excel del inventario físico.	69
Figura 20: Resultados del LIDAR de los 4 cuadrantes en la parcela estudiada.	70
Figura 21: Pantalla inicial de STATGRAPHICS Centurion XVI.....	72
Figura 22: Archivo de Excel con las variables con mayor importancia.	73
Figura 23: Estimación de las temperaturas y humedades ambientales en los sitios de medición.	79
Figura 24: Valores inconsistentes de CO ₂ del suelo en algunos anillos.	80
Figura 25: Archivo de Excel generado por el equipo LICOR 6400, tras un día de medición.	82
Figura 26: Datos de la temperatura del suelo.....	86
Figura 27: Comportamiento de la temperatura del suelo (1 de agosto al 17 de noviembre de 2021).....	87
Figura 28: Datos de la temperatura del aire.	88
Figura 29: Comportamiento de la temperatura del aire (1 de agosto al 17 de noviembre de 2021).....	89
Figura 30: Correlación de Pearson.....	91
Figura 31: Resumen de análisis estadístico.	93
Figura 32: Inventario forestal según su clase diamétrica.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Nombres científicos y diámetros de los árboles de mangle incluidos. .	53
Tabla 2: Periodo de medición por área	55
Tabla 3: Medidas de diámetro a la altura del pecho, diámetro de copa y superficie de copa.....	65
Tabla 4: Coordenadas de los extremos de la parcela.....	66
Tabla 5: Media del flujo de CO ₂ de cada cilindro, en el periodo agosto-noviembre.	94
Tabla 6: Respiración de suelo total (SRt) de la zona de afección de cada árbol.	96
Tabla 7: Respiración del suelo total bajo copa de árbol, según su distribución diamétrica.....	99
Tabla 8: Relación alométrica de la superficie de copa en función del DBH.	101

INTRODUCCIÓN

El cambio climático se encuentra afectado por la acumulación de gases de efecto invernadero provenientes de las constantes actividades antropogénicas, que ocasionan alteraciones en la atmósfera. Sin embargo, los manglares poseen un papel importante en la mitigación de la variabilidad climática, gracias a su composición, son los sumideros de dióxido de carbono (principal gas de efecto invernadero) más eficaces del planeta (Ortega, 2020). Estos ecosistemas fijan las moléculas de carbono por medio de la fotosíntesis y del suelo (Wetlands, 2013).

El manglar de Juan Díaz, donde se desarrolla el proyecto, se encuentra en el humedal de la Bahía de Panamá que fue designado como área protegida, por ser de gran valor para la humanidad, se le es conocido como Sitio Ramsar, por la Convención de Ramsar (Acuerdo Internacional que promueve la conservación y uso racional de los humedales) desde el 2003 (Ley 1 de 2 de febrero de 2015).

La investigación se realiza bajo la supervisión del proyecto SENACYT FID2016-30, asistido por profesionales del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) de la Universidad Tecnológica de Panamá, y tiene como objetivo enmarcar el valor estratégico de estas áreas naturales, su gestión y mantenimiento; como mecanismo de solución a los problemas climáticos actuales.

Se le atribuye importancia al análisis de las emisiones de CO₂ por parte del manglar para el desarrollo de nuevas medidas de control en la ciudad de Panamá, debido a la falta de proyectos investigativos en esta zona.

Estudios revelan que alrededor de un 90 % de los humedales, la producción primaria bruta de carbono vuelve a la atmósfera por descomposición (Cicerone & Oremland, 1988). Para estimar la producción de carbono por unidades de área y tiempo, emitida por el manglar a nivel de suelo, se estudiará el comportamiento de la respiración, que incluye factores como la materia orgánica, organismos edáficos y raíces (Lloyd & Taylor, 1994).

En el Capítulo 1. Los Manglares y su relación con el Cambio Climático. Se habla de manera general, cual es el comportamiento de los manglares ante el cambio climático, la contribución del CO₂ como gas de efecto invernadero más impactante y las medidas tomadas por los gobernantes.

En el Capítulo 2. Área de estudio. Describe la zona donde se realiza la investigación, las características que posee el área y las especies predominantes vegetales y animales.

En el Capítulo 3. Metodología e instrumentación. Se describe los parámetros establecidos para empezar el estudio, los equipos utilizados para realizar las mediciones y las funciones del software para análisis la data tomada en campo.

En el Capítulo 4. Resultados. Se presenta la data recopilada de los equipos de medición, el análisis estadístico y la aplicación de los diferentes modelos matemáticos para conocer los resultados presentes en el manglar.

CAPÍTULO 1: LOS MANGLARES Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO

Para poder exponer la importancia que posee el estudio de los ecosistemas marino-costeros como mecanismo para mitigar el cambio climático, es necesario entender los conceptos fundamentales y las medidas tomadas hasta el momento, por los organismos nacionales e internacionales.

1.1. Cambio Climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su primer artículo, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (Díaz Cordero, 2012; Naciones Unidas, 1992; Stocker, y otros, 2013).

Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), es la alteración del estado del clima que se puede determinar (por ejemplo, por medio de pruebas estadísticas), diferencias en su media y/o cambios en sus características, que persisten durante largos periodos de tiempo, generalmente décadas o más.

El cambio climático puede derivarse de procesos naturales internos o por influencias externas, como variaciones en los ciclos solares, las erupciones volcánicas o los cambios antropógenos constantes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo (Stocker, y otros, 2013).

De las descripciones en el panorama del IPCC, se expone que el cambio climático condiciona gradualmente el desarrollo en muchas áreas. Las proyecciones actuales del cambio climático global han resaltado que se afectará a millones de personas especialmente a las de escasos recursos y poca resiliencia (Ministerio de Ambiente, 2019; Ros García, Irastorza Ruigómez, Gonzáles Lezcano, & Garnica Betrán, 2019).

El IPCC pronostica que, por medio del cambio climático, los lugares más sensibles presentarán malnutrición y enfermedades derivadas; además los expertos consideran que se generaran riesgos como inundaciones o sequías para la población, siendo mayor afectadas áreas donde el crecimiento demográfico incrementa la urbanización no planificada (Ministerio de Ambiente, 2019).

Los datos medidos y mezclados a nivel global de la temperatura en la superficie terrestre y oceánica indican un aumento en tendencia lineal de 0.85 [0.65 a 1.06] °C entre 1880 - 2012 (Ros García, Irastorza Ruigómez, Gonzáles Lezcano, & Garnica Betrán, 2019).

Más de la mitad del aumento observado en la temperatura de la superficie entre 1951 - 2010 es atribuible a aumentos en las concentraciones de gases de efecto invernadero y otros factores antropogénicos (Guerra Sosa, 2019; Quiñones, 2019).

El aumento del nivel del mar es uno de los principales cambios desde la época preindustrial en nuestro planeta. La tasa de elevación del nivel del mar ha aumentado constantemente, de 1.7 mm/año entre 1901 y 2010, a 2.0 mm/año entre 1971 y 2010 y 3.2 mm/año desde 1993 a 2010, siendo este último periodo atribuido a factores tales como: 1.1 mm/año debido a la expansión térmica, 0.76 mm/año al derretimiento de los glaciales, 0.33 mm/año al deshielo de Groenlandia, 0.27 mm/año de la capa de hielo de la Antártida y 0.38 mm/año al incremento del agua embalsada; la suma de estos cinco elementos es de 2.84 mm/año (Ros García, Irastorza Ruigómez, Gonzáles Lezcano, & Garnica Betrán, 2019).

Proyecciones recientes pronostican un aumento adicional de 90 a 130 cm para finales del siglo XXI (Guerra Sosa, 2019).

1.2. Gases de efecto Invernadero

El fenómeno natural que permitió la vida en el planeta es el efecto invernadero, provocado por la presencia de gases en la atmósfera, que le permite conservar y mantener el calor que recibe del sol, manteniendo la temperatura dentro de sus límites (Serrano & Núñez, 2009; Trespalacios, Blanquicett, & Carrillo, 2018). Sin las concentraciones naturales de estos gases en la atmósfera, la temperatura superficial promedio de la Tierra sería de unos $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la vida en el planeta no podría existir (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007; Serrano & Núñez, 2009).

Según el IPCC los gases de efecto invernadero (GEI) son componentes de la atmósfera, ya sean naturales o antropogénicos, que absorben y emiten radiación en ciertas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes (Stocker, y otros, 2013).

Algunos GEI son de origen natural, pero se ven afectados directa o indirectamente por las actividades del ser humano. Los principales gases naturales son: vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), ozono (O_3), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007; Stocker, y otros, 2013).

La atmósfera también contiene algunos GEI completamente antropogénicos, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, que están regulados por el Protocolo de Montreal (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007). Además del CO₂, N₂O y CH₄, el Protocolo de Kyoto incluye los GEI hexafluoruro de azufre (SF₆), hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos (PFC) (Stocker, y otros, 2013).

Por sí mismo los GEI no representan una amenaza para la vida en la Tierra, sin embargo, diversas actividades humanas han provocado su aumento.

Con el Tercer Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero (TINGEI), los mayores aportes de GEI, siendo el transporte en el sector energético el mayor contribuyente a las emisiones de CO₂ con un estimado cerca al 60 % del total; le sigue el subsector de la energía con alrededor del 20 %, y estas cifras muestran la importante contribución de los vehículos privados, el transporte público y el transporte de mercancía a las emisiones de CO₂ (Ministerio de Ambiente, 2019).

La contribución potencial de los GEI al calentamiento global promedio en la superficie de la Tierra oscila entre 0.5 °C a 1.3 °C entre los años 1951 - 2010. Con las contribuciones humanas a estos gases en forma de aerosoles y sustancias naturales como la ceniza volcánica y la variabilidad interna natural, se acercan a 0.6 °C a 0.7 °C durante dicho tiempo (Sugasti, 2019).

Las emisiones antropogénicas de CO₂ entre los años 1750 - 2011 han sido de 555 GtC (1 GtC = 3.67 Gigatoneladas de CO₂), donde 375 GtC son debido a los combustibles fósiles y producción de cemento y 180 GtC a la deforestación y cambio de uso del suelo (Ros García, Irastorza Ruigómez, Gonzáles Lezcano, & Garnica Betrán, 2019). De las 555 GtC unas 240 GtC permanecen en la atmósfera, lo que ha contribuido al incremento de la concentración de CO₂ desde 280 ppm en la época preindustrial a 391 ppm en 2011 y a más de 400 ppm en 2016, 155 GtC se encuentran en el océano y 160 GtC en los ecosistemas de la tierra.

La disolución de los 155 GtCO₂ adicionales en el océano ha provocado una disminución del pH de 0.1 en la superficie de este (Ros García, Irastorza Ruigómez, Gonzáles Lezcano, & Garnica Betrán, 2019).

En el Quinto Informe de Evaluación (AR5), el IPCC presentó las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés), que se utilizan para elaborar proyecciones climáticas basadas en diferentes dimensiones socioeconómicas. Las RCP describen los cambios esperados en las variables climáticas de cuatro escenarios diferentes en términos de emisiones de GEI, concentraciones atmosféricas, emisiones de contaminantes atmosféricos y uso de la tierra (Ministerio de Ambiente, 2022; Ros García, Irastorza Ruigómez, Gonzáles Lezcano, & Garnica Betrán, 2019).

Las proyecciones de concentraciones de CO₂ para el año 2100 usando RCP, tienden a ser más altas que las concentraciones actuales, debido al aumento acumulativo de las emisiones durante el siglo XXI (Sugasti, 2019).

1.3. Legislación Panameña

1.3.1. Marco legal sobre Cambio Climático

Se estima que es muy probable que la principal causa de las variaciones climáticas observadas y las afectaciones al medio ambiente en las últimas décadas sea el resultado del incremento global de las actividades humanas (Sugasti, 2019).

Para controlar el impacto humano en la agudización de la crisis climática, la implementación de acuerdos internacionales es de gran importancia.

Por esta razón, uno de los acuerdos ambientales internacionales es el Protocolo de Montreal (del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono) relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono, y que fue adoptado el 16 de septiembre de 1987 y entró en vigor el 1 de enero de 1989.

Desde entonces ha sido revisado y complementado varias veces. Orientado a controlar el consumo y la elaboración de productos químicos que contienen cloro y bromo que destruyen la capa de ozono estratosférico, como CFC, los halones, y los productos químicos de transición menos tóxicos, como los hidroclorofluorocarburos (HCFC) (IPCC, 2013; Olivera, 2022).

El Protocolo de Montreal entró en vigor el 1 de enero de 1989 en Panamá. Fue aprobado por la Ley N°7 del 3 de enero de 1989, con el objetivo de controlar la producción y consumo de algunos químicos producidos industrialmente que son liberados hacia la atmósfera y causan el deterioro de la capa protectora de la tierra de la mayor parte de la radiación ultravioleta del sol (Autoridad Nacional de Aduanas, 2016).

En la serie de medidas tomadas a favor del movimiento ambiental, se puede citar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que fue adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y firmada el mismo año en la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro, por más de 150 países más la Comunidad Europea, la citada convención entró en vigor en marzo de 1994. Su propósito es estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera para prevenir cambios antropogénicos en el sistema climático global (IPCC, 2013).

La República de Panamá ratificó la CMNUCC por la Ley N°10 del 12 de abril de 1995 y compromete al Estado panameño a proteger el sistema climático para el beneficio de las presentes y futuras generaciones. El país debe presentar informes nacionales de las emisiones antropogénicas, donde se incluyen los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) que contabiliza las emisiones y absorciones de GEI antropogénicas del territorio nacional, incluyendo los administrativos y las zonas marinas en los cuales el país tiene jurisdicción, durante un período de tiempo específico, generalmente correspondiente a un año calendario y las medidas adoptadas para prevenir y mitigar el cambio climático (Ministerio de Ambiente, 2018; Ministerio de Ambiente, 2020).

La CMNUCC fue uno de los primeros compromisos ambientales regulatorios para abordar específicamente el cambio climático global, dando paso al Protocolo de Kyoto y más tarde al Acuerdo de París.

El Protocolo de Kyoto fue adoptado en 1997 en Kyoto, Japón, en la tercera sesión de la Conferencia de las Partes (CP) de la CMNUCC y entró en vigor el 16 de febrero de 2005 como el primer tratado global para reducir emisiones de GEI (IPCC, 2013).

Su primera fase tiene como objetivo reducir estas emisiones a un 5 % por debajo de los niveles de 1990 entre 2008 - 2012 y la segunda fase, que comenzaría en 2013 con la Enmienda de Doha y duraría hasta 2020, cuando los países se comprometían a una reducción de al menos un 18 % tomando 1990 como referencia (BBVA, 2021; Rodrigo, 2020). Cabe resaltar que esta Enmienda solo consiguió entrar en vigor en 2020 cuando una gran cantidad de países la aceptaron formalmente.

En Panamá, la Ley N°88 del 30 de noviembre de 1998 ratificó el Protocolo de Kyoto y fue la Ley N°38 de junio de 2015 que aprobó la Enmienda de Doha al Protocolo de Kyoto, adoptada en Doha el 8 de diciembre de 2012; con el fin de reducir las emisiones totales de GEI a un nivel no inferior al 18 % (Ley No. 38 de 3 de junio de 2015). Este protocolo es sustituido actualmente por el Acuerdo de París.

El Acuerdo de París se negoció en la COP21 de París, adoptada el 12 de diciembre de 2015 y entra en vigor de manera oficial el 4 de noviembre de 2016, incentiva a los países a responder de manera más activa a la amenaza del cambio climático y a mantener el aumento de las temperaturas medias globales por debajo de los 2 °C en los niveles preindustriales y limitar el aumento de la temperatura a 1.5 °C, lo que evitará el colapso climático (United Nations Climate Change, s.f.).

Panamá ratifica el Acuerdo de París, por medio de la Ley 40 de 12 de septiembre de 2016. Este acuerdo promueve el apoyo a los países en desarrollo con los objetivos de reducir las emisiones de los GEI para equilibrar las emisiones antropogénicas y proteger la capacidad de absorción de los sumideros (Sugasti, 2019).

Desde el punto de vista nacional, el tema ambiental está definida a través de la Ley General de Ambiente (Ley No. 41 de 1 de julio de 1998), la cual crea la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM hoy MiAmbiente), identificando los principios y lineamientos de la política ambiental nacional y los mecanismos institucionales de gestión ambiental (Ministerio de Ambiente, 2018).

También se destacan: La Unidad de Cambio Climático y Desertificación, creada por el Decreto Ejecutivo N°163 de 22 de agosto de 2006, La Política Nacional de Cambio Climático (PNCC), aprobada por el Decreto Ejecutivo N°35 de 26 de febrero de 2007; El Comité Nacional de Cambio Climático de Panamá (CONACCP), aprobado por el Decreto N°1 del 9 de enero de 2009 y modificada por el Decreto N°52 del 29 de enero de 2013. Para la implementación de sistemas de coordinación con el sector público y la sociedad civil en temas específicos al cambio climático tratado en los acuerdos internacionales: la adaptación y la mitigación (Ministerio de Ambiente, 2018).

1.3.2. Proyectos

El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrentan los países, y Panamá no es la excepción. El territorio panameño muestra ambiciones para enfrentarse y afrontar los riesgos climáticos actuales. Algunos de los planes estratégicos que se han desarrollado en miras al cambio climático son:

- Estrategia Nacional de Cambio Climático, 2050: La estrategia tiene como objetivo crear una hoja de ruta que conduzca hacia una economía baja en carbono a través de medidas de mitigación y adaptación, lo que a su vez permitirá contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Para ello, se han realizado varios ajustes en la legislación ambiental para atender los nuevos desafíos ambientales con el objetivo de fortalecer al país. (Ministerio de Ambiente, 2019).
- Plan Nacional de Género y Cambio Climático de Panamá: Tiene como objetivo fortalecer la capacidad del país para integrar una perspectiva de género en los procesos, políticas, estrategias, planes e instrumentos de gestión ambiental y acción climática, dirigidos a mantener el estatus de carbono negativo al 2050. (Ministerio de Ambiente, 2022).
- Plan de enfriamiento de Panamá: Es una herramienta que presenta una serie de actividades necesarias para lograr que el sector de refrigeración y aire acondicionado (RAC) se desarrolle de forma sostenible, incorporando la eficiencia energética y sin afectar al medio ambiente (Ministerio de Salud y Unidad de Ozono, PNUD, 2020).

- Contribución Determinada a Nivel Nacional de Panamá (CDN1), primera actualización: Informe presentado en el 2016, con su primera actualización en 2020, en línea con los compromisos adquiridos ante la CMNUCC y el Acuerdo de París, muestra la evolución de su acción climática desde la gestión ambiental a una gestión orientada a la descarbonización económica y el crecimiento de la resiliencia climática a nivel nacional, local y sectorial (Ministerio de Ambiente, 2020).
- El Plan Nacional de Acción Climática (PNAC): A largo plazo, es una herramienta de planificación importante para impulsar las ambiciones nacionales y sectoriales de cambio climático de nuestro país y tiene como objetivo promover y garantizar la implementación de la CRC1 actualizada, para lograr la ambición de desarrollo bajo en CO₂. Permiten asegurar el cumplimiento de los compromisos ante el Acuerdo de París. Fue adoptada por el Decreto Ejecutivo N°10 de 16 de junio de 2022 (Ministerio de Ambiente, 2022).

1.3.3. Marco legal sobre los Manglares

El cambio climático global y la expansión urbana en las áreas costeras han creado condiciones estresantes que deben tenerse en cuenta al diseñar proyectos de restauración y reforestación de humedales costeros (Rivera-De Jesús, 2019).

Los artículos 119 y 120 de la Constitución Política de la República de Panamá de 1972 tratan temas ambientales que afectan al país y a la comunidad en el territorio nacional, los cuales deben prevenir la contaminación ambiental, mantener la estabilidad y proteger a los ecosistemas. Por otro lado, el Estado se compromete a garantizar el uso y aprovechamiento racional de los bosques, para asegurar que los bosques se conserven y mejoren (ANAM & ARAP, 2013).

En particular, la Ley 41 del 1 de julio de 1998, Ley General del Ambiente, en el artículo 95, la ANAM (MiAmbiente) y la Autoridad Marítima de Panamá priorizan en sus políticas la protección del medio marino que es esencial para la vida y productividad, como arrecifes de coral, humedales y otras áreas de reproducción y cría (ANAM & ARAP, 2013; Ley 41 del 1 de julio de 1998).

Otras autoridades gubernamentales, como el Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial y los municipios, tienen el deber de mantener la integridad de los espacios públicos y ponerlos a disposición del uso común para el desarrollo y crecimiento urbano, tal como lo dispone la Ley 6 del 1 de febrero de 2006, artículos 27 y 28. Estas son áreas públicas protegida por el Estado: playas, servidumbres, orillas de ríos, manglares, terrenos de bajamar (ANAM & ARAP, 2013; Ley No.6 de 1 de febrero de 2006).

Con la Ley 44 del 23 de noviembre de 2006, se creó la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP), entidad estatal que vela por el cumplimiento de las leyes relativas a los recursos acuáticos y a los ecosistemas marino-costeros. Como uno de sus principales objetivos, la adopción de prácticas responsables en el uso racional y sostenible de los recursos, respetando los ecosistemas y la biodiversidad, con el fin de garantizar un ambiente sano y seguro (ANAM & ARAP, 2013).

Mediante el Resuelto 1 del 29 de enero de 2008, la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá establece como zonas especiales de manejo marino-costero a las áreas de humedales, específicamente a los manglares del territorio panameño. Se determina que dentro de estas zonas especiales de manejo queda prohibido la tala, el uso y comercialización de cualquier humedal marino-costero, modificación del suelo o construcción de obras ingenieriles o de cualquier otro tipo que interrumpa el flujo hídrico con el que cuenta los humedales (ANAM & ARAP, 2013).

Luego, entró en vigor la Ley 80 del 31 de diciembre de 2009, que reconoció el derecho de posesión y reguló la titulación de tierras para su aprovechamiento óptimo. En el cual se excluye la titulación las áreas de manglar y áreas protegidas. No obstante, no se aplica a los procedimientos de titulación realizados antes de la aprobación de la ley (ANAM & ARAP, 2013; Ley 1 de 2 de febrero de 2015).

Como resultado, actualmente existen proyectos privados en varias áreas protegidas, como la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Saneamiento de la Bahía de Panamá en los alrededores del manglar.

La ley 1 de 2 de febrero de 2015, que declara área protegida al refugio de vida silvestre Sitio Ramsar Humedal de la Bahía de Panamá. Dictamina en el artículo 22, que toda persona con título de propiedad o derechos posesorios previos al 11 de febrero de 2009 y que se encuentre dentro de los límites del manglar, debe adoptar el Plan de Manejo de las normativas del Humedal elaborado por la ANAM y demás legislaciones vigentes, garantizando las características del ecosistema (Ley 1 de 2 de febrero de 2015).

Por otra parte, uno de los objetivos específicos de dicha ley es asegurar la integridad de los humedales, manteniendo su función de almacenamiento y secuestro de carbono, como adaptación al cambio climático.

1.3.4. Convenios Internacionales de protección a los manglares

Panamá ratifica el Convenio Bonn mediante la Ley 5 del 3 de enero de 1989, la cual aprueba la Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias De Animales Silvestres; que compromete al estado panameño a tomar medidas para la preservación de las especies y conservación de su hábitat, como lo son los manglares (ANAM & ARAP, 2013).

Los manglares de la Bahía de Panamá por ser un punto estratégico para la diversidad biológica, fue declarado área protegida en la lista de Ramsar (Acuerdo intergubernamental sobre el medio ambiente). Por ello, Panamá como país signatario de la Convención Ramsar por medio la Ley 6 del 12 de enero de 1989, la cual aprueba la Convención de Ramsar sobre los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas; tiene el deber de cuidar y proteger los humedales existentes en la zona (ANAM & ARAP, 2013).

Siguiendo con medidas especiales para la conservación de la biodiversidad, se implementa la Ley 2 del 12 de enero de 1995, la cual aprueba el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Esta ley hace énfasis en la protección de los ecosistemas en las áreas protegidas y alienta a las partes a promover programas de educación y sensibilización a la sociedad en lo que respecta a la preservación y utilización sostenible del entorno natural (ANAM & ARAP, 2013).

1.4. Manglares

Los manglares pueden definirse como ecosistemas diversos con un conjunto o grupo de árboles, arbustos, matorrales, algunos helechos y/o palmeras, cuyos principales representantes son los árboles de mangle, que crecen únicamente en las costas tropicales y subtropicales, siendo así capaz de crecer en agua salada (ANAM & ARAP, 2013).

Se estima que los manglares ocupan apenas un 3 % de la superficie terrestre (ANAM & ARAP, 2013). Ofrece importantes servicios como son: pesca artesanal, pesca industrial en la zona económica exclusiva, turismo ecológico, purificación de las aguas, protección contra tormentas, marejadas e inundaciones y, por último, pero no menos importante alta capacidad como sumideros y reservorios de carbono (Ministerio de ambiente & PNUP, 2017).

Los lugares propicios para el desarrollo de extensiones de manglares son los litorales con poca pendiente donde la marea penetra más fácilmente. En las costas deltaicas húmedas suelen encontrarse los mayores yacimientos de bosques de manglares que se extienden por decenas de kilómetros hacia tierra adentro (Guerra Sosa, 2019).

En general, como se mencionó anteriormente, la distribución de estos ecosistemas se limita a la costa, donde las mareas suelen inundarlos. Dependiendo de la ubicación de la costa, se pueden encontrar: los manglares de franja, ubicados cerca del agua y casi sumergidos durante todas las mareas; los manglares de cuenca o manglares chaparros son encontrados en zonas internas, son inundados solamente durante las mareas vivas o durante eventos esporádicos como las marejadas ocasionadas por tormentas tropicales (Boone Kauffman, Donato, & Adame, 2013).

Hay al menos 68 especies de mangle. Su centro de diversidad es la región del Indo-Pacífico, donde se han registrado 52 especies de manglares y 268 especies que se pueden encontrar en manglares y otros ambientes. Solo se encuentran alrededor de 10 especies en las Américas, incluido el mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle salado (*Avicennia bicolor*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) y mangle amarillo (*Rhizophora harrisonii*) (Boone Kauffman, Donato, & Adame, 2013).

Se estima que los bosques de manglares del mundo cubren entre 14 y 24 millones de hectáreas. Pero estimaciones más recientes sugieren un valor más real, cercano al mínimo estimado de 13.8 millones debido a las mejoras en los métodos de medición, y las pérdidas por la deforestación y la conversión de manglares. (Boone Kauffman, Donato, & Adame, 2013).

Los bosques de manglares más grandes se encuentran en Asia con 6.8 millones de hectáreas, lo que representa del 34 % al 42 % del área total mundial. Indonesia tiene casi el 23 % de los manglares del mundo, seguida de África (20 %), Norte y Centro América (15 %), Oceanía (12 %), Sudamérica (11 %) y Australia (7 %). Los manglares del sudeste asiático se encuentran entre los más desarrollados y posiblemente los más diversos del mundo (Boone Kauffman, Donato, & Adame, 2013).

1.4.1. Flujo de CO₂ en manglares a nivel global

Los niveles de CO₂ encontrados en los manglares puede brindar información acerca de su impacto positivo o negativo a la atmósfera y a su vez, al cambio climático.

Por ello, fue necesario realizar una búsqueda de documentos recientes sobre el CO₂ en suelos de manglares en otras regiones del mundo, para luego estimar y comparar si las concentraciones de la Bahía de Panamá poseen relevancia en los eventos climático que se presentan en la actualidad. Se exponen los siguientes documentos:

- México (2021)

Artículo denominado “Dinámica de cambios de uso de suelo y estimación de CO₂ en manglares de la zona Marismas Nacionales, México”, por Alejandra Quintero, Wensesleo Plata, Vicente Olimón, Sergio Monjardín y Xanath Nemiga.

El área se sitúa en la zona costera mexicana del océano Pacífico, con clima predominante cálido subhúmedo. Se tomaron como referencia los cambios en la vegetación para estimar las emisiones de CO₂ mediante la biomasa y las raíces.

Se puso en práctica la guía elaborada por el IPCC, donde explica que se debe obtener el factor de emisión y el factor de absorción para estimar el CO₂ del sitio, por lo que se utilizó el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGEI, México).

Aplicando las ecuaciones brindadas por el IPCC para el período más reciente (2005 - 2015), la emisión fue de 145210 toneladas de CO₂e/ha en 10 años (Quintero, Plata, Olimón , Monjardín, & Nemiga, 2021).

- India (2019)

Artículo denominado “Diurnal and seasonal patterns of soil CO₂ Efflux from the Pichavaram mangroves, India, elaborado por P. Gnanamoorthy, V. Selvam, R. Ramasubramanian, R. Nagarajan, S. Chakraborty, Pramit Kumar Deb Burman y A. Karipot.

Se midió en la costa sureste de India en el periodo de (febrero 2016 a octubre de 2016), el clima en el área es subhúmedo con veranos calurosos y precipitación de 208 mm durante el período de estudio. Se utilizó un sistema automatizado de cámara de flujo de CO₂ del suelo, el LI-8100.

Los resultados de flujo de CO₂ del suelo fueron de (21.89 ± 11.86 ton CO₂/ha) en ocho meses, donde el mayor flujo era durante el verano y premonzón (lluvia de verano), y el flujo más bajo en época de monzón (lluvias torrenciales) (Gnanamoorthy, 2019) .

- China (2018)

Artículo titulado “Methane Emission from Mangrove Wetland Soils Is Marginal but Can Be Stimulated Significantly by Anthropogenic Activities”, por Xiawan Zheng, Jiemin Guo, Weimin Song, Jianxiang Feng y Guanghui Lin.

El estudio se realizó en dos manglares del sureste de China, Reserva Natural Nacional de Manglares del Estuario de Zhangjiang y la Reserva Natural Provincial de Manglares del Puerto de Qinglan, donde predomina el clima monzónico marino subtropical, con diferentes tipos de mangles como: *Aegiceras corniculatum*, *Kandelia obovata* Sheue, Liu & Yong y *Avicennia marina*.

Las mediciones se realizaron en Zhangjiang durante la temporada lluviosa de julio de 2013 y la temporada seca de febrero de 2014. En Qinglan las mediciones fueron en la temporada lluviosa de agosto de 2016 y la temporada seca de noviembre de 2017.

Los flujos del suelo se cuantificaron mediante la técnica de cámara estática, dando como resultado flujo de CO₂ de (0.00031 ± 0.00013 a 0.00311 ± 0.00088 ton/ha), donde los valores más bajos y elevados se registraron en los manglares del puesto de Qinglan durante la temporada lluviosa en el mes de agosto de 2016 (Zheng, 2018).

- Estados Unidos (2018)

Artículo denominado “Wetland Soil CO₂ Efflux Along a Latitudinal Gradient of Spatial and Temporal Complexity”, por L.T. Simpson, T.Z. Osborne y I.C. Feller.

Se colocaron 10 sitios de monitoreo a lo largo de la costa este de Florida, se realizó la cuantificación en 4 tipos de vegetación: manglares en transición, marismas saladas puras, manglares puros y manglares interiores puros.

Donde las especies de mangle, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*, predominaban el área sur de la zona, con temperaturas promedio en invierno de 21.9 ± 0.2 °C y en verano de 27.7 ± 1.1 °C, en los meses de julio de 2015 y enero de 2016.

Las mediciones se realizaron con el LI-6400 portable photosynthesis system, anexada la cámara de flujo de CO₂ de suelo, adicional se midió la biomasa de las raíces de los manglares, calculándola con la fórmula general de Komiyama. El resultado de flujo de CO₂ fue de $(1.30 \pm 0.21$ ton/ha), donde los valores en julio son más elevados que, en enero, en todas las parcelas (Simpson, 2018).

1.4.2. Flujo de CO₂ en manglares de Panamá

Las condiciones presentadas en las extensiones de costas de Panamá son adecuadas para que crezca el manglar, de tal forma no es sorprendente la gran variedad de éstos e inclusive se piensa que los manglares panameños son los más diversos del continente americano (ANAM & ARAP, 2013).

Debido a las condiciones geográficas y climáticas favorables, de las 65 especies de mangle no híbridadas identificadas en el mundo, 11 se encuentran en costas panameñas, además de la *Nypa fruticans* como especie introducida (ANAM & ARAP, 2013; Guerra Sosa, 2019).

Se calcula que en Panamá los manglares cubren el 2.3 % de la superficie total del país, lo cual representa un 5.2 % del área total de bosques; no obstante, entre los años 1969 al 2007 se ha presentado una disminución de la cobertura de manglares de unas 360 mil hectáreas acerca de 170 mil hectáreas (Guerra Sosa, 2019). Ver figura 1.

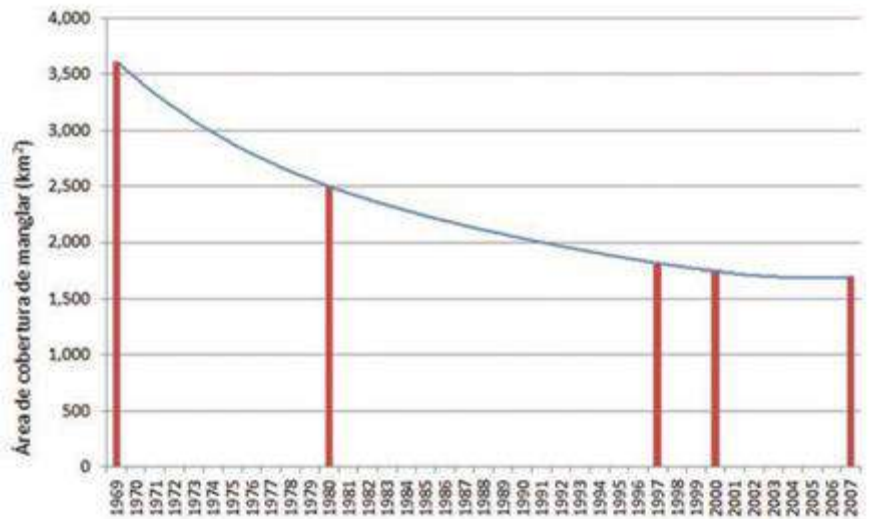


Figura 1: Disminución de la cobertura de manglares en Panamá, 1969-2007.

Fuente: (ANAM & ARAP, 2013).

A nivel nacional, Panamá cuenta con más de 177 mil hectáreas de manglar, que contienen más de 52 millones de toneladas de carbono. Los bosques de manglares más grandes del país cubren la Bahía de Panamá, el Golfo de San Miguel y el Golfo de Chiriquí. Más del 35 % de los manglares pertenecen actualmente al sistema de Áreas Protegidas (SINAP) del Ministerio de Ambiente (MIAMBIENTE, 2017).

Actualmente se estima que 1.6 millón de toneladas/ megatonelada de dióxido de carbono CO₂ por año son absorbidas por todos los manglares de Panamá.

A diferencia de la mayoría de los bosques, la capacidad de almacenamiento del suelo de los manglares no está limitada. En cambio, los manglares almacenan continuamente carbono en el suelo, que puede almacenarse durante siglos (MIAMBIENTE, 2015).

Almacenar el carbono absorbido en su biomasa y suelo es la segunda función más importante para mitigar el cambio climático global; Los manglares globales representan el 1.6 % de la biomasa total de los bosques tropicales, aunque solo ocupan el 0.6 % del área total de los bosques tropicales (MIAMBIENTE, 2015).

Se cree que los manglares en Panamá almacenan una gran cantidad de carbono situada en la parte superior del suelo, estimada en 48 millones de toneladas, en su biomasa aérea. También se estima que el suelo de los manglares de Panamá almacena 29 millones de toneladas adicionales de carbono (MIAMBIENTE, 2015).

1.5. Ciclo de Carbono e importancia de la respiración del suelo

El suelo de los manglares posee la capacidad de acumular el carbono, 10 veces más que los bosques templados y 50 veces más que los bosques tropicales.

Pero los manglares han sufrido la continua disminución global con pérdidas de hasta el 35 % de cobertura, como producto de las actividades antropogénicas que han provocado la liberación de altas concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) (Cisneros de la Cruz, y otros, 2021).

En un manglar sano existen flujos naturales de CO₂ hacia dentro y fuera del sistema. Ver figura 2.

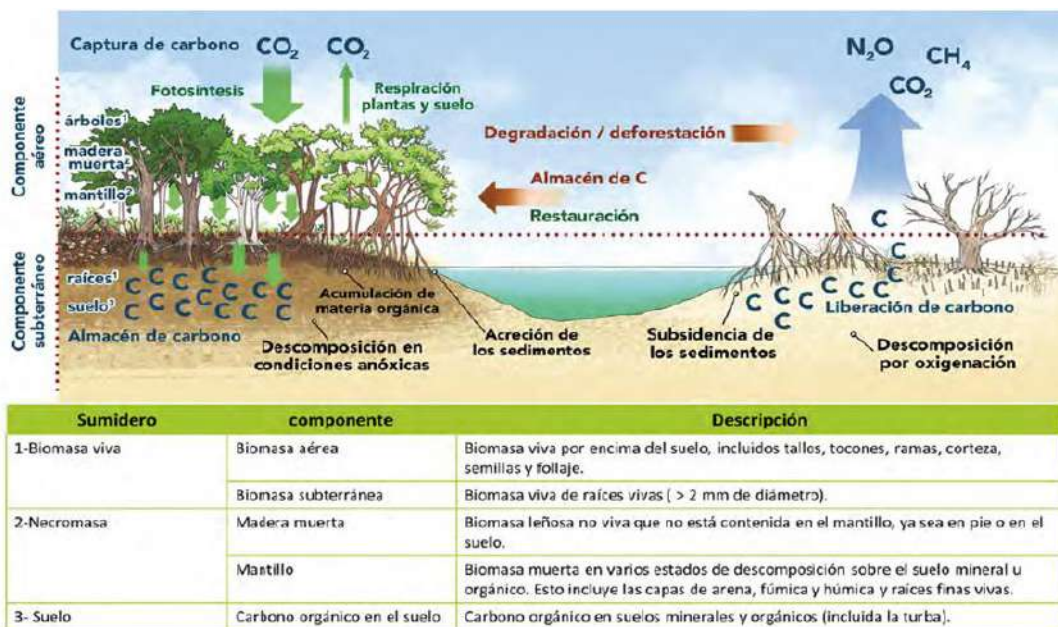


Figura 2: Componentes en el almacén y captura de CO₂ en el manglar y esquematización de los flujos de carbono en un manglar conservado y degradado. Definiciones de los componentes del IPCC (2003).

Fuente: (Cisneros de la Cruz, y otros, 2021).

La entrada al sistema es el proceso a través del cual el CO₂ es transformado por medio de la fotosíntesis en biomasa. El carbono capturado en la materia orgánica puede ser generado en el mismo sitio (autóctono) o puede venir de otros ecosistemas cercanos (alóctono; primordialmente en forma de sedimentos). En ambos casos, en los sedimentos, la materia orgánica comienza a ser acumulada por largos periodos de tiempo y permanece en el suelo por la alta sedimentación y las condiciones anóxicas favorecidas por la hidrología de cada sitio (Cisneros de la Cruz, y otros, 2021).

El carbono en el manglar es almacenado en la biomasa aérea, madera muerta, mantillo, biomasa subterránea y en el suelo, que es el principal almacén que puede, incluso, remontarse al periodo Holoceno y es considerado como “bombas de carbono”. Ver figura 2.

Como parte del balance en el flujo de carbono, la salida del carbono consiste en la liberación de pequeñas cantidades de CO₂ a la atmósfera por medio de la respiración vegetal y del suelo; no obstante, cuando este ecosistema es deforestado o degradado, la materia orgánica del suelo es expuesta al proceso de oxidación y el sitio pasa de ser un sumidero a ser una fuente potencial de emisión de GEI, tales como CO₂, CH₄ y N₂O (Cisneros de la Cruz, y otros, 2021).

CAPÍTULO 2: ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se sitúa en la Bahía de Panamá, ecosistema conformado por una variedad de bosques, manglares, fangales, estuarios y ciénagas. Donde se encuentra el manglar de Juan Díaz, rodeado del desarrollo urbanístico de la ciudad y a su vez impactado por las actividades aledañas.

2.1. Humedal Bahía de Panamá

La Bahía de Panamá se ubica al sur de la provincia de Panamá y se extiende su superficie desde el río Caimito (Distrito de Panamá) hasta el río Santa Bárbara (Distrito de Chimán) (Cárdenas-Castillero, 2018; Kaufmann, 2012).

Su área es de 85664 ha + 5628.74 m², de las cuales 39703 ha + 6154.70 m² corresponde a la zona terrestre y 45960 ha + 9474 m² forman parte de la zona marina; además de incluirse una zona de amortiguamiento de 50 m entre la superficie terrestre más extensa del área y los terrenos colindantes (Ley 1 de 2 de febrero de 2015, 2015).

2.1.1. Geología

La zona de estudio ocupa una región de topografía de costas, situada entre la Cordillera Volcánica Central del Oeste de Panamá, zona montañosa del Chagres y Macizo Majé (Cárdenas-Castillero, 2018). La siguiente figura 3, presenta las formaciones geológicas del Humedal Bahía de Panamá.



Figura 3: Geología de las cuencas costeras con delta en el Humedal Bahía de Panamá.

Fuente: (Cárdenas-Castillero, 2018).

El mapa geológico de Panamá, escala 1:250000, plantea que, una vez consolidado el istmo, este se consolidó en rocas volcánicas, plutónicas, metamórficas y sedimentarias. En el área del Humedal Bahía de Panamá predominan las formaciones volcánicas y sedimentarias; sin embargo, al norte de las cuencas hidrológicas con delta en los manglares del Humedal se identifican formaciones de origen plutónico (Cárdenas-Castillero, 2018).

2.1.2. Tipos de Suelo

El suelo del manglar se clasifica en orgánico, formado por la alta acumulación de restos orgánicos caracterizados por tener poco contenido de arcilla, limo y arena, se mantienen por procesos anaeróbicos y los nutrientes se liberan por la descomposición de la materia orgánica en las zonas aeróbicas (con una continua remineralización) e inorgánicos. (Cárdenas-Castillero, 2018).

2.1.3. Hidrología

La red hidrográfica del área posee un drenaje de tipo dendrítico (Audubon, 2002), con estuarios en desembocaduras rodeados de manglares en dirección a la vertiente del pacífico (Kaufmann, 2012).

Existen alrededor de 12 cuencas hidrológicas en zonas de la Bahía de Panamá, donde 5 de ellas cuentan con salidas directo a los manglares. Estos ríos son: Juan Díaz, Tocumen, Pacora, Bayano y los ríos situados entre la cuenca del Bayano y Santa Bárbara (Cárdenas-Castillero, 2018). Ver figura 4.



Figura 4: Cuencas con deltas hacia los manglares de la Bahía de Panamá.

Fuente: (Cárdenas-Castillero, 2018).

La cuenca hidrológica con mayor cercanía al área de monitoreo es el río Juan Díaz, que tiene una longitud aproximada de 22.5 km, con caudal de 5.7 m³/s y un área total de drenaje de 388 km². Unida a ella se encuentran los principales ríos como: Tapia, Caraño y Cabra (Cárdenas-Castillero, 2018).

Esta cuenca nace en Cerro Azul con una elevación máxima de 800 msnm (metros sobre el nivel del mar). Adicional a los humedales situados en la parte baja, se conforma con otros tres tipos de ecosistemas: bosque húmedo tropical, bosque muy húmedo premontano y bosque húmedo premontano, distribuido en la parte alta y media de la cuenca (Cárdenas-Castillero, 2018).

Es importante saber que el flujo de agua de las cuencas y la vegetación inundable dentro del manglar disminuye en el periodo de enero hasta abril, donde sucede la temporada seca en la provincia de Panamá (Audubon, 2002).

2.1.4. Vegetación

Se identifica en el Humedal Bahía de Panamá: albinas, manglares, fangales y vegetación baja inundable, esta distribución de la vegetación se observa en la figura 5.



Figura 5: Vegetación del Humedal Bahía de Panamá.

Fuente: (Cárdenas-Castillero, 2018).

El territorio de este ecosistema está cubierto en su mayoría por fangales (lodos producto de las mareas relacionadas con los manglares), con una superficie de 256585.6 hectáreas y manglares (formaciones naturales cerradas conformadas por vegetales arborescentes litorales) con 23103.7 hectáreas; mientras que la vegetación baja inundable (dominada por especies herbáceas y palmas), cubre un área de 1228.5 hectáreas y las albinas (áreas costeras bajas, cubiertas por vegetación herbácea y arbustiva, adaptada a los ambientes salobres), un área de 1349.2 hectáreas.

El área de fangos se localiza al sur de todo el Humedal Bahía de Panamá, entre la línea de costa y cota aproximada de 1.5 kilómetros más adentro permaneciendo parte de la misma sumergida bajo las aguas en marea alta.

En cuanto a los manglares, la mayor distribución se ubica en el delta de la cuenca del Río Bayano, en las cuencas del Río La Maestra y Río Hondo y en el delta de la cuenca del Río Chimán. Las albinas y la vegetación baja inundable se localizan al Este de la cuenca del Río La Maestra (Cárdenas-Castillero, 2018).

Según la clasificación de climas presentada por el Centro Regional Ramsar, el área de estudio posee dos tipos de clima: la parte oeste, desde la ciudad de Panamá hasta la boca del río Chinina, se encuentra dentro del clima tropical de sabana, con precipitación menor a 2500 mm; y la porción oriental, desde el río Chinina hasta el río La Maestra, está ubicada en un área de clima tropical húmedo, con precipitaciones mayores a 2500 mm; los cuales son los climas predominantes en la vertiente Pacífica del país (Cárdenas-Castillero, 2018; Sociedad Audubon de Panamá, 2002).

2.1.5. Cobertura vegetal actual

Si bien es cierto que, Panamá tiene la mayor variedad de especies de mangle entre los países de América; la contaminación por desechos, la mala calidad de agua y las actividades antropogénicas han ejercido presión sobre los suelos del manglar; por lo que se ha visto afectado el crecimiento de las especies y por consiguiente la absorción y retención de carbono, explicó Olmedo Pérez, experto y químico ambiental (EFE, 2019).

También explicaba que en un estudio realizado durante cuatro años se obtuvo que la retención de carbono, con respecto al valor teórico de 2000 ton/ha de carbono azul, solo dio como resultado un total de 613 ton/ha (EFE, 2019).

Esto posiblemente sea a consecuencia del evento ocurrido en el ecosistema durante el periodo (2015 - 2016), donde los manglares de la Bahía de Panamá sufrieron destrucciones de hasta el 70 % de su cobertura boscosa a causa del fenómeno meteorológico denominado El Niño, provocando fuertes sequias y altos niveles de salinidad, siendo el doble de lo que se encuentra en el agua de mar (ACAN-EFE, 2017).

Sin embargo, tras la muerte masiva de cientos de árboles de mangle, investigadores del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI, por sus siglas en inglés) han informado que el ecosistema se está recuperando, apreciándose nuevas plántulas y crecimiento de árboles jóvenes, luciendo una altura de hasta más de dos metros en menos de dos años (Ambiental, 2021).

Esta información se dio a conocer mediante el proyecto de investigación “Coastal and marine biodiversity resilience to extreme events in Central America and the Caribbean (CORESCAM)”, dirigido por Steven Paton, del Instituto Smithsonian y Omar López, investigador y profesor de la Universidad de Panamá (Ambiental, 2021).

2.2. Especies predominantes en el área de estudio

Como en todo ecosistema, algunas áreas se encuentran pobladas por especies animal o vegetal, predominando ciertos lugares más que otros, en busca de alimentos o simplemente un hogar para su protección o reproducción, por lo que se expondrá las especies mayormente vistas en el sitio de estudio.

2.2.1. Especies arbóreas

Las costas panameñas, donde la estacionalidad es menos pronunciada y los rangos anuales de precipitación van desde 2100 a 6400 mm, los árboles de manglar exceden los 35 m de altura y biomasa de 280 ton/ha. De las 172 mil hectáreas de manglares que poseen las costas panameñas, que representa el 5.6 % de la cobertura boscosa nacional, se encuentra distribuida en 166318 hectáreas en las costas del Pacífico y 5858 hectáreas en el Atlántico, representado el Área Protegida Humedal Bahía de Panamá 23103.7 ha.

Estos manglares están conformados por mangle rojo (*Rhizophora racemosa* y *Rhizophora mangle*), mangle salado (*Avicennia bicolor*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle piñuelo (*Pelliciera rhizophorae*) y helechos de manglar (*Acrostichum aureum* y *Acrostichum danaeifolium*) (Cárdenas-Castillero, 2018), Los cuales se detallan a continuación:

- Mangle rojo: tiene la capacidad de asimilar a una amplia gama de suelos, pero se desarrolla mejor en sedimentos finos de lodo de los estuarios fluviales. Son colonizadores de bancos de lodo, haciéndolos invasivos de manera oportunista con un alto potencial para invadir ambientes de mar adentro, siendo la especie dominante en las costas del Atlántico y del Pacífico tropical. En el Humedal Bahía de Panamá se observan dos tipos de mangles rojos: *Rhizophora mangle* y *Rhizophora racemosa* (Cárdenas-Castillero, 2018).

- Mangle salado: manglar típico del Pacífico centroamericano, comprendido entre la Bahía de Buenaventura en Colombia hasta la costa sur del Pacífico Mexicano. En Panamá ese mangle solo crece en la costa del Pacífico, en parches pequeños aislados siendo una especie únicamente de América Central. El tipo de mangle salado (*Avicennia bicolor*) posee similitud al mangle negro (*Avicennia germinans*). Tiene la corteza blanquecina o café grisáceo claro, sus raíces crecen alrededor de la base del tronco; las hojas son de forma elíptica y sin vello. El envés sí es algo veloso y generalmente está cubierto por cristales de sal, y el fruto es una cápsula redondeada y lisa de 4 cm de largo (ANAM & ARAP, 2013; Cárdenas-Castillero, 2018). Ver figura 6.



Mangle salado: hoja y flor.
Foto: Rolando Pérez, STRI, 2013.



Mangle salado: hoja y fruto.
Foto: Rolando Pérez, STRI, 2013.

Figura 6: *Avicennia bicolor*.

Fuente: (ANAM-ARAP, 2013).

- Mangle negro: especie de manglar de amplia distribución principalmente en las costas americanas. El nombre científico del mangle negro es *Avicennia germinans*. Es una especie que soporta sustratos fangosos, arenosos y rocosos prefiriendo suelos que son inundados periódicamente, densos, negros y pobres en oxígeno. Con corteza gris oscura, áspera, que se agrieta en placas rectangulares más oscuras que *Avicennia bicolor*. Tiene presencia de neumatóforos. Sus hojas son simples y opuestas con margen entero, tiene cristales de sal en ambas superficies. Sus flores son blancas. Florece y fructifica durante todo el año. El fruto posee una forma elíptica de 5 cm de largo, cubierto por una estructura con aspecto carnososo y esponjoso, y contiene una única semilla (ANAM & ARAP, 2013). Ver figura 7.

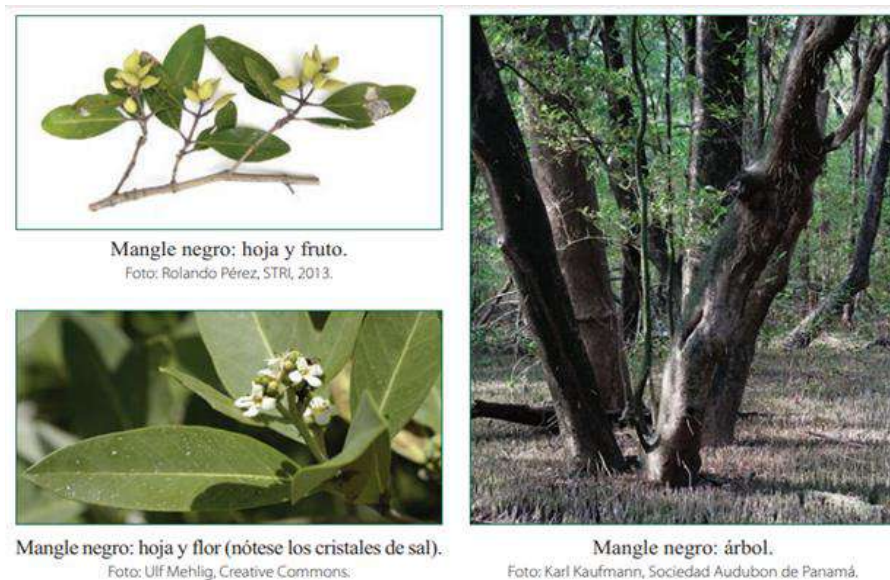


Figura 7: *Avicennia germinans*.

Fuente: (ANAM & ARAP, 2013).

- Mangle blanco: especie oportunista, que tolera las altas temperaturas del sol y presenta muchas semillas pequeñas, que flotan libremente, alcanzando lugares lejanos. El nombre científico del mangle blanco es *Laguncularia racemosa*. Sus semillas se arraigan fácilmente con una elevada germinación, lo cual forma a menudo manchones de plántulas de esta especie, tanto bajo sol como a la sombra. Sus raíces son poco profundas y crecen hacia arriba, alrededor de la base del tronco. Tiene corteza exterior gris o negra. Sus hojas son simples y opuestas. Sus frutos son de aspecto carnoso en forma de ovalo.
- Mangle piñuelo: el nombre científico del mangle piñuelo es *Pelliciera rhizophorae* que es una especie neotropical, la única especie de su género, cuya distribución actual es desde la costa del Pacífico americano y a las costas del caribe americano (Cárdenas-Castillero, 2018). Posee raíces tabloides que les dan estabilidad lateral, pero sobre suelos consolidados. Son árbol de hasta 15 metros de altura. Son reconocidos fácilmente, por tener raíces en forma de cono con pliegues alrededor de la base. Su tronco es recto, con corteza exterior gris o negra. Tiene hojas que salen directamente del tallo. Da flores y frutos durante todo el año, principalmente de mayo a diciembre. Sus flores son vistosas, de color blanco-rosado, con cinco pétalos cada una. Produce frutos leñosos, en forma de calabaza, con 7 a 10 cm de grosor; se tornan de color pardo rojizo cuando están viejos. Única especie en Panamá que es polinizada por los pájaros (ANAM & ARAP, 2013; Cárdenas-Castillero, 2018).

- Helecho de manglar: su nombre científico es *Acrostichum*, es un género pantropical y tiene cuatro especies, dos de las cuales se encuentran en el neotrópico: *Acrostichum aureum* y *Acrostichum danaeifolium*. Se encuentran típicamente en hábitats salobres o salinos cerca de las costas. Puede formar rodales densos después de la tala de manglares y en pantanos de agua dulce, pero también puede crecer más lejos en tierra húmeda (Cárdenas-Castillero, 2018). Ver figura 8.



Helecho de manglar.
Foto: Andrés Hernández, STRI, 2013.



Helecho de manglar.
Foto: Andrés Hernández, STRI, 2013.



Helechos de manglar.
Foto: Hans Hillewaert, Creative Commons.

Figura 8: *Acrostichum aureum*.

Fuente: (ANAM & ARAP, 2013).

2.2.2. Especies animales

El istmo de Panamá se beneficia de los manglares que posee en toda su extensión, especialmente por el manglar de la bahía de Panamá considerado por la Fundación Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés) como uno de los más intactos e importantes del mundo. Con una gran biodiversidad, albergando 25 especies de moluscos y crustáceos, 200 aves, 50 mamíferos y 74 peces (Kaufmann, 2012).

Mediante la ficha informativa Ramsar, presentada en el 2003 y actualizada en el 2020, el manglar estudiado es conocido por ser una parada importante para cientos de aves playeras migratorias que se posan en el territorio panameño durante su migración en la época de otoño.

También le brinda hogar a un 20 % de la población mundial de la especie Chorlo semipalmado (*Charadrius semipalmatus*), 8 % del Playero occidental (*Calidris mauri*) y más del 1 % de las especies Chorlo gris (*Pluvialis squatarola*), Playero semipalmado (*Calidris pusilla*), Playero aliblanco (*Catoptrophorus semipalmatus*) y Zarapito trinador (*Numenius phaeopus*) (Rodríguez, 2020). Ver figura 9.



Figura 9: Playero Menudo (*Calidris minutilla*), Plan de conservación para los humedales de la Bahía de Panamá.

Fuente: Sociedad Audubon de Panamá.

Por otro lado, los cangrejos violinistas son las especies más visibles en el sitio, especialmente en la temporada lluviosa, donde salen a la superficie y construyen sus madrigueras con el fango del lugar. Se dicen que hay alrededor de 27 especies de cangrejos violinistas en la Bahía de Panamá, más que en cualquier otro país (Kaufmann, 2012).

Durante las giras hacia el sitio, se pudieron observar trampas para cangrejos, lo cual es utilizada por ciudadanos de zonas aledañas para la caza y venta de esta especie. Ver figura 10.



Figura 10: Cangrejo violinista (*Uca*).

Fuente: Elaboración propia.

Más cerca a las costas se pueden observar especies acuáticas como: la corvina (*Cynoscion reticulatus*), camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) y la sierra (*Scomberomorus maculatus*), que también son extraídos por los pescadores para su venta.

Otras especies como el cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*), el mono araña centroamericano (*Ateles geoffroyi*), jaguar (*Panthera onca*) y tortuga caguama (*Caretta caretta*), fueron observados en el lugar y actualmente se conocen como animales amenazados (Kaufmann, 2012; Rodríguez, 2020).

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN

Primeramente, para ampliar el contenido de la investigación acerca de las mediciones de CO₂ en humedales, se realiza una revisión bibliográfica referente a proyectos desarrollados en otras regiones del país y del mundo. Acompañado de informaciones suministradas por organizaciones encargadas de velar por la conservación de los humedales en Panamá y así tener referencias de hechos o antecedentes del manglar que se está estudiando y conocer sobre su importancia.

Por otro lado, el trabajo de investigación forma parte del proyecto SENACYT FID2016-30 (<http://www.manglar-carbono.utp.ac.pa>), realizado por profesionales del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) de la Universidad Tecnológica de Panamá. El área de aplicación se centra en el manglar de Juan Díaz, zona cercana a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Programa Saneamiento de Panamá, con acceso directo desde las instalaciones de la planta. Considerando los permisos autorizados para el ingreso al área de estudio.

La zona de medición, al situarse en las costas de la Bahía de Panamá está propensa a encuentros inusuales como las de animales salvajes o personas extrañas, por lo que, se cuenta con el apoyo de las fuerzas del Servicio Nacional Aéreo Naval (SENAN) para la protección del personal del proyecto.

3.1. Parámetros establecidos

Una vez ingresado al manglar, a 800 metros de la entrada, aproximadamente, se encuentra una torre meteorológica con coordenadas $9^{\circ}00'51.7''$ N, $79^{\circ}27'10.6''$ W, que posee sensores que miden y registran regularmente variables climáticas del manglar. La torre tiene un radio de medición de 350 metros.

Se establecieron 3 parcelas de 5 x 5 m, para monitorear el flujo de CO_2 emitido del suelo. Adicional, se le asignaron las siglas **A** con coordenadas ($9^{\circ}00'51''$ N, $79^{\circ}27'10''$ W), **B** con coordenadas ($9^{\circ}00'49''$ N, $79^{\circ}27'8''$ W) y **C** con coordenadas ($9^{\circ}00'50''$ N, $79^{\circ}27'5''$ W), y se situaron a distancias (no mayor al rango de medición de la torre) de 115, 196 y 273 m, respectivamente.

En la figura 11 se aprecia el recorrido desde la entrada de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales a las diferentes zonas de medición y hacia la torre.



Figura 11: Recorrido del área de estudio hacia los sitios de monitoreo y la torre.

Fuente: Datos de coordenadas por GPS MAP 64s, Garmin. Elaboración propia en ArGIS Pro.

Las zonas de medición fueron elegidos por tener ciertas características que facilita el proceso de medición, como: terreno plano, poca saturación de agua y poca cobertura boscosa en el suelo. Además, de tener un máximo de 3 árboles de mangle predominantes (*Avicennia bicolor L* y *Avicennia germinans Standl*), de las cuales se les hizo las mediciones de diámetro a la altura de pecho (DBH, diameter at breast height por sus siglas en inglés).

En la tabla 1 se puede mostrar los árboles de mangle por sitio, sus nombres científicos, nombres comunes y los valores obtenidos del diámetro a la altura del pecho de cada uno de ellos.

Tabla 1: Nombres científicos y diámetros de los árboles de mangle incluidos.

Sitio	Nombre científico	Nombre común	DBH (cm)
A	<i>Avicennia bicolor</i>	Mangle salado	44
	<i>Avicennia bicolor</i>	Mangle salado	51
	<i>Avicennia bicolor</i>	Mangle salado	49
B	<i>Avicennia bicolor</i>	Mangle salado	48
	<i>Avicennia germinans</i>	Mangle negro	62
	<i>Avicennia bicolor</i>	Mangle salado	59
C	<i>Avicennia germinans</i>	Mangle negro	50
	<i>Avicennia germinans</i>	Mangle negro	65
	<i>Avicennia bicolor</i>	Mangle salado	7

Fuente: (Condit, Pérez, & Daguerre, 2010). Elaboración propia.

Se puede predecir a simple vista que la especie arbórea que predomina en las zonas tomadas para el análisis es el mangle salado en comparación al mangle negro. Las especies de *Avicennia bicolor* se encontraban en las áreas más secas del humedal y las *Avicennia germinans* en zonas saturadas de agua, por lo que era difícil su acceso.

Para iniciar las mediciones en las zonas establecidas, se nombraron a los árboles de los extremos como (a) y a los árboles del medio como (b); en ellas se colocaron 10 anillos distribuidos en el suelo, siendo ubicados uno al lado del otro, como se puede mostrar en la figura 12.

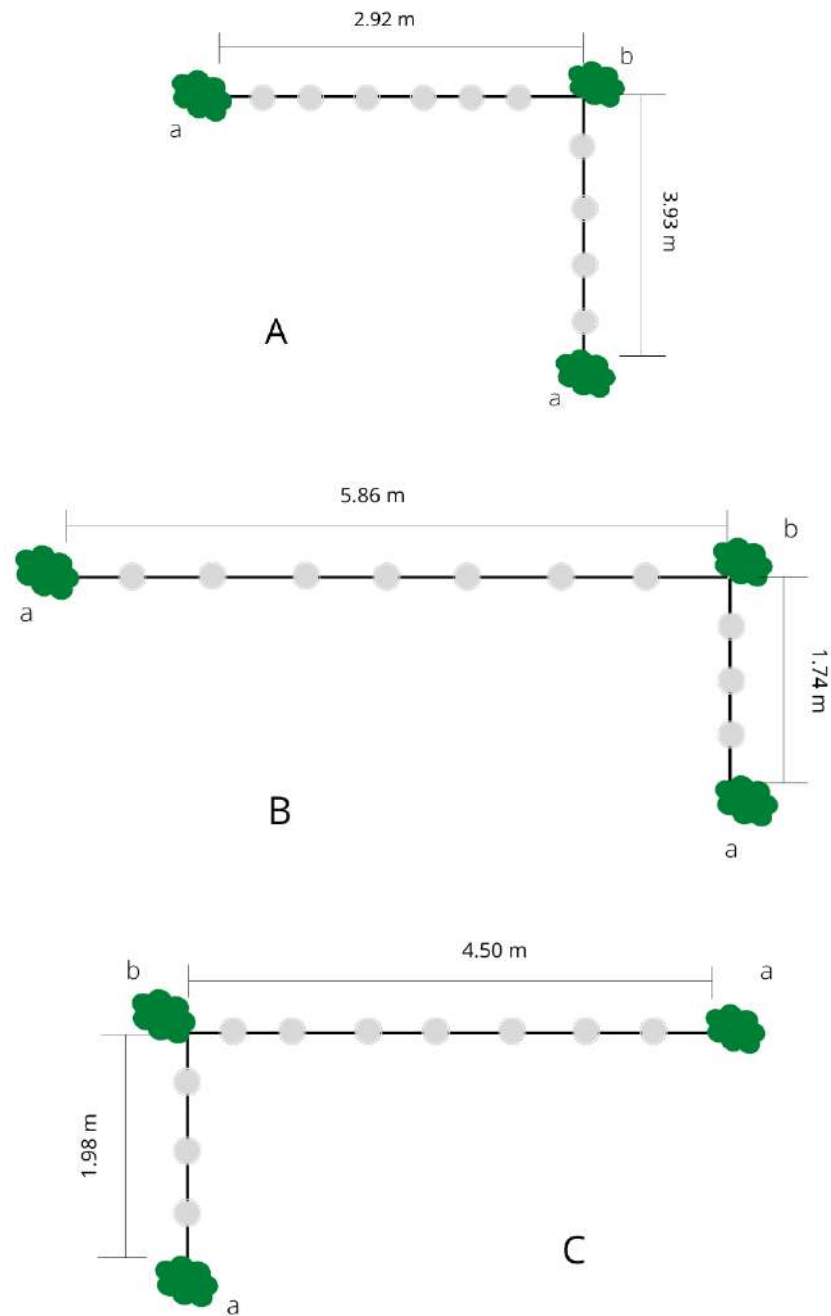


Figura 12: Esquemas de los sitios de estudio con distancia total entre árboles.

Fuente: Elaboración propia.

Se midió la distancia total del primer al último árbol, incluyendo los anillos. Dando como resultado: el sitio A (6.25 metros), el sitio B (7.60 metros) y el sitio C (6.48 metros).

Una vez establecido todos los parámetros, se realizaron 6 mediciones por área, dando 18 en total, en horarios de 8:00 a.m. a 12:00 p.m., en un periodo de agosto a noviembre, durante la temporada lluviosa. En la tabla 2 se observa las fechas y horas exactas de inicio de cada medición, y las condiciones climáticas en el sitio.

Tabla 2: Periodo de medición por área

Punto	Fecha	Hora (a.m.)	Clima	Temperatura °C	Humedad %
A	4/8/21	10:06:24	Soleado	30	77
	2/9/21	10:40:04	Soleado	30	76
	8/9/21	10:33:17	Lluvioso	30	78
	14/9/21	9:55:51	Soleado	29	58
	16/9/21	10:08:05	Soleado	28	80
	21/9/21	10:29:20	Soleado	30	79
B	29/9/21	9:40:05	Lluvioso	27	81
	30/9/21	9:40:15	Soleado	28	83
	12/10/21	9:58:41	Soleado/ Lluvioso	28	78

	14/10/21	10:01:50	Soleado	29	80
	19/10/21	9:54:29	Soleado	27	79
	20/10/21	11:06:58	Lluvioso	28	76
C	27/10/21	10:41:07	Soleado	27	88
	29/10/21	9:59:34	Soleado	29	77
	9/11/21	8:52:11	Parcialmente nublado	27	81
	11/11/21	8:53:13	Parcialmente nublado	28	77
	16/11/21	10:24:18	Parcialmente nublado/ lluvioso	28	75

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que, por escases de materiales, las mediciones en cada uno de los sitios no se realizaron simultáneamente, por lo que no se puede saber con exactitud si el flujo de CO₂ era el mismo en los días presentados. Sin embargo, se trató de hacer las mediciones en las zonas en un horario similar.

3.2. Equipos utilizados en campo

El proyecto cuenta con dos importantes equipos para la medición de variables ambientales. Estos fueron proporcionados por el CIHH que con el apoyo de SENACYT y el Programa de Saneamiento de Panamá del Ministerio de Salud, se hace uso para investigaciones en estas zonas poco estudiadas.

Estos equipos son la torre meteorológica con sistema de covarianza Eddy (remolinos) y el sistema de intercambio de gases LICOR 6400, descritos a continuación:

3.2.1. Torre meteorológica, sistema de covarianza Eddy

La Torre Meteorológica Jay Zieman, nombrada así por el Dr. Joseph Zieman que, por su visita a Panamá en el año 2008 para recorrer los manglares del Pacífico, incentivó a la construcción de la torre para monitorear el comportamiento del ecosistema y promover su estudio. Sin embargo, no fue hasta el año 2015 en el proyecto “Parque Urbano de Manglar de la Bahía de Panamá” que se inicia la instalación de la torre (CIHH, 2019). Ver Figura 13.



Figura 13: Torre Meteorológica Jay Zieman.

Fuente: Elaboración Propia.

La torre tiene una altura aproximada de 30 metros y cuenta con 8 sensores de temperatura de aire a lo largo de su estructura, sensores de temperatura del suelo a diferentes profundidades (5, 10, 15 y 25 cm) y sensores capaces de medir el contenido de agua del suelo a profundidades de (10, 20 y 40 cm) (González, Tejedor Flores, Pinzón, & Franco, 2020).

Estas variables son las que poseen mayor relación con las tomadas por el equipo LICOR 6400. Sin embargo, solo las temperaturas fueron las que se adecuaron mejor, puesto a que la humedad mostraba valores constantes y no influían en el cambio de la respiración del suelo.

3.2.2. LICOR 6400 (Licor Biogeosciences)

Es un analizador de fotosíntesis que utiliza intercambio de gases (modelo LI-6400XT). Acoplado a una cámara cilíndrica denominada LI-6400-09, es capaz de medir el flujo de CO₂ proveniente de la respiración del suelo boscoso, en micro mol por unidades área y tiempo ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$). Esta cámara posee un volumen de 991 cm³ y un área de 71.6 cm². Ver Figura 14.



Figura 14: LI-6400XT y cámara 6400-09.

Fuente: Elaboración propia.

Las mediciones del flujo de CO₂ del suelo se realizan utilizando anillos de 3 cm insertados en el suelo como interfaz entre el suelo y la cámara (García, Demetriades-Shah, Welles, McDermitt, & Norman). El flujo en el momento de ser medido depende de la concentración de CO₂ en la cámara (ppm) (LI-COR Biosciences, 1998-2012).

El sistema de la cámara fue diseñado para minimizar las perturbaciones en las concentraciones de gases del suelo, por lo que antes de comenzar la medición, se mide la concentración de CO₂ ambiental en la superficie. Una vez instalada la cámara, el depurador de CO₂ se utiliza para extraer el CO₂ en el sistema cerrado por debajo de la concentración ambiental. El depurador se apaga y el flujo de CO₂ del suelo hace que la concentración de la cámara aumente (LI-COR Biosciences, 1998-2012).

A medida que las concentraciones de CO₂ aumentan a través del nivel ambiental, estas concentraciones son registradas y a través de un software se calcula (mediante una regresión lineal) el flujo apropiado para la concentración ambiental. Este ciclo de medición se repite cuantas veces se le asigne, como se observa en la figura 15 (LI-COR Biosciences, 1998-2012).

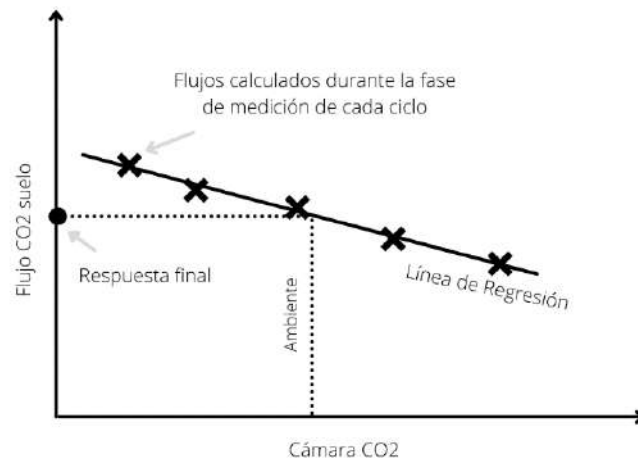
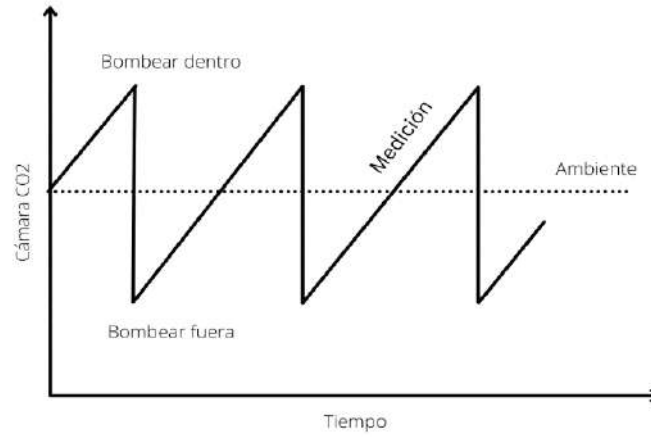


Figura 15: Gráfica de un ciclo de medición y regresión lineal de los datos obtenidos del CO₂ del suelo y de la cámara.

Fuente: (LI-COR Biosciences, 1998-2012).

Adicional a la concentración de CO₂ del suelo, el equipo tiene la capacidad de medir variables como humedad del suelo, temperatura del aire y suelo, y presión atmosférica.

3.2.3. Software. Creación de una nueva medición de suelo

La consola del equipo LICOR 6400 cuenta con una pantalla en la parte superior con teclados en los lados para facilitar su uso. Al comenzar la medición desde la pantalla, se debe crear un archivo de configuración, para ingresar directamente a la cámara que se va a utilizar, en este caso la cámara de suelo 6400-09.

Posteriormente, se debe realizar una calibración del analizador de gas infrarrojo (IRGA, Infra-red Gas Analyzer, por sus siglas en inglés), que es el cabezal de sensor de la cámara. La calibración se realiza para estabilizar la cámara a las condiciones ambientales actuales del sitio de estudio, colocando la humedad y el dióxido de carbono a cero.

Antes del proceso de medición es de suma importancia, editar ciertos parámetros específicos del sistema. Estos parámetros son:

- *Target* (ppm): es la concentración de CO₂ en la que se desea realizar la medición, es decir, la concentración ambiental aproximada, en el manglar comúnmente es de 450 ppm.
- Delta (ppm): es la ventana operativa alrededor del *Target*, este número siempre será el doble del Efflux (flujo de CO₂ en el suelo en $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$). Ejemplo: Si se especifica un *Target* de 450 ppm y un delta de 10 ppm, la medición se producirá

cuando el CO₂ sube de 440 a 460 ppm. Una vez por encima de 460 ppm, la bomba disminuirá el CO₂ hacia atrás hasta 440 ppm.

- ddMargin (ppm): es una reducción adicional al delta.
- ddFlow: es el estimado del flujo durante el proceso de reducción.
- Ciclos: es el número de repeticiones que se desea medir. Para el proyecto se destinó 3 ciclos por medición (LI-COR Biosciences, 1998-2012).

Una vez introducidos los valores adecuados de los parámetros, se inicia la medición, generando un archivo Excel que posteriormente se puede acceder a ella descargando la data.

3.3. Inventario Forestal

En las tres parcelas se midió el diámetro a la altura del pecho (DBH) de cada uno de los nueve árboles de estudio y para cada área se midió el diámetro de copa (Dcopa). Ver figura 16.



Figura 16: Medición del diámetro a la altura del pecho (DBH).

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 se observa el diámetro a la altura del pecho (DBH) para cada mangle con su respectivo Dcopa, que es el diámetro de la proyección horizontal sobre el suelo de la copa del árbol, y la superficie de copa (Scopa).

Tabla 3: Medidas de diámetro a la altura del pecho, diámetro de copa y superficie de copa.

DBH (cm)	Dcopa (cm)	Scopa (cm²)
7	1.8	2.66
44	4.2	13.72
48	4.5	15.74
49	4.7	17.18
50	4.8	17.97
51	5.1	20.45
59	5.4	22.54
62	5.6	24.75
65	6.2	30.22

Fuente: Elaboración propia.

Se instaló una parcela de 1 hectárea de la zona de estudio, tomando como punto central la torre meteorológica Jay Zieman para realizar un inventario físico que inició el 26 de julio y culminó el 24 de agosto del 2022, donde se midió e identificó todos los mangles con DBH mayores o iguales a 10 cm.

La tabla 4 muestra las coordenadas UTM por GPS MAP 64s, Garmin y la figura 17 representa la localización de los extremos de la parcela.

Tabla 4: Coordenadas de los extremos de la parcela.

Puntos	Coordenadas
1R	670108.43
	996847.80
2R	670108.43
	996797.80
3R	670108.43
	996747.80
4R	670058.43
	996747.80
5R	670008.43
	996747.80
6R	670008.43
	996797.80
7R	670008.43
	996847.80
8R	670058.43
	996847.80

Fuente: Elaboración propia.



Figura 17: Localización de los extremos de la parcela.

Fuente: Datos de coordenadas por GPS MAP 64s, Garmin. Elaborado en Google Earth Pro.

El perímetro de la parcela es de 100 m de largo por 100 m de ancho y está dividido en 4 cuadrantes de 50x50 m definidos por varillas de hierro, cada cuadrante está representado por un color, por medio de cintas como se muestra en la figura 18 que muestra un esquema de la delimitación de la parcela.

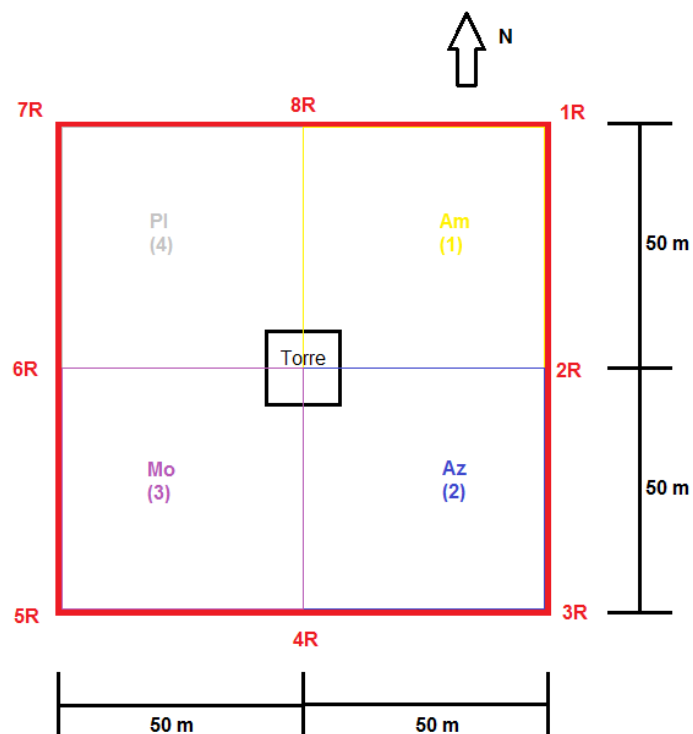


Figura 18: Esquemas de la delimitación de la parcela por cuadrantes.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 19 muestra el Excel del inventario físico donde se registró un total de 371 árboles de mangles que fueron marcados por chapas, siendo las especies más abundantes *Avicennia bicolor* L con 218 y *Avicennia germinans* Standl con 153 árboles, también se midieron 152 hijos o diámetros secundarios. Además, los diámetros máximos y mínimos son 203.10 cm y 10 cm, respectivamente.

1	N°	Parcela	N° Crotal/ Col	Especie	Diámetro principal (cm)	Diámetro secundarios (cm)	Altura	Coordenada X	Coordenada Y	Obsevaciones
3	1	Morado	B001	Avicennia bicolor	39			670054	996742	
4	2	Morado	B002	Avicennia bicolor	85			670052	996746	
5	3	Morado	B003	Avicennia bicolor	108.1			670042	996749	
6	4	Morado	B004	Avicennia bicolor	86.3			670033	996749	
7	5	Morado	B005	Avicennia bicolor	18.3			670040	996749	
8	6	Morado	B006	Avicennia bicolor	73.2			670037	996748	
9	7	Morado	B007	Avicennia bicolor	31.2			670022	996756	
10	8	Morado	B008	Avicennia bicolor	25.5			670024	996746	
11	9	Morado	B009	Avicennia bicolor	39.2			670023	996748	
12	10	Morado	B010	Avicennia bicolor	21			670021	996744	
13	11	Morado	B011	Avicennia bicolor	76			670015	996752	
14	12	Morado	B012	Avicennia bicolor	33.5			670009	996741	
15	13	Morado	O001	Avicennia germinans	17			670010	996750	
16	14	Morado	B013	Avicennia bicolor	71.5			670015	996749	
17	15	Morado	B014	Avicennia bicolor	23			670015	996748	
18	16	Morado	B015	Avicennia bicolor	46.2			670016	996748	CM
19	17	Morado	B016	Avicennia bicolor	49			670022	996751	
20	18	Morado	B017	Avicennia bicolor	155			670021	996750	
21	19	Morado	B018	Avicennia bicolor	41.1			670035	996752	
22	20	Morado	B019	Avicennia bicolor	33.4			670033	996754	
23	21	Morado	B020	Avicennia bicolor	55			670038	996760	
24	22	Morado	B021	Avicennia bicolor	203.1			670039	996752	
25	23	Morado	B022	Avicennia bicolor	45.5			670048	996754	
26	24	Morado	B023	Avicennia bicolor	62			670047	996754	

Figura 19: Archivo de Excel del inventario físico.

Fuente: Elaboración propia.

LIDAR

El Sistema de medición y detección de objetos mediante láser (LIDAR, Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging, por sus siglas en inglés) es una tecnología óptica de escaneo y teledetección que utiliza pulsos de luz láser para obtener una muestra densa de puntos de la superficie de la tierra con mediciones exactas en tres dimensiones. Es un sensor óptico activo que emite rayos láser a un objetivo; mientras se mueve a lo largo de una ruta de medición definida.

Se realizó una gira de campo a la Torre meteorológica con el objetivo de obtener el inventario de manera digital, utilizando el LIDAR en la parcela. Este evento se realizó del 16 al 19 de agosto de 2022.

El recorrido para cada uno de los 4 cuadrantes de la parcela dio como resultado los polígonos mostrados en la figura 20.

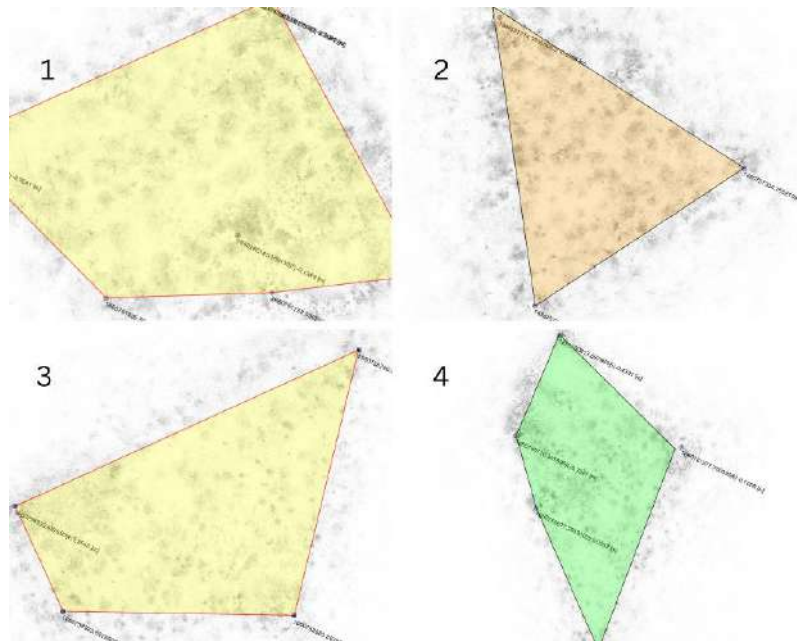


Figura 20: Resultados del LIDAR de los 4 cuadrantes en la parcela estudiada.

Fuente: Francisco Ramón López Serrano (UCLM - Grupo de Investigación: Medio Ambiente y Recursos Forestales).

Debido a la gran cantidad de mangles pequeños cuya estructura obstruyen la visibilidad, la definición del polígono no se realizó como se había planeado (cuadrada), dada a la confusión de las señalizaciones, ya que para cada cuadrante se tiene más de 4 puntos representando los extremos de los polígonos.

Sin embargo, comparando los resultados obtenidos de la cantidad total de mangles medidos mediante el LIDAR con respecto al inventario físico, 399 y 371 árboles, respectivamente. Se puede observar que la diferencia entre los dos valores es mínima, mostrando que ambos métodos son efectivos.

3.4. Aplicación de Software Estadístico

Statgraphics fue el primer paquete de software estadístico para computadoras de menor tamaño, desarrollado por el Dr. Neil Polhemus en 1982, en la Universidad de Princeton. El diseño de la herramienta es compatible para escritorios de Windows, brindando la facilidad de visualización de datos, análisis estadístico y predictivo (Statgraphics Technologies, 2021). Además, cuenta con un formato sencillo y entendible para personas que no manejan conocimientos extensos de estadísticas, puesto que, no utiliza programación en la realización de las tareas, haciendo accesible su funcionamiento (Rubio Trabazos, 2018).

Para analizar las variables propuestas, se utilizó la versión del software denominado STATGRAPHICS Centurion XVI. Ver figura 21.

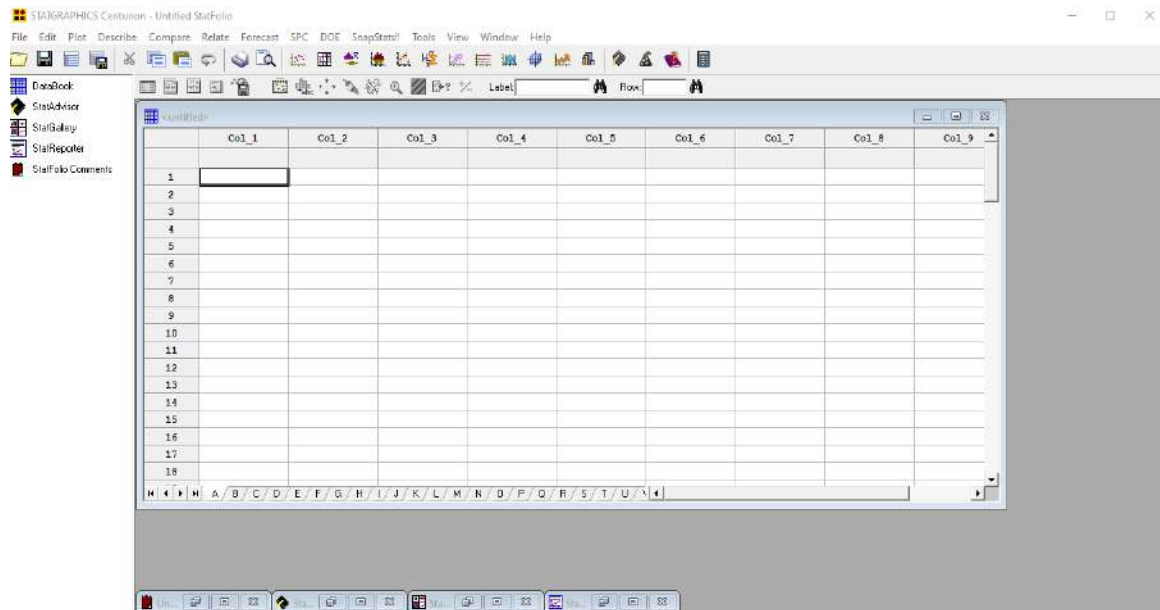


Figura 21: Pantalla inicial de STATGRAPHICS Centurion XVI.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla.

En la pantalla inicial se encuentra una ventana en formato cuadrangular con filas y columnas, denominado DataBook o libro de datos, en el cual se coloca el archivo Excel con los datos de interés. Antes de iniciar es necesario especificar el tipo de variable (por ejemplo: variables cuantitativas, se fija el modo numérico) para saber la forma de análisis.

Conociendo las posibles variables influyentes en la estimación de CO₂ del suelo en el manglar de Juan Díaz, se propuso extraer la data de ambos equipos utilizados en campo (Efflux y temperatura del aire, para el equipo LICOR 6400, y temperatura del aire y suelo, para la torre meteorológica) y los valores directamente relacionados, con el área de estudio (Diámetro y perímetro de cada árbol, distancia entre cada árbol), para unificarlo en un solo documento. Ver figura 22.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	S
anillo	DATE	Efflux	PERIM (cm)	DBH (cm)	Dist (cm)	Taire (°C)	T5A	T10A	T15A	T20A	T5B	T10B	T15B	T20B	SWC
anillo	DATE	Efflux	PERIM (cm)	DBH	Dist	Tair	T5A	T10A	T15A	T20A	T5B	T10B	T15B	T20B	SWC
1	1	14.0	137.8	44	24	32.4	28.6	28.4	27.6	26.4	29.7	28.0	27.1	26.1	66.4
2	1	5.3	137.8	44	87	32.8	28.7	28.5	27.6	26.4	30.0	28.1	27.2	26.1	66.4
3	1	4.8	137.8	44	154	32.9	28.7	28.6	27.6	26.4	30.1	28.1	27.2	26.1	66.4
4	1	6.3	161.6	51	162	33.1	28.7	28.6	27.6	26.4	30.4	28.2	27.2	26.1	66.4
5	1	2.2	161.6	51	91	33.1	28.7	28.7	27.7	26.4	30.8	28.3	27.2	26.1	66.4
6	1	11.4	161.6	51	21	33.0	28.7	28.8	27.7	26.4	30.9	28.4	27.2	26.1	66.4
7	1	6.2	161.6	51	39	33.0	28.8	28.8	27.7	26.4	31.1	28.5	27.2	26.1	66.4
8	1	1.8	161.6	51	95	32.9	28.7	28.8	27.7	26.4	31.1	28.5	27.2	26.1	66.4
9	1	2.5	154.9	49	121	33.0	28.7	28.9	27.8	26.4	31.0	28.6	27.2	26.1	66.4
1	2	14.4	137.8	44	24	33.0	26.7	27.7	27.6	26.6	29.1	27.6	27.2	25.9	66.3
2	2	1.7	137.8	44	87	33.0	26.7	27.7	27.6	26.6	29.1	27.6	27.2	25.9	66.3
3	2	4.9	137.8	44	154	33.0	26.9	27.8	27.6	26.6	29.2	27.7	27.2	25.9	66.3
4	2	2.2	161.6	51	162	33.1	26.9	27.8	27.6	26.6	29.2	27.7	27.2	25.9	66.3
5	2	7.0	161.6	51	91	33.0	27.1	27.8	27.6	26.6	29.1	27.8	27.2	25.9	66.3
6	2	6.7	161.6	51	21	33.0	27.1	27.8	27.6	26.6	29.1	27.8	27.2	25.9	66.3
7	2	6.4	161.6	51	39	33.0	27.4	27.9	27.6	26.6	28.9	27.9	27.2	25.9	66.3
8	2	0.8	161.6	51	95	33.2	27.4	27.9	27.6	26.6	28.9	27.9	27.2	25.9	66.3

Figura 22: Archivo de Excel con las variables con mayor importancia.

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta la cantidad de variables independientes a evaluar, se dispuso a insertar el archivo en el libro de datos y designar la regresión lineal múltiple como mecanismo para conocer la relación entre las variables predictoras.

3.4.1. Regresión Lineal Múltiple

El análisis de Regresión Lineal Múltiple brinda la posibilidad de relacionar una variable dependiente (Y) y un grupo de variables independientes o predictoras (X_1, X_2, \dots, X_i), expresando la siguiente ecuación (1):

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_iX_i + e \quad (1)$$

Donde **Y** es la variable que se debe predecir, **a** es la ordenada en el origen, **b_i** es la pendiente de la recta y **e** es el margen de error (Rodríguez-Jaume & Mora Catalá, 2001).

Esta técnica es utilizada comúnmente en trabajos de investigación, debido a que se aproxima más a situaciones reales (Rodríguez-Jaume & Mora Catalá, 2001).

Se aplica cuando las variables son de tipo numérico, y en esta ocasión ayuda a crear una ecuación matemática a partir de variables que puedan contribuir en los resultados, descartando aquellas que no son significativas en la información (Barón López & Téllez Montiel, 2004).

Para conocer qué variables poseen mayor significancia, se realiza la selección una a una. Este proceso inicia sin ninguna variable independiente y se concluye cuando todas las posibles variables independientes expliquen mejor a la variable a predecir (Rodríguez-Jaume & Mora Catalá, 2001).

El p-valor indica si la información de entrada es redundante, para ello, se utiliza el 0.05 como valor crítico. Si el p-valor de las variables de entrada son menor al valor crítico, esta será seleccionada.

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta es el coeficiente de correlación múltiple (R), que mide la intensidad de la relación entre el grupo de variables predictoras con la variable a predecir. Este coeficiente puede variar entre -1 a 1, donde los valores dados próximos a 1 poseen una fuerte asociación lineal positiva y los cercanos a -1 poseen una fuerte asociación lineal negativa. Cuando la correlación se aproxima a 0 indica que entre las variables tomadas no existe una asociación lineal. Por lo que determinar la ecuación matemática carecerá de importancia. (Rodríguez-Jaume & Mora Catalá, 2001).

Sin embargo, al obtener solo el coeficiente de correlación no es posible conocer su significancia, por lo que es preferible interpretarlo en términos de su proporción (porcentaje) de varianza compartida, expresado mediante el coeficiente de determinación (R^2) (Fernández Collado & Hernández Sampieri, 2014).

Una vez se obtiene la ecuación, junto a ella se genera una tabla de análisis de varianza (ANOVA), que permite saber si el modelo matemático es adecuado para estimar los valores de la variable a predecir. Esta tabla proporciona la pendiente de la recta y el estadístico F (p-valor, R, R^2) (Rodríguez-Jaume & Mora Catalá, 2001).

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

El siguiente capítulo, muestra los resultados de las diferentes etapas del proyecto de investigación.

Primeramente, se realiza un breve análisis de las condiciones ambientales presentadas in situ al momento de hacer las mediciones, y luego se evalúa los resultados obtenidos por la torre meteorológica y del equipo LICOR 6400.

A partir de los parámetros más relevantes de ambos equipos, se disponen a realizar el análisis estadístico y presentar los modelos matemáticos.

4.1. Condiciones ambientales

Los elementos climáticos presentes en la zona de estudio son fundamentales para las condiciones ambientales que experimenta el ecosistema de manglar, y a su vez interfiere en los valores obtenidos en campo. Por lo que, se monitoreo y se trató en conjunto con los datos provenientes de los equipos de mediciones.

Como parte de la metodología en las visitas al área, se tomaron los datos de temperatura y humedad ambiental, justo antes de iniciar las mediciones en el analizador de gases LICOR 6400, para tener constancia de las condiciones climáticas actuales.

La figura 23 muestra el comportamiento de la temperatura y humedad en horas del día, de 8:00 am. a 12:00 pm., donde la temperatura oscila de 27 °C a 30 °C, y la humedad en ocasiones superaba el 80 %.

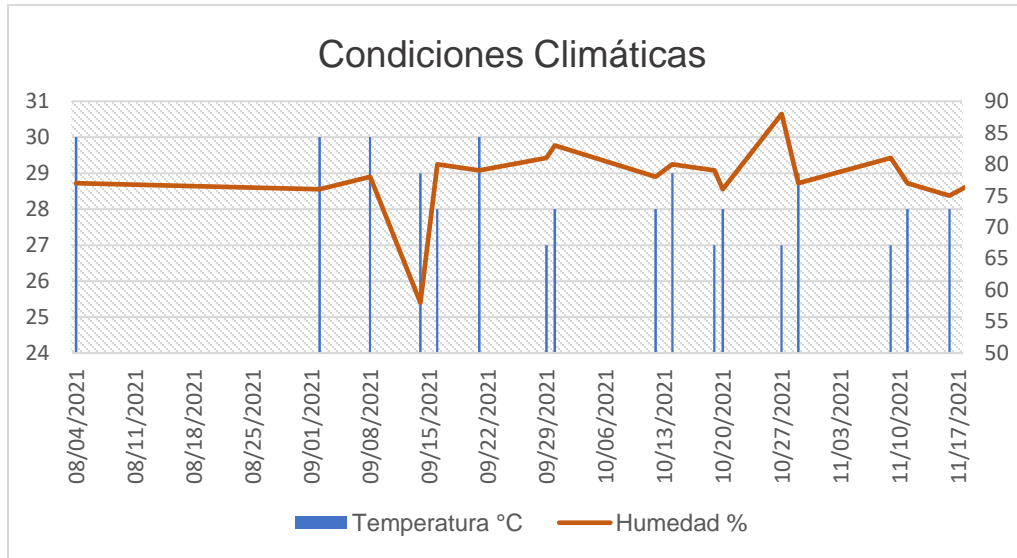


Figura 23: Estimación de las temperaturas y humedades ambientales en los sitios de medición.

Fuente: Elaboración propia.

Como respuesta a la elevada humedad ambiental y humedad del suelo tras eventos de precipitación en días anteriores, la toma de mediciones en algunos anillos resultaba complicadas, debido a que, la calidad interna de la cámara se veía afectada, arrojando valores inconsistentes en la cantidad de CO₂ del suelo. Valores que superaban los 1000 μmol/m²s, como se puede ver en la siguiente figura 24.

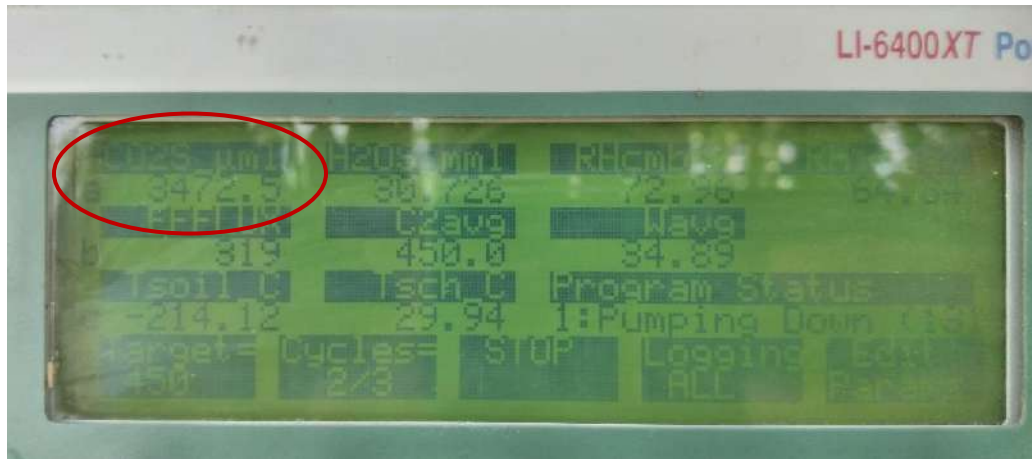


Figura 24: Valores inconsistentes de CO₂ del suelo en algunos anillos.

Fuente: Elaboración propia.

También, una posibilidad es que los valores elevados se debieron a la respiración de las raíces de los árboles de mangle, los organismos edáficos pertenecientes a la superficie del suelo y organismos de mayor tamaño como los cangrejos.

De igual manera, se dispuso a seguir con las mediciones (en este caso en los anillos restantes) de los cuales sus valores brindaban datos más coherentes. Estos valores si fueron tomados en cuenta en el análisis de la data final.

4.2. Resultados del equipo LICOR 6400

Tomando en cuenta que, el sistema cerrado de intercambio de gases, LICOR 6400, puede brindar información sobre diversas variables climáticas, solo se escogieron los datos de Efflux y temperatura del aire.

4.2.1. Flujo de CO₂ del suelo (Efflux)

La información desarrollada a través del software muestra en un documento Excel, los siguientes detalles: *Obs*, que son las cantidades de mediciones realizadas, *HHMMSS*, indica la hora, minutos y segundos en el que se hace cada ciclo, *Efflux* es la estimación de flujo de carbono en el suelo ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$), el *C2avg* se refiere al flujo de CO₂ promedio ($\mu\text{mol}/\text{mol}$), y el vapor de agua promedio expresado por *Wavg* tiene unidades mmol/mol .

Por otro lado, el *RHcubr%* es el porcentaje de humedad de la cámara, al inicio, toma la humedad ambiental y una vez colocada en el suelo, este valor cambia, por lo general va en aumento; la humedad del IRGA (*RHirga%*) tiende a ser igual o aproximada a la de la cámara, el *Tsch_C* es la temperatura del suelo, en estas mediciones no se utilizó ningún instrumento que midiera la temperatura del suelo directo, por lo que siempre daba la ambiental, *CO2S* es la concentración de dióxido de carbono cerca de la superficie del suelo y por último *H2OS* vendría siendo las concentraciones de vapor de agua. Ver figura 25.

Area	Target	Delta	ddMargin	DeadTime	MnMsrTme	NumCycls	ddFlow	Vbase				
71.599998	450	2	5	10	20	3	500	991				
Obs	HHMMSS	FTime	Plot#	Mode	Smpls	EFFLUX	C2avg	Wavg	dc'/dt	Vtot	RHcmbr%	
1	09:59:59	98.499998	77	3	8	2.1572674	449.34372	35.3321	0.1558631	991	82.876861	
Target	Delta											
450	4											
2	10:00:06	101	77	3	13	2.2040645	449.83447	35.344444	0.1592442	991	82.934851	
3	10:00:06	105.5	77	3	14	2.2216936	449.93652	35.346958	0.1605179	991	82.969261	
4	10:00:08	108	77	3	19	2.2047002	450.84085	35.364666	0.1592901	991	82.864255	
5	10:00:11	110.5	77	3	20	2.2159114	452.09116	35.388985	0.1601002	991	82.942889	
6	10:00:13	113	77	3	20	2.2186879	453.48856	35.415359	0.1603008	991	82.648143	
7	10:00:15	115	77	4	25	2.1895311	450	35.427959	0.1581942	991	82.664287	
8	10:01:14	173.5	77	3	8	2.3674501	446.96799	35.397072	0.1710489	991	83.084897	
9	10:01:16	176	77	3	13	2.2867941	447.4808	35.404675	0.1652214	991	83.132093	
10	10:01:19	178.5	77	3	18	2.1555193	447.94809	35.411739	0.1557368	991	83.279535	
11	10:01:21	181	77	3	20	2.2073705	448.75082	35.425774	0.1594831	991	83.304007	
12	10:01:24	183.5	77	3	20	2.1376538	449.71158	35.440208	0.154446	991	83.215112	
13	10:01:26	186	77	3	20	2.1059686	450.63397	35.454865	0.1521568	991	83.360308	
14	10:01:29	188.5	77	3	20	2.1557369	451.63297	35.468109	0.1557525	991	83.23913	
15	10:01:30	190	77	4	33	2.1611415	450	35.47271	0.156143	991	83.401024	

Figura 25: Archivo de Excel generado por el equipo LICOR 6400, tras un día de medición.

Fuente: Elaboración propia.

A cada medición le toma tres ciclos finalizar (proceso explicado con anterioridad). Estos ciclos deben tener una duración de 20 segundos aproximadamente, tiempo que toma el Efflux correlacionarse con C2avg. En el recuadro naranja de la figura 25, se puede apreciar que el Efflux con un valor de $2.36 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ va disminuyendo a $2.15 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ y el C2avg con un valor $446 \text{ mol}/\text{mol}$ va aumentando a $451 \text{ mol}/\text{mol}$, a medida que pasa el tiempo.

Al terminar el ciclo se genera automáticamente una regresión lineal con respecto a estas dos variables y brinda un promedio de dicho ciclo, el cual fue de $2.16 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ para el Efflux y $450 \text{ mol}/\text{mol}$ para el C2avg, este valor siempre debe finalizar en 450, mismo valor que el *Target*.

La variabilidad en el flujo de CO₂ se ve influenciado mayormente por la temperatura del suelo, contenido orgánico, humedad y también es sensible a las fluctuaciones de presión (LI-COR Biosciences, 1998-2012).

Por lo que comúnmente se reflejan valores inestables y no todos los ciclos terminan bien. Algunos ciclos generan información errónea, ya sea por problemas al configurar los parámetros o por actividad inusual en el sitio de estudio. Conociendo esto, se agrupan los promedios de cada ciclo y se elimina el valor menos preciso.

Haciendo la debida eliminación de valores inconsistentes, se puede estimar que la producción de flujo de carbono emitido a través de la respiración del suelo (autotrófica y heterotrófica) en las tres zonas de medición, es de 5.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ en promedio, con una desviación estándar de 4.4; teniendo un valor máximo de 19.4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ y mínimo de 0.8 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, en el periodo de agosto a noviembre de 2021.

4.2.2. Temperatura del aire

Por otro lado, el archivo generado por el equipo Li-6400XT, también brinda información sobre la temperatura del aire del sitio, al ser una variable climática poco influyente, permanecía constante con un promedio de 31.6 °C, con una desviación estándar de 0.9.

4.3. Resultados de la Torre Meteorológica Jay Zieman

La instalación de la torre meteorológica se realizó en el humedal de la Bahía de Panamá en el año 2015, pero se dio inicio a recopilar una base de datos a partir del año 2016 hasta la actualidad. Cabe resaltar que, por dificultades procedentes del clima y la dureza que presenta el ecosistema del manglar, como la fauna, en algunas ocasiones los equipos no realizaron las mediciones adecuadas en diversos periodos.

Los datos proporcionados por la torre meteorológica que se utilizaron para el análisis fueron la temperatura del aire y la temperatura del suelo, ya que los valores de humedad no tenían significancias al momento de hacer el análisis estadístico.

4.3.1. Temperatura del aire y temperatura del suelo

Se utilizó las mediciones en intervalos de 10 minutos proporcionada en la base de datos de la torre desde el 1 de agosto de 2021 hasta el 17 de noviembre de 2021 (periodo en el que también se realizaron las mediciones en campo con el equipo LICOR 6400).

Tomando en cuenta que el contenido de agua del suelo difiere según su profundidad (entre más bajos, más cerca esta del nivel freático), se utilizaron todas las profundidades proporcionadas por los sensores de temperatura del suelo.

Sin embargo, el que más relevancia poseía en el análisis era de 15 cm de profundidad, mostrado en la figura 26. En ciertos momentos los sensores de la temperatura del suelo no midieron, sino que tenía un valor negativo, por lo que se tuvo que ajustar haciendo un promedio desde las temperaturas anteriores con las temperaturas posteriores.

TOAS TIMESTAMP TS	TEMPERATURA DEL SUELO								SOIL HEAT FLUX	
	SoilT_A_Avg(1)	SoilT_A_Avg(2)	SoilT_A_Avg(3)	SoilT_A_Avg(4)	SoilT_B_Avg(1)	SoilT_B_Avg(2)	SoilT_B_Avg(3)	SoilT_B_Avg(4)	shf_Avg(1)	shf_Avg(2)
	deg C	deg C	deg C	deg C	deg C	deg C	deg C	deg C	W/m2	W/m2
	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg
1/8/21 0:00	26.5	28.5	28.21	26.47	25.78	28.21	27.72	26.2	335.7	-0.67
1/8/21 0:10	26.48	28.49	28.2	26.48	25.76	28.19	27.72	26.21	207.2	-1.834
1/8/21 0:20	26.46	28.47	28.19	26.48	25.74	28.18	27.72	26.21	306.7	-1.019
1/8/21 0:30	26.43	28.44	28.18	26.48	25.72	28.16	27.71	26.22	310.2	-1.073
1/8/21 0:40	26.41	28.43	28.17	26.49	25.7	28.15	27.71	26.22	311.3	-1.098
1/8/21 0:50	26.39	28.41	28.16	26.49	25.69	28.13	27.71	26.23	311.9	-1.082
1/8/21 1:00	26.36	28.39	28.15	26.5	25.67	28.12	27.7	26.23	312.7	-1.082
1/8/21 1:10	26.33	28.37	28.14	26.5	25.65	28.1	27.7	26.23	312.3	-1.138
1/8/21 1:20	26.31	28.35	28.13	26.5	25.63	28.09	27.69	26.23	312.3	-1.207
1/8/21 1:30	26.29	28.33	28.12	26.5	25.61	28.08	27.69	26.24	312.1	-1.244
1/8/21 1:40	26.26	28.31	28.1	26.51	25.59	28.06	27.68	26.24	311.7	-1.275
1/8/21 1:50	26.24	28.29	28.1	26.51	25.58	28.04	27.68	26.24	311.9	-1.299
1/8/21 2:00	26.22	28.27	28.08	26.51	25.56	28.03	27.67	26.24	311.5	-1.355
1/8/21 2:10	26.2	28.26	28.07	26.51	25.54	28.02	27.67	26.25	309.2	-1.439
1/8/21 2:20	26.17	28.24	28.06	26.51	25.52	28	27.67	26.25	308.4	-1.533
1/8/21 2:30	26.15	28.22	28.05	26.52	25.5	27.99	27.66	26.25	308.3	-1.611
1/8/21 2:40	26.13	28.2	28.03	26.52	25.48	27.97	27.66	26.25	307.8	-1.637
1/8/21 2:50	26.1	28.18	28.02	26.52	25.46	27.96	27.65	26.26	306.8	-1.73
1/8/21 3:00	26.08	28.16	28.01	26.52	25.44	27.94	27.65	26.26	305.9	-1.859
1/8/21 3:10	26.06	28.14	28	26.52	25.42	27.93	27.64	26.26	304.7	-1.958
1/8/21 3:20	26.04	28.13	27.99	26.52	25.4	27.92	27.63	26.26	303.9	-2.037
1/8/21 3:30	26.01	28.11	27.98	26.53	25.38	27.9	27.63	26.26	303	-2.117
1/8/21 3:40	25.99	28.09	27.96	26.53	25.36	27.89	27.62	26.27	302.5	-2.21

Figura 26: Datos de la temperatura del suelo.

Fuente: CIHH, torre meteorológica.

La figura 27 muestra los cambios en la temperatura del suelo durante el período de investigación establecido, donde presentó una temperatura mínima de 26.07 °C, un máximo de 28.53 °C y un promedio de 27.58 °C, con una desviación estándar de 0.35.

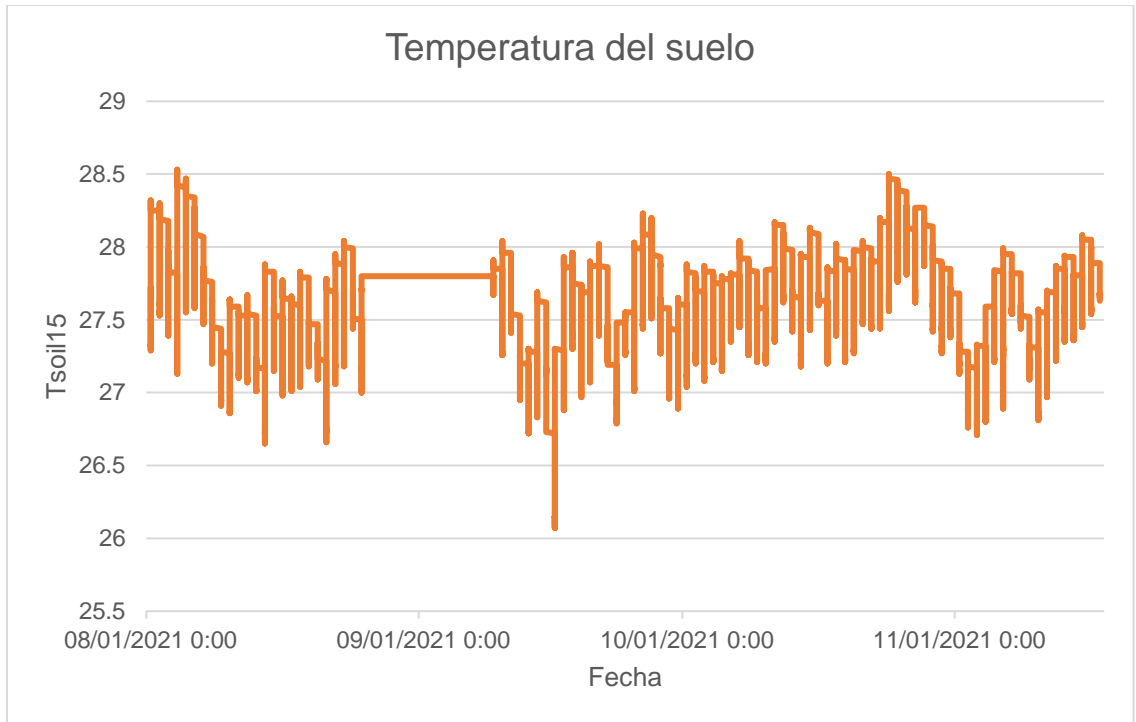


Figura 27: Comportamiento de la temperatura del suelo (1 de agosto al 17 de noviembre de 2021).

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, conociendo que los sensores de la temperatura del aire están situados a diferentes alturas y presentan valores constantes, se destinó a utilizar el promedio proporcionado por la base de datos, como se puede ver en la figura 28, representado por una columna amarilla.

TDAS	CR800-89231	CR800	17804	CR800 std 32 03	CPU/Water/soil/Mangrove CR8	54534	Table1											
TIMESTAMP	RECORD	BattV_Avg	PTempr_C_Avg	VW_A10cm_Avg	PA_uS_A10cm_Avg	VW_A20cm_Avg	PA_uS_A20cm_Avg	VW_A40cm_Avg	PA_uS_A40cm_Avg	VW_B10cm_Avg	PA_uS_B10cm_Avg	VW_B20cm_Avg	PA_uS_B20cm_Avg	VW_B40cm_Avg	PA_uS_B40cm_Avg			
TS	RN	Volts	DegC	Avg	uSec	Avg	uSec	Avg	uSec	Avg	uSec	Avg	uSec	Avg	uSec			
1/9/21 0:00	80299	11.7	23.7	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.07	0.668	37.2			
1/9/21 0:10	80294	11.7	23.84	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.07	0.668	37.2			
1/9/21 0:20	80295	11.7	23.57	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.07	0.668	37.2			
1/9/21 0:30	80296	11.7	23.51	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.07	0.668	37.2			
1/9/21 0:40	80297	11.7	23.44	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.67	37.23	0.662	37.07	0.668	37.2			
1/9/21 0:50	80298	11.7	23.41	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.07	0.668	37.2			
1/9/21 1:00	80299	11.7	23.37	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.67	37.23	0.662	37.07	0.668	37.2			
1/9/21 1:10	80300	11.7	23.21	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 1:20	80301	11.7	23.26	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 1:30	80302	11.71	23.22	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 1:40	80303	11.71	23.17	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.07	0.668	37.2			
1/9/21 1:50	80304	11.71	23.13	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.07	0.668	37.2			
1/9/21 2:00	80305	11.71	23.03	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 2:10	80306	11.71	23.02	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 2:20	80307	11.71	23.98	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 2:30	80308	11.71	23.93	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 2:40	80309	11.71	23.88	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 2:50	80310	11.71	23.82	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 3:00	80311	11.71	23.77	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 3:10	80312	11.71	23.73	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 3:20	80313	11.71	23.68	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 3:30	80314	11.71	23.63	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 3:40	80315	11.7	23.58	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 3:50	80316	11.71	23.53	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 4:00	80317	11.71	23.49	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 4:10	80318	11.71	23.44	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 4:20	80319	11.7	23.39	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 4:30	80320	11.7	23.35	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 4:40	80321	11.7	23.3	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 4:50	80322	11.7	23.26	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 5:00	80323	11.7	23.23	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			
1/9/21 5:10	80324	11.7	23.18	0.66	37.03	0.66	37.03	0.674	37.33	0.669	37.23	0.662	37.06	0.668	37.2			

Figura 28: Datos de la temperatura del aire.

Fuente: CIHH, torre meteorológica.

La figura 29 muestra el comportamiento de la temperatura del aire en el período de estudio establecido. La temperatura mínima es de 23.07 °C, la máxima es de 37.97 °C y el promedio es de 28.62 °C, con una desviación estándar de 2.8.

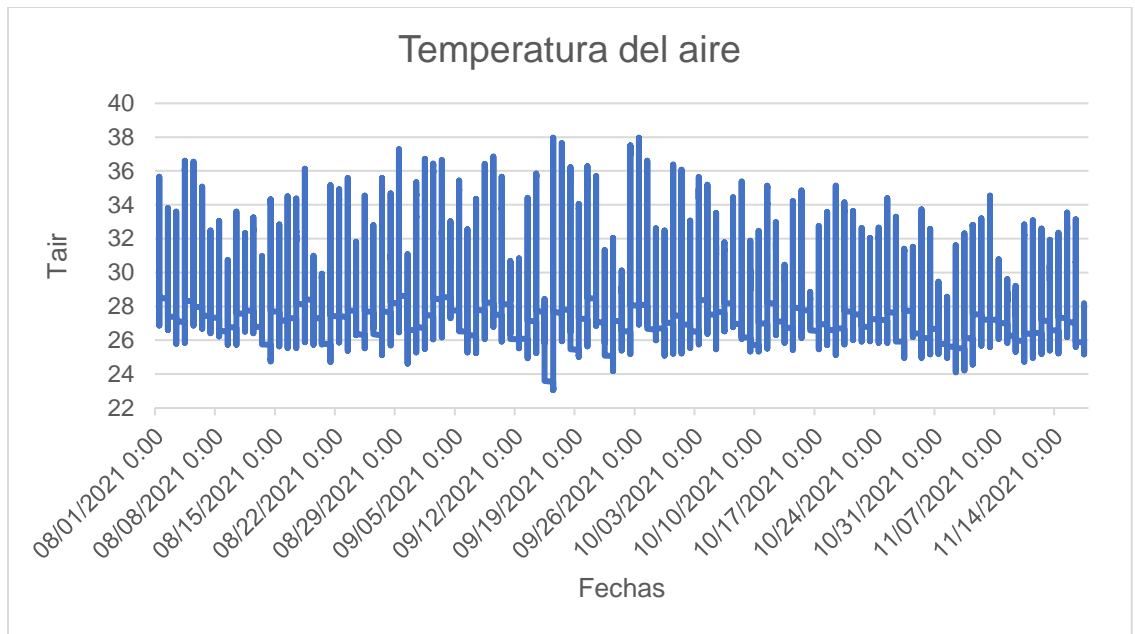


Figura 29: Comportamiento de la temperatura del aire (1 de agosto al 17 de noviembre de 2021).

Fuente: Elaboración propia.

El equipo utilizado en la recopilación de datos para la temperatura del suelo es un sensor modelo 107 distribuido por Campbell Scientific Inc, a cuatro diferentes profundidades (5, 10, 15 y 25 cm) y en el caso de la temperatura del aire los sensores utilizados son el modelo 41342VC distribuido por R. M. Young Company.

4.4. Análisis estadístico del flujo de CO₂ en el periodo agosto-noviembre

Los cálculos para estimar la cantidad de CO₂ a nivel de suelo se realizaron con el software Statgraphics. Se establecieron dos hipótesis para empezar el análisis estadístico, los cuales son:

- La respiración total del suelo no viene afectada por el día/noche (se conoce que, sí afecta, pero no se logró realizar mediciones por la noche).
- Existe una dependencia del Efflux con el tamaño del mangle y de la distancia al mismo (suelo bajo copa del árbol y suelo desnudo), además de la temperatura del suelo y temperatura del aire.

Se empezó definiendo el modelo de respiración total del suelo (Efflux) utilizando información de todos los anillos que afectan a cada árbol, en función de la temperatura del aire (Tair) y/o del suelo (Tsoil), diámetro a la altura del pecho del árbol (DBH) y distancia del anillo al árbol (Dist).

Debido a que, los datos son tomados en un sitio donde predominaba las variables biológicas, estos presentan una relación alométrica por lo que poseen una gran variabilidad, se optó por transformar con LOG, para que esa variabilidad descienda.

Para conocer si las variables están correlacionadas entre sí, se propuso aplicar la correlación de Pearson en donde se explica que las variables independientes (DBH*Dist, Tair, T15B) poseen una correlación significativa con la variable LOG(Efflux), con excepción del DBH. Como se puede ver en la siguiente figura 30:

	LOG(Efflux)	DBH	DBH*Dist	Tair	T15B
LOG(Efflux)		-0.0668 (169)	-0.3866 (169)	-0.2934 (169)	0.2227 (169)
		0.3883	0.0000	0.0001	0.0036
DBH	-0.0668 (169)		0.4926 (169)	-0.0256 (169)	-0.1137 (169)
		0.3883	0.0000	0.7414	0.1410
DBH*Dist	-0.3866 (169)	0.4926 (169)		0.1259 (169)	0.0141 (169)
		0.0000	0.0000	0.1028	0.8555
Tair	-0.2934 (169)	-0.0256 (169)	0.1259 (169)		0.0802 (169)
		0.0001	0.7414	0.1028	0.2998
T15B	0.2227 (169)	-0.1137 (169)	0.0141 (169)	0.0802 (169)	
		0.0036	0.1410	0.8555	0.2998

Figura 30: Correlación de Pearson.

Fuente: Elaboración propia.

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre LOG(Efflux) y las 4 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es (2):

$$\begin{aligned} \text{LOG}(\text{Efflux}) = & -8.52382 + 0.00809166 * \text{DBH} - 0.0000888975 * \text{DBH} * \text{DIST} \\ & + 0.616772 * \text{Tsoil} - 0.26009 * \text{Tair} \end{aligned} \quad (2)$$

Dado que el valor P en la tabla ANOVA es inferior a 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables en el nivel de confianza del 95 %.

La estadística *R-Squared* indica que el modelo tal como se ajusta explica el 29.51 % de la variabilidad en LOG(Efflux). La estadística R-cuadrado ajustada, que es más adecuada para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es de 27.79 %. El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.701432.

Al determinar si el modelo se puede simplificar, observe que el valor p más alto en las variables independientes es 0.0219, perteneciente a DBH. Dado que el valor p es inferior a 0,05, ese término es estadísticamente significativo en el nivel de confianza del 95,0%. Por lo que se propuso no eliminar ninguna variable del modelo. Ver figura 31.

Multiple Regression - LOG(Efflux)

Dependent variable: LOG(Efflux)

Independent variables:

DBH
DBH*DIST
T15B
Tair

		<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTANT	-8.52382	4.41093	-1.93243	0.0550
DBH	0.00809166	0.00349632	2.31434	0.0219
DBH*DIST	-0.0000888975	0.0000152647	-5.82374	0.0000
T15B	0.616772	0.151837	4.06207	0.0001
Tair	-0.216009	0.0565171	-3.82201	0.0002

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	33.7825	4	8.44563	17.17	0.0000
Residual	80.6891	164	0.492007		
Total (Corr.)	114.472	168			

R-squared = 29.5117 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 27.7925 percent

Standard Error of Est. = 0.701432

Mean absolute error = 0.572386

Durbin-Watson statistic = 1.77677 (P=0.0737)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.102383

Figura 31: Resumen de análisis estadístico.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1. Aplicación de modelo matemático

Una vez se obtuvo el modelo de LOG(Efflux), se calculó el flujo de CO₂ acumulado a lo largo del periodo analizado para cada cilindro ubicado bajo cada árbol.

Para ello, se aplicó a cada cilindro/árbol dicho modelo, siendo las variables predictoras la Tair, DBH, Tsoil y Dist, a cada dato de temperatura, cada 10 minutos. Se necesitó de la torre meteorológica, la base de datos de Tair/Tsoil diezminutales en el período establecido (1-8-2021 al 17-11-2021).

Luego, para cada cilindro, se realizó la media del Efflux en $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ a lo largo del periodo y obtuvo la respiración de suelo total acumulado, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5: Media del flujo de CO₂ de cada cilindro, en el periodo agosto-noviembre.

DBH (cm)	DIST (cm)	EFFLUX ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)
44	24	15.63
44	87	12.22
44	154	9.40
51	21	16.52

51	39	15.23
51	91	12.03
51	95	11.81
51	162	8.72
49	23	16.18
49	121	10.56
48	26	15.87
62	23	17.50
62	42	15.76
62	85	12.44
62	125	9.98
62	220	5.91
59	34	16.22
59	113	10.72
59	195	6.97
59	274	4.61
65	27	17.42
65	44	15.79
65	105	11.10
65	166	7.80
7	32	12.47
7	93	12.01
7	151	11.58

50	38	15.23
50	97	11.71

Fuente: Elaboración propia.

El análisis del flujo de dióxido de carbono acumulado en cada uno de los cilindros se obtuvo con respecto al diámetro a la altura del pecho y la distancia al árbol más cercano.

Luego, se calculó la respiración de suelo acumulado para cada árbol (9), a lo largo del periodo. Para ello, se dispuso a hacer la media ponderada en función de la superficie de afección de cada cilindro, de todos los cilindros de un árbol.

Se escaló el Efflux a kg de CO₂ por árbol en el periodo analizado, $(\mu\text{mol/s}) \times (9368400 \text{ s}) / (1 \times 10^6 \mu\text{mol}) \times (44 \text{ g}) / \text{mol} \times \text{kg} / (1 \times 10^3) = \text{kg}$. Como se muestra en la tercera columna de la tabla 6.

Tabla 6: Respiración de suelo total (SRt) de la zona de afección de cada árbol.

DHB (cm)	SRt ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$)	SRt (kg)
44	159.36	65.69
51	213.18	87.87

49	208.99	86.15
48	249.11	102.68
62	227.96	93.97
59	228.14	94.04
65	281.26	115.94
7	33.79	13.93
50	222.34	91.65

Fuente: Elaboración propia.

Para sacar la superficie de afección se necesitó conocer la superficie proyectada de copa de cada individuo sobre cada anillo, tomando en cuenta las distancias de los cilindros hacia el árbol como los radios del área de influencia, y los diámetros de copa de cada árbol.

De igual manera, se calculó el promedio del suelo desnudo (BS, Bare soil por sus siglas en inglés), promediando los valores obtenidos de los cilindros más lejanos al árbol, dando un total de $7.23 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$, que luego se transformó a kg de CO_2 . Donde dio un valor de $2.98 \text{ kg de } \text{CO}_2/\text{m}^2$.

Ahora, del inventario forestal se tomó los 371 árboles, se distribuyeron según su clase diamétrica, donde se puede apreciar en la figura 30, que el mayor número de árboles es de 10 cm. Se presume que, los árboles han ido regenerándose tras el evento ocurrido en el periodo de 2015 - 2016, donde hubo una pérdida de cobertura vegetal notable.

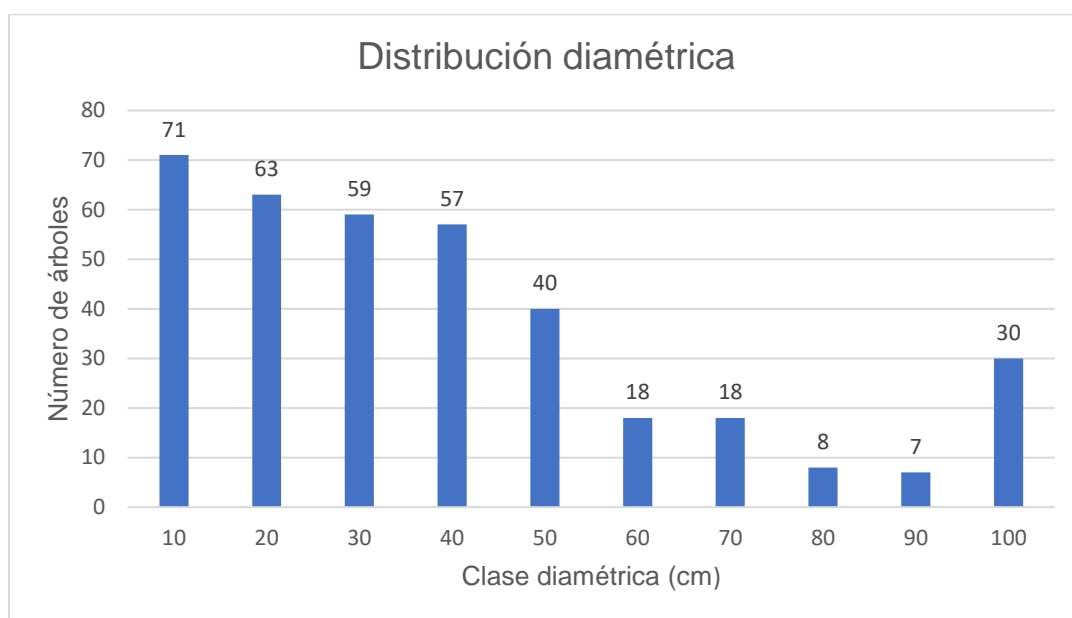


Figura 32: Inventario forestal según su clase diamétrica.

Fuente: Elaboración propia.

Dado que se conoce todos los DBH de los 9 árboles se estableció el modelo SR_t calculado anteriormente (Tabla 6) en función del DBH. Aplicando regresión simple, la ecuación del modelo que más se ajustaba fue la doble recíproca, dando como resultado (3):

$$SRt = 1/(0.00177686 + 0.490198/DBH) \quad (3)$$

Se le aplicó el modelo obtenido a todos los DBH de la distribución diamétrica y se obtuvo el Efflux total o respiración de suelo total producido bajo copa en la zona inventariada (kg de CO₂ bajo copa en el periodo). El resultado se transformó a toneladas. Ver tabla 7.

Tabla 7: Respiración del suelo total bajo copa de árbol, según su distribución diamétrica.

DBH (cm)	Árbol (N árbol/ha)	SRt bajocopa (kg)
10	71	1397.72969
20	63	2396.64379
30	59	3256.64696
40	57	4062.19868
50	40	3453.98685
60	18	1809.62237
70	18	2050.18662
80	8	1012.10285
90	7	969.058724
100	30	4491.79798
	371	24.90 ton

Fuente: Elaboración propia.

De la hectárea se puede decir que la respiración de suelo total bajo la copa de árbol es de 24.90 ton de CO².

Para conocer el flujo de CO₂ total a nivel de suelo del área, también se debe conocer el Efflux emitido por el suelo desnudo (BS). Por lo que fue necesario establecer un nuevo modelo calculando las superficies de las copas en función al DBH. Como solo se trabajó con dos variables, nuevamente se aplicó regresión simple, donde la ecuación del modelo con el mejor ajuste fue (4):

$$Scopa = 1/(0.00218669 + 2.62225/DBH) \quad (4)$$

Se aplicó el modelo a toda la distribución diamétrica y se obtuvo la superficie total proyectada de copas (área total que cubre los árboles), dando un total de 5327.3 m². Como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8: Relación alométrica de la superficie de copa en función del DBH.

DBH (cm)	Scopa (m²)
10	268.5
20	472.6
30	658.5
40	841.3
50	732.1
60	392.2
70	454.0
80	228.8
90	223.5
100	1055.9
	5327.3

Fuente: Elaboración propia.

La diferencia entre la superficie total de la zona inventariada y la superficie proyectada de copas da la superficie total de suelo desnudo (5).

$$SBS = 10000 m^2 - 5327.3 m^2$$

(5)

$$SBS = 4672.7 m^2$$

Sabiendo el valor en m^2 de la superficie total de la zona sin cubierta, se permitió escalar los 2.98 kg de CO_2/m^2 , multiplicados entre ellos y transformados a toneladas. Se puede saber que la respiración total del suelo desnudo es de 13.92 ton.

El Efflux por hectárea o superficie inventariada es la suma de la respiración del suelo bajo copa y la respiración del suelo desnudo. Dando como resultado 38.82 ton de CO_2/ha .

CONCLUSIONES

1. El estudio del flujo de dióxido de carbono en el manglar de la Bahía de Panamá solo brinda información de cuanto CO₂ es emitido por el ecosistema a nivel de suelo (respiración heterotrófica y autotrófica). Si se desea conocer la productividad neta del área, es fundamental saber cuánto flujo entra por medio de la fotosíntesis y realizar la respectiva ecuación (la diferencia entre lo que se absorbe y lo que se respira).
2. Adecuar un modelo matemático en un ambiente natural, como lo es un ecosistema marino-costero, donde el comportamiento es impredecible, resulta en su mayoría con valores significativos, pero no como se espera en comparación a un análisis teórico. Como es en el caso del proyecto, el coeficiente de determinación R² ajustado proporciona que, el modelo explica el 27.7 % de la variabilidad en LOG(Efflux). Estadísticamente la relación establecida con respecto a las variables usadas es poco significativa.

3. El valor obtenido en la respiración del suelo total del manglar es de 38.82 ton de CO₂/ha, dicho resultado se puede atribuir, además de las condiciones climáticas; a los elementos externos vistos en campo, los cuales fueron: la acumulación de desechos solidos provenientes arrastrados a los manglares por las mareas y la materia orgánica en descomposición.

4. Basándose con el estado del arte, no se tiene registrado estudios de dióxido de carbono en el manglar de la Bahía de Panamá, por lo que no cuenta con datos comparativos. Sin embargo, en años anteriores se realizó un estudio de aproximadamente cuatro años de duración, donde se obtuvo que la retención de carbono, con respecto al valor teórico de 2000 ton/ha de carbono azul, solo dio como resultado un total de 613 ton/ha. Esto corrobora que la cantidad de CO₂ que el suelo del manglar libera a través de la respiración, va en aumento.

5. Las condiciones climáticas es un factor importante en los resultados obtenidos y una limitante al momento de hacer las mediciones. Por lo que se puede resaltar la variable precipitación como uno de esos factores, que afecta directamente las concentraciones del CO₂.

RECOMENDACIONES

1. El seguimiento en las investigaciones es la clave para conocer más sobre el comportamiento de las variables que afectan al fenómeno que se desea estudiar. Para ello, es necesaria la capacitación e interés en estudios relevantes al tema, así como reforzar los cursos de metodología de la investigación, particularmente, en los temas de estadísticas aplicadas y usos de programas analíticos.
2. Debido a la falta relación significativa que poseen las variables tomadas en cuenta. Se sugiere realizar nuevos modelos considerando modelos no lineales, parámetros adicionales como la precipitación, la humedad del suelo, hacer las mediciones de día y noche, y realizar mediciones en estaciones climáticas diferentes (temporada seca y lluviosa).
3. Al implementar el uso constante de los equipos (torre meteorológica y LICOR 6400) en ecosistemas con variaciones climáticas extremas, es recomendable calibrar, optimizar y realizar mantenimientos periódicos para que los valores no se vean alterados a la hora de hacer las mediciones.

4. Impulsar el estudio de la respiración del suelo en humedales de otras regiones del país, para poder tener una base de datos comparativos de zonas más cercanas.

5. Si se desea realizar nuevas mediciones de flujo de carbono en los manglares de Panamá, es importante la utilización de equipos tecnológicos adaptados a los diversos cambios de clima y tomar en cuenta los altos niveles de humedad y precipitación presentes en el sitio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACAN-EFE, P. (21 de septiembre de 2017). "El Niño" destruyó hasta 70% de manglares de Panamá en 2016. *Crítica*.

Ambiental.com.mx, P. (8 de Octubre de 2021). *Tras severa sequía, se recuperan manglares en un área de la Bahía de Panamá*. Obtenido de <https://www.portalambiental.com.mx/biodiversidad/20211008/tras-severa-sequia-se-recuperan-manglares-en-un-area-de-la-bahia-de-panama>

ANAM-ARAP. (2013). *Manglares de Panamá: importancia, mejores prácticas y regulaciones vigentes* (Primera ed.). (A. Tarté, Ed.) Panamá: Novo Art, S.A.,. Obtenido de <https://online.fliphtml5.com/eebm/lojx/>

Audubon. (2002). *Ficha Informativa Ramsar*. Bahía de Panamá, Panamá.

Autoridad Nacional de Aduanas. (30 de Diciembre de 2016). *Protocolo de Montreal (Ozono)*. Obtenido de Aduanas Verdes: https://www.ana.gob.pa/w_av/index.php/menus/protocolo-de-montreal-ozono

Barón López, F. J., & Téllez Montiel, F. (Diciembre de 2004). *Apuntes de Bioestadística*. Obtenido de <https://www.bioestadistica.uma.es/baron/apuntes/ficheros/cap06.pdf>

BBVA. (25 de Octubre de 2021). *¿Qué es el protocolo de Kioto y cuál era su objetivo?* Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible:

<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-protocolo-de-kioto-y-cual-era-su-objetivo/>

Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Colombia, Bogotá: IDEAM. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=9059>

Boone Kauffman, J., Donato, D. C., & Adame, M. F. (2013). *Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares*. Indonesia: CIFOR.

Cárdenas-Castillero, G. (2018). *Centro de Incidencia Ambiental de Panamá. Entorno socio-ambiental y calidad de agua del Área Protegida Humedal Bahía de Panamá*. Panamá: Fundación David & Lucile Packard.

Cicerone, R., & Oremland, R. (1988). Biogeochemical aspects of atmospheric methane. *Global Biogeochemical Cycles*, 288-327.

CIHH. (2019). *Análisis de Flujo de CO₂ y Vapor de Agua de un ecosistema de Manglar*. Obtenido de <http://manglar-carbono.utp.ac.pa/>

Cisneros de la Cruz, D. J., Herrera Silveira, J. A., Teutli Hernández, C., Ramírez García, S. A., Moreno Martínez, A., Pérez Martínez, O., . . . Paz Pellat, F. (2021). *Manual para la Medición, Monitoreo y Reporte del Carbono y Gases de Efecto Invernadero en Manglares en Restauración* (Primera ed., Vol. I). México, Península de Yucatán: CIFOR/CINVESTAV-IPN/UNAM-Sisal/PMC. Obtenido de <https://www.cifor.org/knowledge/publication/8051>

https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Reports/Manual-SWAMP-sp.pdf

Condit, R., Pérez, R., & Daguerre, N. (2010). *Tree of Panama and Costa Rica*. Princeton Field Guides.

Díaz Cordero, G. (Abril-Junio de 2012). El Cambio Climático. *CIENCIA Y SOCIEDAD*, XXXVII(2), 227-240. Obtenido de <http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/handle/123456789/1392>

EFE, P. (19 de junio de 2019). La presión humana y el clima devastan el manglar de la Bahía de Panamá. *Crítica*.

Fernández Collado, C., & Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill.

Flores De Gracia, E., Gallardo, M., & Núñez, E. (2009). *Inventario de los humedales continentales y costeros de Panamá*. Centro Regional Ramsar para la Capacitación e Investigación sobre Humedales para el Hemisferio Occidental (CREHO). Panamá: Editora Novo Art, S.A. Obtenido de <https://online.fliphtml5.com/eebm/dqfe/>

García, R., Demetriades-Shah, T., Welles, J., McDermitt, D., & Norman, J. (s.f.). *Measurements of soil CO₂ Flux*. Universidad de Wisconsin, Madison, WI.

Gnanamoorthy, P. (2019). Diurnal and seasonal patterns of soil CO₂ efflux from the Pichavaram mangroves, India. *Environ Monit Assess*, 191-258.

Gobierno de Panamá. (2016). *Contribución Nacionalmente Determinada a la Mitigación del Cambio Climático (NDC) de la República de Panamá ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUC)*. Panamá.

González Gaudiano, E. J., & Meira Cartea, P. Á. (2020). Educación para el cambio climático ¿Educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles educativos*, 42(168), 157-174. Recuperado el 17 de Febrero de 2022, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/peredu/v42n168/0185-2698-peredu-42-168-157.pdf>

González, J., Tejedor Flores, N., Pinzón, R., & Franco, A. (s.f.). Cuantificación de flujos de CO₂ en un ecosistema de manglar en la Bahía de Panamá. En J. Mora Aliseda, R. Castanho, & J. Kurowska-Pysz, *Políticas públicas territoriales y desarrollo regional*.

Guerra Sosa, C. (2019). *Análisis de temperatura del aire y humedad relativa en una zona del ecosistema de manglar del humedal de la bahía de Panamá*. Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá.

IPCC. (2013). Glosario. En Stocker, T. F, D. Qin, G. -K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allern, . . . P. Midgley, *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe* (págs. 186-204). Francia: Serge Planton. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf

Kaufmann, K. W. (2012). *Nuestros Humedales, Nuestro Futuro. Plan de Conservación para los Humedales de la bahía de Panamá* (Primera ed.). Panamá: Sociedad Audubon de Panamá.

Ley 1 de 2 de febrero de 2015. (s.f.). *Que declara área protegida al refugio de vida silvestre Sitio Ramsar Humedal Bahía de Panamá*. (L. A. Nacional, Ed.) Panamá: Gaceta Oficial Digital. Obtenido de https://www.asamblea.gob.pa/APPS/LEGISPAN/PDF_NORMAS/2010/2015/2015_615_4009.pdf

Ley 41 del 1 de julio de 1998. (s.f.). *Ley General del Ambiente*. Panamá: Asamblea Legislativa.

Ley No. 38 de 3 de junio de 2015. (s.f.). *POR LA CUAL SE APRUEBA LA ENMIENDA DE DOHA AL PROTOCOLO DE KYOTO, ADOPTADO EN DOHA, EL 8 DE DICIEMBRE DE 2012*. Panamá: Asamblea Nacional. Obtenido de <https://dcc.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2021/03/Ley-38-de-3-de-junio-de-2015.pdf>

Ley No.6 de 1 de febrero de 2006. (2006). *Que reglamenta el ordenamiento territorial para el desarrollo urbano y dicta otras disposiciones*. Panamá: Asamblea Nacional.

LI-COR Biosciences, I. (1998-2012). Using the LI-6400/6400XT Portable Photosynthesis System. Lincoln, Nebraska.

Lloyd, J., & Taylor, J. (1994). On the Temperature Dependence of Soil Respiration. *Funcional Ecology*, 315-323.

MIAMBIENTE. (2015). *Mitigación del Cambio Climático: Reserva de Carbono* .

Obtenido de Manglares y el Cambio Climático:
<https://manglares.miambiente.gob.pa/index.php/classifieds/category-news-2/category-news-1>

MIAMBIENTE. (2015). *Mitigación del Cambio Climático: Sumidero de Carbono*.

Obtenido de Manglares y el Cambio Climático:
<https://manglares.miambiente.gob.pa/index.php/classifieds/category-news-2/category-news-4>

MIAMBIENTE. (2015). *Proyecto Protección de Reservas y Sumideros de Carbono*

de los Manglares de Panamá. Obtenido de Sobre el proyecto:
<https://manglares.miambiente.gob.pa/>

MIAMBIENTE. (24 de Mayo de 2017). *MEDICIÓN DE CARBONO EN LOS*

MANGLARES DE PANAMÁ: PREGUNTAS Y RESPUESTAS. Obtenido de Noticias:

<https://manglares.miambiente.gob.pa/index.php/extensions/noticias-del-proyecto/196-medicion-de-carbono-en-los-manglares-de-panama-preguntas-y-respuestas>

Ministerio de ambiente & PNUP. (2017). *Protocolo para medición de carbono*

en ecosistemas de manglar en Panamá. Panamá: Serie técnica No. 2.

Ministerio de Ambiente. (2018). *Política Nacional de Humedales de la República*

de Panamá. Panamá: Tiwys Workshop, S.A. Obtenido de <https://online.fliphtml5.com/eebm/emeo/>

Ministerio de Ambiente. (2018). *Tercera Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático, Panamá*. Panamá: PNUD. Obtenido de <https://online.fliphtml5.com/eebm/ssel/>

Ministerio de Ambiente. (2019). *Estrategia Nacional de Cambio Climático, 2050*. Panamá: Ministerio de Ambiente.

Ministerio de Ambiente. (2019). *GEO Panamá 2019: Informe del estado ambiental*. Panamá. Ministerio de Ambiente. Panamá: Editora Novo Art, S.A. Obtenido de <https://online.fliphtml5.com/eebm/xnvw/>

Ministerio de Ambiente. (2020). *Informe de Inventario Nacional 2020 (IIN2020)*. Panamá: fmam/PNUD. Obtenido de <https://online.fliphtml5.com/eebm/yfjt/>

Ministerio de Ambiente. (2022). *Plan Nacional de Acción Climática de Panamá (PNAC)*. Panamá: Panamá Transfórmate. Obtenido de <https://online.fliphtml5.com/eebm/vage/>

Ministerio de Ambiente. (2022). *Plan Nacional de Género y Cambio Climático de Panamá*. Panamá: PNUD Panamá. Obtenido de <https://online.fliphtml5.com/eebm/mlcd/>

Ministerio de Salud y Unidad de Ozono, PNUD. (2020). *Plan de Enfriamiento de Panamá*. Panamá: KIGALI. Obtenido de <https://online.fliphtml5.com/eebm/cvch/>

- Mnisterio de Ambiente. (2020). *Contribución Determinada a Nivel Nacional de Panamá (CDN1). Primera Actualización*. Panamá: Panamá Transformate. Obtenido de <https://online.fliphtml5.com/eebm/gbit/>
- Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Unión Europea: United Nations Climate Change. Recuperado el 17 de Febrero de 2022, de https://unfccc.int/sites/default/files/convention_text_with_annexes_spanish_for_posting.pdf
- Olivera, M. (18 de Enero de 2022). *¿Qué es el Protocolo de Montreal?* (CEMERI) Obtenido de Protocolo de Montreal: <https://cemerri.org/enciclopedia/que-es-el-protocolo-de-montreal/>
- Ortega, V. S. (2020). *CONAMA*. Obtenido de Humedales por el clima: <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2020/CT%202020/5323.pdf>
- Paredes, B., & Cárdenas, D. (2020). *Evaluación del secuentro de carbono en sedimentos de manglar de cuatro edafopaisajes en dos islas del archipiélago de Galápagos*. Riobamba, Ecuador.
- Pinzón, R. (2018). *PROYECTO FID16-30: "ANÁLISIS DE FLUJOS DE CO2 Y VAPOR DE AGUA DE UN ECOSISTEMA DE MANGLAR EN LA BAHÍA DE PANAMÁ". INFORME: PARÁMETRO DE TEMPERATURA DEL SUELO PARA EL AÑO 2018*. Panamá: SENACYT UTP FID16-30.

- Quintero, A., Plata, W., Olimón, V., Monjardín, S., & Nemiga, X. (2021). Dynamics of changes in land use and estimation of CO₂ in mangroves in the Marismas Nacionales area, Mexico. *Ciencias Marinas*, 105-125.
- Quiñones, L. (22 de Septiembre de 2019). *Naciones Unidas: Noticias ONU. Mirada global historias humanas*. Obtenido de Cambio climático y medioambiente: <https://news.un.org/es/story/2019/09/1462482>
- Rivera-De Jesús, W. O. (2019). *Humedales Urbanos en el contexto de Cambio Climático: Prácticas efectivas para su rehabilitación, el caso de la Ciénaga las Cucharillas en Puerto Rico*. Ecuador: Martha Molina Moreira (Comp.) Primer Congreso Manglares de América.
- Rodrigo, R. (30 de Septiembre de 2020). *¿Qué es el Protocolo de Kyoto? – Definición, resumen, ventajas y desventajas*. Obtenido de Medio ambiente y ecología: <https://estudiando.com/que-es-el-protocolo-de-kyoto-definicion-resumen-ventajas-y-desventajas/>
- Rodríguez, A. (2020). *Ficha Informativa Ramsar*. Panamá, Bahía de Panamá.
- Rodríguez-Jaume, M.-J., & Mora Catalá, R. (2001). Análisis de Regresión Múltiple. En *Estadística Informática: casos y ejemplos con el SPSS* (págs. 3-11). Murcia: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Ros García, J. M., Irastorza Ruigómez, L., Gonzáles Lezcano, R. A., & Garnica Betrán, C. (2019). *Cambio Climático y Pueblos Indígenas: Comarca Guna Yala* (Primera ed., Vol. I). (C. Sánchez Sainz-Trápaga, Ed.) España: McGraw- Hill/Interamericana de España, S.L.

- Rubio Trabazos, Á. (31 de octubre de 2018). *Statgraphics y la Regresión*.
Obtenido de <https://www.techedgegroup.com/es/blog/statgraphic-y-regresion>
- Serrano, E., & Núñez, M. (2009). *Cuantificación de flujo de CO2 en el suelo*.
Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil. Panamá:
UTP.
- Simpson, L. (2018). Wetland Soil CO2 Efflux Along a Latitudinal Gradient of Spatial
and Temporal Complexity. *Estuaries and Coasts*.
- Sociedad Audubon de Panamá. (2002). *Ficha Informativa de los Humedales de
Ramsar (FIR)*. Panamá: ANAM.
- Sociedad Audubon de Panamá/Fundación Natura/FIDECO. (2016). *Plan de Sitio
para los humedales de la Bahía de Panamá: Implementación del Plan
Nacional de Comunicación, Educación, Concienciación y Participación del
Público (CECoP) para los humedales de Panamá* (Primera ed.). 24:
Servigráficos, S.A.
- Statgraphics Technologies, I. (2021). *Statgraphics 19 centurion*. Obtenido de
<https://www.statgraphics.com/>
- Stocker, F, T., Qin, D., Plattner, G. -K., Tignor, M., Allern, S. K., . . . Midgley, P.
(2013). Glosario. En IPCC, *Cambio Climático 2013. Bases físicas.
Contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del
Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (págs.
185-204). Francia: Serge Planton. Obtenido de

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf

Sugasti, L. (2019). *Estudio de la Producción y Transporte de CO2 en suelo, en una parcela de 1 ha de bosque tropical secundario maduro, en isla Barro Colorado*. Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Mecánica. Panamá: UTP.

Trespacios, J., Blanquicett, C., & Carrillo, P. (2018). *Gases y efecto invernadero*. Instituto Desarrollo Sostenible, Escuela Internacional de Doctorado, Universidad del Norte, SENA. Basilea-Suiza: DSTO.

United Nations Climate Change. (s.f.). *¿Qué es el Acuerdo de París?* Obtenido de UNFCCC Sites and plataformas: <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/que-es-el-acuerdo-de-paris>

Wetlands. (8 de octubre de 2013). *Wetlands International*. Obtenido de Nuevo estudio indica áreas claves de mayor concentración de carbono en la biomasa aérea de los ecosistemas de manglar: <https://lac.wetlands.org/noticia/nuevo-estudio-indica-areas-claves-mayor-concentracion-carbono-la-biomasa-aerea-los-ecosistemas-manglar/#:~:text=Como%20todas%20las%20plantas%2C%20los,en%20hojas%2C%20ra%C3%ADces%20y%20troncos.>

Zheng, X. (2018). Methane Emission from Mangrove Wetland Soils Is Marginal but Can Be Stimulated Significantly by Anthropogenic Activities. *forests*, 1-13.

ANEXOS

Ultimo certificado de calibración del equipo LICOR 6400XT.

LI-6400 Portable Photosynthesis System

Calibration Certificate

Serial Number PSC-2248

Date: 4 Jun 2018

Technician _____

Factory Calibration (/dev/.factory)

```
li6400
factory
unit="PSC-2248"
serviced="4 Jun 2018"
fuseaware=0
co2mixer=yes
co2
coeffs={ 0 0.218344 2.12529e-05 2.27158e-08 -4.09866e-12 3.7887e-16 }
dvdlt=-3.6
xs={ -3.77e-05 -0.000393 }
h2o
coeffs={ 0 0.00577293 2.23245e-06 -1.08023e-11 }
dvdlt=-2.9
xs={ -0.00254 0.00114 }
flow={ 0 0.3731 }
press={ 90.407 0.00551 }
```

User Calibration (/dev/.user)

```
li6400
user
flow_zero=-39.1
irga_zero
co2=351.6 -507.8
at=30.0038
h2o=156.2 0.0
at=29.9627
irga_span
co2={ 0.990643 0.991996 }
h2o={ 0.997881 0.998559 }
irga_match
co2={ 0.958347 -0.709789 }
h2o={ 0.0342312 -0.0351482 }
co2_mixer
pump_mv=4500
ppm={ 2373.86 1127.81 443.049 269.039 123.69 72.8544 48.8346 47.6367 }
mv={ 5000 3000 1500 1000 500 300 200 100 }
parin_offset=0
led_cal
unit="SI-2305"
mv={ 10 25 50 100 1000 2000 3000 4000 5000 }
qntm={ 3.32914 13.0619 31.5922 75.4121 893.263 1752.24 2564.36 3342.23 4079.97 }
lef_cal
unit="unknown"
red
mv={ 50 100 500 1000 1500 5000 }
qntm={ 50 100 500 1000 2000 5000 }
blue
mv={ 100 200 500 1000 2000 5000 }
qntm={ 10 20 50 100 200 500 }
```


ESTIMACIÓN DE CO₂ POR EL PROCESO DE RESPIRACIÓN DE SUELO EN EL MANGLAR DE JUAN DÍAZ

¹MARINA GÓMEZ, ²LUISIVETH RODRÍGUEZ, ³DIANES GONZÁLEZ, ⁴RODRIGARCY PINOY, ⁵MARIALBA TELLEZ
¹Facultad de Ingeniería Civil – Ingeniería Ambiental-UTP, ²Centro de Investigaciones Ecológicas e Ambientales (CIEA)-UTP, ³Escuela Nacional de Investigación (ENI)

INTRODUCCIÓN

El manglar es un ecosistema conformado principalmente de árboles tolerantes a la sal, por lo que solo crecen en zonas tropicales y subtropicales del planeta. Ellos prefieren las bahías más cerradas y protegidas de fuertes oleajes y mareas, donde abundan los sedimentos y nutrientes arrastrados por los ríos [1]. Su existencia es de suma importancia, debido a que son el hogar de diversas especies marinas, terrestres y aéreas. Se estima que los manglares ocupan apenas un 3% de la superficie terrestre [1].

Sirven como barrera natural ante la introducción de amenazas procedentes del mar hacia la tierra sirviendo soporte contra marejadas, vientos, tormentas tropicales y tsunamis. Los manglares desde tiempos ancestrales tienen diversos usos culturales como el aprovechamiento de madera, taninos, producción de sal, agricultura y ganadería [2].

Los manglares también funcionan como pulmones del mundo, por su capacidad de capturar el dióxido de carbono de la atmósfera, almacenándolo por toda su estructura mediante la fotosíntesis y liberándolo como oxígeno. Además, en el suelo del manglar también se almacena carbono gracias a las raíces de los árboles y a la materia orgánica.

En Panamá se está realizando el proyecto SENACYT, FID2016-30 cuyos objetivos son crear metas que permitan verificar hipótesis científicas sobre las medidas para la valoración y conservación de manglares [3]. De esta forma esta investigación presenta las primeras mediciones del flujo de carbono en el manglar de Juan Díaz, con el fin de aportar información sobre este valioso ecosistema.

DISCUSIÓN

Las actividades generadas por el hombre para su desarrollo económico y social, ha aumentado el dióxido de carbono, un gas que a altos niveles en la atmósfera puede causar eventos de cambio climático y afectando gravemente al medio ambiente y en especial a los manglares, haciendo un impacto irreversible.

En Panamá, debido a las actividades antropogénicas, se calcula que los Manglares actualmente cubren el 2.3% de la superficie total del país. Durante los últimos 50 años, se han talado más de la mitad de los manglares [1]. Ver grafica 1.



Gráfica 1. Distribución de la cobertura de manglares en Panamá, 1969-2007. Fuente: Manglares de Panamá: Importancia, mejores prácticas y regulaciones vigentes.

Se estiman unas 360,000 hectáreas para el 1969 y cerca de 17,000 en 2007. Por tal motivo la captación de dióxido de carbono de los manglares no sería la misma. La pérdida de cobertura boscosa afecta al ecosistema dejándolo expuesto a elevados niveles de contaminantes.

Existe un método para medir los niveles de dióxido de carbono la respiración del suelo, que es la producción total de CO₂, por unidad de área y de tiempo, y se debe a la respiración de organismos edáficos, raíces y micorrizas.

OBJETIVO GENERAL

- ✓ Cuantificar la tasa de flujo de carbono en el suelo del manglar de Juan Díaz.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

➤ **Descripción del lugar**

El manglar está ubicado junto al río Juan Díaz, vecino a la planta de tratamiento de aguas residuales del Programa de Saneamiento de Panamá.

El proyecto SENACYT, FID2016-30 consta con el acceso a una torre de meteorología y de covarianza Eddy, con coordenadas 9°00'53.5"N y 79°27'10.3"W. Dicha estación experimental está dedicada a la memoria de Jay Zisman (qepd), de la Universidad de Virginia -USA, y quien promovió la investigación y conservación de los manglares, ecosistemas tan ricos como frágiles y diversos que posee el Istmo de Panamá [3].

Utilizando un transecto localizado entre parcelas inventariadas, de las especies arbóreas dominantes (*Avicennia germinans* y *Avicennia bicolor*), adyacente a la torre de covarianza Eddy, se mide en varios puntos la respiración de suelo empleando un sistema Licor 6400 XT de cámara cerrada. Ver figura 2.

➤ **Equipos**

Este proyecto cuenta con un sistema de cámara dinámica cerrada del equipo Licor 6400 XT. Ver figura 2.

Anillos de PVC de 3cm de altura y 71.6 cm de diámetro.



Figura 1. Torre Covarianza Eddy "Dr. Joseph Jay Zisman". Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Licor 6400 XT. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIÓN

La estimación de flujo de carbono obtenida en el estudio, se encuentra dentro de los intervalos de flujos de CO₂ en superficie del suelo, para bosques tropicales. Las técnicas de cámara dinámica cerrada permiten medir el intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera.

RECOMENDACIONES

Es importante el uso correcto de los instrumentos, colocar todos los dispositivos y los cables en orden. También, debemos realizar más campañas de medición considerando las estaciones secas y transición.

REFERENCIAS

[1] ANAM and ARAF. "Manglares de Panamá: importancia, mejores prácticas y regulaciones vigentes." Novo Art, S.A., Panamá, 2011.

[2] D. Torres. *El Ecosistema de Manglar en América Latina y la Cuenca del Caribe: su riqueza y conservación*. Panamá: MUSA, FIDAC/CEA, 1994.

[3] "ANÁLISIS DE FLUJO DE CO₂ Y VAPOR DE AGUA DE UN ECOSISTEMA DE MANGLAR." [Online]. Available: <http://manglar-carbono.yni.ac.pa/>











Participación en el programa III ESCUELA DE VERANO DE MEDICIÓN DE CO₂:
Aplicaciones en Estadísticas, Panamá 2022.



Pasantía de investigación en Grupo de investigación en Medio Ambiente y Recursos Forestales de la Universidad de Castilla – La Mancha, Albacete-España 2022.





Giras al área de estudio, Manglar de Juan Díaz 2020-2022.





Pruebas y uso del equipo LI-6400XT, UTP - Campus Víctor Levi Sasso 2021.

