

Universidad Tecnológica de Panamá

Facultad de Ingeniería Civil

Análisis de temperatura del aire y humedad relativa en una zona del ecosistema
de manglar del humedal de la bahía de Panamá

Presentado por:

Carlos Eduardo Guerra Sosa

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

2019

Resumen

Panamá cuenta con múltiples humedales designados como áreas protegidas, entre ellos el Humedal Bahía de Panamá. Dado el gran aporte ecológico y económico de este y otros ecosistemas de manglar se requiere contar con estudios que evalúen parámetros sensitivos en dichas zonas para determinar si se han dado variaciones que puedan causar daños irreversibles, principalmente a causa del cambio climático. Esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa en una sección del humedal. En dicha sección, cercana a urbanizaciones y otros proyectos se cuenta desde el 2015 con una torre de medición de parámetros meteorológicos. La colecta de datos se realizó a través giras mensuales hacia la torre, donde los datos eran descargados desde un *datalogger*, para luego ser procesados usando el ambiente de programación R. Con técnicas de estadística descriptiva se obtuvo información sobre valores máximos, mínimos y medios para los años 2017 y 2018, además de evaluar la correlación entre ambas variables. Se concluyó que ambas variables tienen una fuerte varianza compartida y que las temperaturas aún se encuentran en un rango adecuado para este tipo de ecosistema. Se recomienda enfocar futuros estudios a evaluar la respuesta estomática de los manglares, pues es una medida más confiable del desempeño de las especies de mangle en el área ante cambios en los parámetros aquí estudiados.

Palabras clave: manglar, humedal Bahía de Panamá, temperatura del aire, humedad relativa, R.

Dedicatoria

A mi abuelo Mateo y mi abuela Beatriz.

Agradecimientos

A la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo financiero al proyecto FID2016-30, bajo el cual se realizó esta investigación.

Al Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas de la Universidad Tecnológica de Panamá, por la promoción de oportunidades de investigación en temas concernientes al cambio climático y el manejo del recurso hídrico en el país.

Al doctor Reinhardt Pinzón, por su paciencia, apoyo, aliento y guía como asesor de esta investigación.

A la doctora Nathalia Tejedor, la ingeniera Ana Franco y licenciado Felipe Rivera por su apoyo durante las giras a campo y su atención a consultas durante el desarrollo de este trabajo.

Al señor Juan Medina, por su asistencia y consejo durante el desarrollo de la programación para el procesamiento de los datos utilizados y la creación de gráficas.

Al doctor Walter Pflieger por permitir el uso de sus imágenes tomadas del humedal Bahía de Panamá en este trabajo.

Índice General

Resumen	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice General	v
Índice de Figuras	vii
Índice de Tablas	x
Introducción.....	xi
Capítulo 1: Manglares en el mundo y Panamá.....	1
1.1. Generalidades	2
1.2. Distribución biogeográfica.....	6
1.3. Funciones y servicios.....	9
1.3.1. Preservación y acreción de sedimentos	9
1.3.2. Biomasa y productividad.....	9
1.3.3. Rol dentro del ciclo del carbono.....	12
1.3.4. Protección costera	15
1.3.5. Otros usos	17
1.4. Amenazas relacionadas al cambio climático	21
1.5. Los manglares de Panamá.....	26
Capítulo 2: Humedal Bahía de Panamá	28
2.1. Descripción general	29
2.2. Importancia ambiental y económica.....	34
2.3. Protección legal a los manglares y al humedal Bahía de Panamá	38
Capítulo 3: Metodología	44

3.1. Sistema de recolección de datos: Torre micrometeorológica Jay Zieman para la medición de covarianza de remolinos y dióxido de carbono.....	45
3.2. Análisis estadístico de las variables con el uso de R.....	51
3.2.1. Introducción a R.....	51
3.2.2. Conceptos clave	53
3.2.3. Datos de entrada	57
3.2.4. Análisis de correlación	60
Capítulo 4: Análisis de Resultados	63
4.1. Temperatura del aire.....	64
4.1.1. Análisis mensual por elevación.....	64
4.1.2. Análisis con diagramas de caja y bigote.....	66
4.1.3. Mapa de calor	70
4.2. Humedad relativa.....	71
4.2.1. Análisis mensual por elevación.....	71
4.3. Análisis de correlación	75
Limitantes	76
Conclusiones	78
Recomendaciones.....	81
Referencias bibliográficas.....	82
Anexos	105

Índice de Figuras

Figura 1: Ecosistema de manglar en La Restina, Venezuela	2
Figura 2: Vista satelital de los Sundarbans.....	4
Figura 3: Cristales de sal sobre la superficie de una hoja de <i>Avicennia germinans</i>	5
Figura 4: Mapa mundial de distribución de los manglares.....	6
Figura 5: Manglares de Centroamérica	8
Figura 6: <i>Avicennia marina</i> en los manglares de Sabah, Malasia	11
Figura 7: Modelo conceptual del ciclo del carbono en los manglares y la importancia de las descargas de agua de poro en este proceso.....	13
Figura 8: Manglares costeros de la isla de Simeulue, cerca de Sumatra, Indonesia después del tsunami de 2004.....	16
Figura 9: <i>Nypa fruticans</i>	18
Figura 10: Frutos de la <i>Nypa fruticans</i>	19
Figura 11: Abeja mielera en flor de <i>Avicennia germians</i>	20
Figura 12: Escenarios de respuesta de los manglares en 4 casos.....	23
Figura 13: Cobertura nacional de manglares entre 1969 y 2007	26
Figura 14: Hábitat de manglares del Humedal Bahía de Panamá.....	29
Figura 15: Mapa del humedal Bahía de Panamá con coordenadas	31
Figura 16: <i>Laguncularia racemosa</i>	32
Figura 17: <i>Avicennia germinans</i>	32
Figura 18: <i>Uca rapax</i> macho	36
Figura 19: <i>Seiurus noveboracensis</i>	36
Figura 20: <i>Calidris mauri</i>	37

Figura 21: <i>Anadara tuberculosa</i>	37
Figura 22: Contraste entre el bosque de manglar en Juan Díaz y la urbanización Costa del Este	41
Figura 23: Manglar de Juan Díaz con signos visibles de deforestación	43
Figura 24: Ubicación de la torre dentro del sitio de estudio y otros hitos cercanos	46
Figura 25: Diagrama de la Torre Jay Zieman ilustrando la disposición de los diversos instrumentos y su altura propuesta	47
Figura 26: <i>Datalogger</i> utilizado para el almacenaje y colecta de datos.....	47
Figura 27: Sensor de temperatura y humedad relativa dentro de escudo contra radiación.....	48
Figura 28: Vista desde el suelo de la torre Jay Zieman	49
Figura 29: Vista aérea de la torre Jay Zieman.....	50
Figura 30: Vista del ecosistema adyacente a la torre	50
Figura 31: Ventana inicial o consola de R	52
Figura 32: Consola de R Studio.....	52
Figura 33: Funciones para la generación de vectores.....	53
Figura 34: Argumentos de la función <i>data.frame</i>	54
Figura 35: Argumentos de la función <i>mean</i>	55
Figura 36: Argumentos de la función <i>ddply</i>	55
Figura 37: Argumentos de la función <i>ggplot</i>	56
Figura 38: Formato del archivo con los datos de temperatura y humedad	57
Figura 39: Diagrama representativo de los elementos de un <i>boxplot</i>	59
Figura 40: Ecuación para el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson	60

Figura 41: Tipos de correlación	61
Figura 42: Temperatura del aire a 9 elevaciones para el 2017.....	64
Figura 43: Temperatura del aire a 9 elevaciones para el 2018.....	65
Figura 44: <i>Boxplot</i> anual para serie de temperaturas mensuales del 2017	66
Figura 45: <i>Boxplot</i> anual para serie de temperaturas mensuales del 2018.....	68
Figura 46: Mapa de calor para los años 2017 y 2018.....	70
Figura 47: Humedad relativa a dos elevaciones para el 2017	71
Figura 48: Humedad relativa a dos elevaciones para el 2018.....	73
Figura 49: Diagrama de dispersión para los valores de temperatura del aire y humedad relativa de la estación T1-H1	75
Figura 50: <i>Pelicanus occidentalis carolinensis</i> y <i>Coragyps atratus</i>	76
Figura 51: Ejemplo de mecanismos de protección contra aves para los sensores de la torre	77
Figura 52: Vista satelital del manglar de Juan Díaz y la planta de tratamiento de aguas residuales durante la estación húmeda del 2017.....	80
Figura 53: Vista satelital del manglar de Juan Díaz y la planta de tratamiento de aguas residuales durante la estación seca del 2018	80

Índice de Tablas

Tabla 1.1: Los 12 países con mayor cobertura de manglares	7
Tabla 3.1: Alturas de medición de parámetros en la torre Jay Zieman	48
Tabla 3.2: Nivel de medición del coeficiente de correlación de Pearson	62
Tabla 4.1: Resultados de las mediciones de temperatura del aire para el año 2017	67
Tabla 4.2: Resultados de las mediciones de temperatura del aire para el año 2018	69
Tabla 4.3: Resultados de las mediciones de humedad relativa para el año 2017	72
Tabla 4.4: Resultados de las mediciones de humedad relativa para el año 2018	74

Introducción

La Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como hábitat de Aves Acuáticas, comúnmente conocida como la Convención de Ramsar es un tratado intergubernamental enfocado a la protección y uso sostenible de los humedales. La definición de humedales establecida en el manual de la Secretaría de la Convención de Ramsar (2016) es la siguiente:

“Las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”.

Panamá, país adherente a dicho acuerdo, cuenta con cinco humedales declarados de importancia internacional, siendo éstos los humedales Golfo de Montijo, Damani-Guariviara, Punta Patiño, San-San Pond Sak y el Humedal Bahía de Panamá ([ANAM-ARAP] Autoridad Nacional del Ambiente y Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá 2013), siendo un sector de este último el enfoque de esta investigación.

Los bosques de manglar son ecosistemas altamente diversos y productivos en las zonas intertidales de las líneas costeras tropicales y subtropicales (Bouillon et al. 2008; Spalding, Kainuma y Lorna 2011). Según estimaciones, ocupan el 3 por ciento de la superficie terrestre (ANAM-ARAP 2013). Su importancia ecológica es

inmensa y variada, siendo el hábitat de crianza de moluscos, peces y crustáceos; sirviendo como lugar de encuentro para aves playeras migratorias; previniendo y controlando el flujo de agua hacia y desde la costa y siendo los bosques con mayor densidad de carbono en el trópico, sobre todo en niveles inferiores del suelo (Bouillon et al. 2008).

A causa en parte a la interferencia humana, los manglares están rápidamente desapareciendo, entre 30 y 50 por ciento habiendo sido mermados en los últimos cincuenta años a causa del cambio en el uso de los suelos, siendo así de los bosques que sufren de las tasas más altas de deforestación (Donato et al. 2011; Spalding, Kainuma y Lorna 2011). Los efectos del cambio climático como el aumento en las temperaturas y en el nivel del mar, representan una amenaza a los manglares (Sippo et al. 2018).

Esta investigación se realiza en el marco del proyecto FID2016-30, auspiciado por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) y con la asistencia técnica del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) de la Universidad Tecnológica de Panamá. Los objetivos del proyecto son crear metas que permitan verificar hipótesis científicas sobre las medidas para la valoración y conservación de manglares en Panamá, probar hipótesis específicas sobre la condiciones ecológicas y atmosféricas que controlan el estado y funcionamiento de estos ecosistemas, transferir conocimiento a estudiantes panameños de pregrado y maestría, de manera que se conviertan en multiplicadores de estudios similares y facilitar la colaboración entre pares, de científicos nacionales y de otras

latitudes interesados en aprender de este ecosistema y los servicios ambientales que brindan al planeta, allí donde se encuentran (CIHH 2019).

Debido a la escasa información disponible relacionada a variables sensitivas como la temperatura y humedad relativa en ecosistemas en tropicales costeros de la zona se considera necesario llevar a cabo un monitoreo y análisis de las mismas, permitiendo asesorar el estado actual de los manglares en esta zona del humedal.

Capítulo 1: Manglares en el mundo y Panamá

1.1. Generalidades

Los manglares pueden definirse como un conjunto o formaciones de árboles, arbustos (incluyendo helechos y una palmera) y matorrales prevalentes en tierras bajas cenagosas y cercanas a los bancos y costas de ríos tropicales y subtropicales, donde el árbol de mangle, en sus diferentes especies suele tener presencia dominante (Spalding, Blasco y Field 1997; Spalding, Kainuma y Lorna 2011; ANAM-ARAP 2013; Cárdenas-Castillero 2018).



Figura 1. Ecosistema de manglar en La Restinga, Venezuela. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mangrove_in_La_Restinga.jpg.

Los factores influyentes en el establecimiento y sobrevivencia de estos ecosistemas son:

- Temperatura del aire: La temperatura del mes más frío no debe bajar de 20°C y la variación estacional no debe exceder los 5°C. La gran mayoría de los manglares son árboles tropicales adaptados a dichos climas. Son pocas las especies que se han adaptado a zonas de clima templado cálido y así lo demuestran los límites latitudinales en su distribución.
- Corrientes oceánicas: Los manglares no se encuentran en zonas en que las corrientes frías se acerquen a tierra.
- Protección contra el oleaje: los fuertes oleajes pueden evitar la adecuada propagación de los propágulos.
- Litorales someros: los litorales con poca pendiente donde la marea penetra más fácilmente, propician el desarrollo de extensiones de manglares. Los mayores yacimientos de bosques de manglar que se extienden por decenas de kilómetros hacia tierra adentro suelen ocurrir en costas deltaicas húmedas. Los ejemplos más notorios de extensiones casi contiguas de manglares en el mundo son el Norte de Brasil entre Belém y São Luis (6516 Km²), los Sundarbans (figura 2) entre India y Bangladesh (6502 Km²), Papúa meridional (5345 Km²), *Les Rivières du Sud* en el oeste de África desde el sur de Senegal, hasta el centro de Sierra Leona (7887 Km²), el delta del Níger (6642 Km²) y el delta el Orinoco en Venezuela (2799 Km²).



Figura 2. Vista satelital de los Sundarbans, en verde oscuro se resaltan los manglares. Elaborada por Jesse Allen, *Earth Observatory* (NASA). Disponible en: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/7028/sundarbans-bangladesh>.

- Salinidad: La alta salinidad a la cual son resistente los manglares, gracias a mecanismos como la exclusión, secreción y acumulación de sal, ayuda a disminuir la competencia con otras especies. Ciertas especies depositan la sal en la corteza de sus tallos y raíces, mientras que ciertas especies caducifolias desalojan la sal por sus hojas senescentes. Por su parte, las especies de los géneros *Aegialitis*, *Aegiceras*, y *Avicennia* excretan la sal a través de glándulas especiales en sus hojas en las cuales a veces se pueden apreciar cristales de sal (ver figura 3).



Figura 3. Cristales de sal sobre la superficie de una hoja de *Avicennia germinans*. Elaborada por y adaptada de: Ulf Mehling. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Avicennia_germinans-salt_excretion.jpg. Términos de la licencia de uso disponibles en: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/legalcode>.

- Régimen de mareas: Un régimen de mareas amplio asociado a costas con pocas pendientes se relaciona al desarrollo de amplias franjas de manglar.
- Sustrato lodoso: Si bien los manglares pueden crecer en arena, turba, roca coralina y lodo, la mayor proliferación se da en suelos lodosos (Rico-Gray 1993; Spalding, Kainuma y Lorna 2011).

1.2. Distribución biogeográfica

Los manglares se reparten en 123 países y territorios cubriendo aproximadamente 152000 Km²; sin embargo, solo 12 países representan en conjunto más de dos terceras partes de la cobertura de manglares en el mundo (ver tabla 1.1), Indonesia ostentando el primer lugar, incluso con pérdidas significativas en el oeste del país (Spalding, Kainuma y Lorna 2011). La figura 4 resalta las áreas cubiertas por manglares.



Figura 4. Mapa mundial de distribución de los manglares. Elaborada por y adaptada de: ChandraGiri. Disponible en: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18319881>. Términos de la licencia de uso disponibles en: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>.

Tabla 1.1: Los 12 países con mayor cobertura de manglares.

País	Superficie de manglares (Km²)	% de la superficie total
Indonesia	31894	20,9
Brasil	13000	8,5
Australia	9910	6,5
México	7701	5,0
Nigeria	7356	4,8
Malasia	7097	4,7
Myanmar	5029	3,3
Bangladesh	4951	3,2
Cuba	4944	3,2
India	4326	2,8
Papúa Nueva Guinea	4265	2,8
Colombia	4079	2,7

Fuente: (Spalding, Kainuma y Lorna 2011).

Los manglares representan solo el 1% de los bosques tropicales del mundo, concentrándose en las regiones tropicales de Asia (6246000 ha), América (5781000 ha) y África (3402000 ha) (Benitez y Segovia 2003). Los conglomerados más diversos de manglares en el mundo se encuentran en el sureste asiático; siendo Filipinas, Malasia, Indonesia y Myanmar algunos de los países con más de 30 especies no introducidas de manglares (Spalding, Kainuma y Lorna 2011). En las Américas, 70% de los manglares se encuentran en el litoral Atlántico, abarcando desde el Golfo de México hasta Brasil, mientras que el 30% remanente en las costas del Pacífico se extiende desde Baja California hasta Perú (Benitez y Segovia 2003; Cárdenas Castillero 2018). En cuanto a Centroamérica se refiere, las costas del Pacífico albergan aproximadamente 320000 hectáreas de manglares, con la mayor concentración encontrada en las costas de Panamá (165000 hectáreas, aproximadamente) (Benitez y Segovia 2003).



Figura 5. Manglares de Centroamérica. Elaborado por Spalding, Kainuma y Lorna (2011).

1.3. Funciones y servicios

1.3.1. Preservación y acreción de sedimentos

Los manglares participan de manera activa en el mantenimiento, mezcla, consolidación y generación de sedimentos y materia en los ambientes en los cuales se desarrollan; esto aunado al desarrollo de las raíces superficiales puede promover la elevación del nivel del suelo, incluso cuando factores como la descomposición de la materia orgánica puedan provocar una disminución en el mismo (Cahoon et al. 2006). En ciertas zonas del Caribe, como las descritas en Cahoon y Lynch (1997) y Mckee, Cahoon y Feller (2007) la acreción superficial y la expansión de la superficie a nivel inferior generan una elevación del terreno que permita seguirle el paso al aumento del nivel del mar teniendo índices de sedimentación superiores a los 4 milímetros por año.

1.3.2. Biomasa y productividad

Los bosques de manglar son de los ecosistemas más productivos, densos y ricos en carbono orgánico del planeta, desempeñando un papel importante y esencial en la secuestación y almacenamiento del mismo en sedimentos locales y *ex situ* (Bouillon 2011; Donato et al. 2011; Spalding, Kainuma y Lorna 2011; Fourqurean et al. 2012; Silveira et al. 2015; Silveira y Hernández 2017). A pesar de apenas representar aproximadamente el 3% de la superficie terrestre, (ANAM-ARAP 2013) por unidad de área los manglares, especialmente en las regiones tropicales

húmedas, almacenan en sus sedimentos de tres (Silveira y Hernández 2017) a cinco veces más carbono que otros ecosistemas terrestres (Bouillon 2011); dicho almacenamiento de carbono se divide en componentes de biomasa aérea (tronco leñoso, ramas, hojas y raíces aéreas) y biomasa subterránea (raíces subterráneas y biomasa de las raíces) (Komiyama, Ong y Pongparn 2008; Donato et al. 2011; Silveira et al. 2015).

A través de la revisión de una considerable cantidad de estudios de los últimos cincuenta años, Komiyama, Ong y Pongparn (2008) llegan a la conclusión de que en ecosistemas de manglar, suele asignarse mayor cantidad de biomasa a las raíces que en otro tipo de bosques; esto les confiere el beneficio de un mejor anclaje frente a condiciones climáticas tormentosas y ciclónicas, asegurando la estabilidad de las formaciones en sustratos blandos. Los autores también remarcan que, si bien el uso de las ecuaciones alométricas permite realizar estimaciones de biomasa y productividad primaria neta sin necesidad de extraer y destruir árboles en los ecosistemas estudiados, las variaciones en sitio de cada especie, así como una falta de conocimiento sobre la fisionomía y cobertura global de cada especie de manglar dificultan la obtención de promedios globales más certeros. Sin embargo, Alongi (2009) sugiere que las medidas elevadas de biomasa subterránea estaban falseadas al no considerarse la alta mortalidad de las raíces, lo cual podría exagerar los verdaderos datos de biomasa viva.

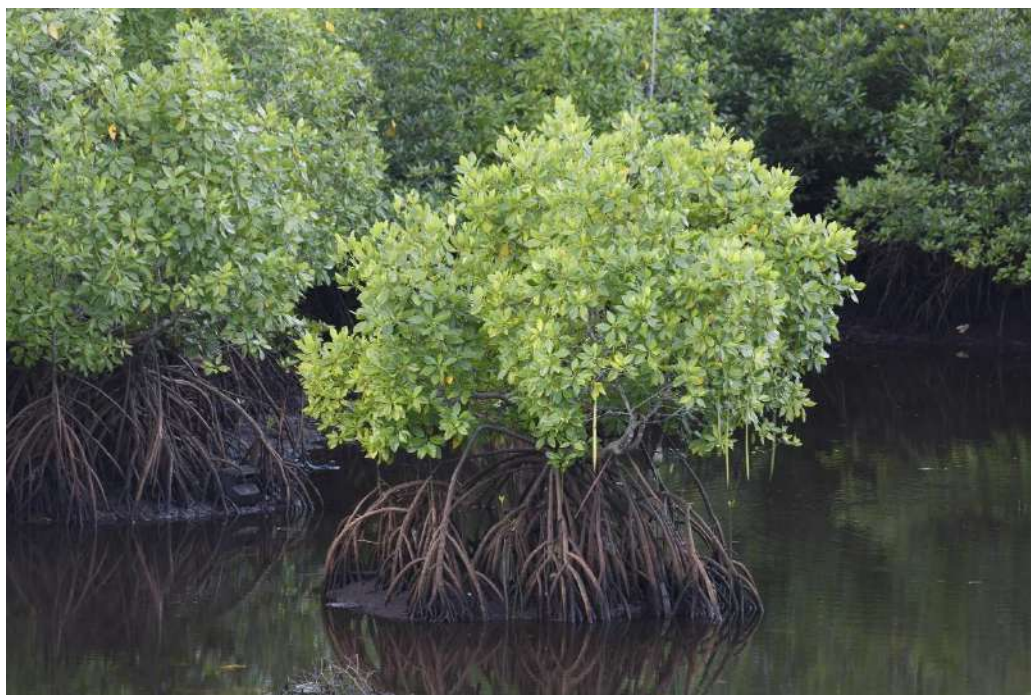


Figura 6. *Avicennia marina* en los manglares de Sabah, Malasia. Foto elaborada por CEphoto, Uwe Arnas. Disponible en https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Semporna_Sabah_Mangroves-between-Kg-Bubul-and-Kg-Air-Sri-Jaya-01.jpg. Términos de la licencia de uso disponibles en: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>.

La productividad primaria neta (PPN) se define como la suma del índice de aumento de biomasa en pie y el índice de la pérdida de biomasa mediante la producción de materia orgánica muerta o por consumo de herbívoros. La mayoría de los estudios acerca de la PPN se enfocan en evaluar los cambios en el índice de biomasa asociados a la producción de hojarasca; mientras que otros han intentado evaluar la PPN a partir de la absorción de radiaciones solares a través de las copas de los árboles (Spalding, Kainuma y Lorna 2011). El estudio de Komiyama, Ong y Poungparn (2008) sugiere que los índices de PPN de los

bosques que poseen copas de altura inferior a diez metros alcanzan un promedio de 9,3 toneladas por hectárea por año; aumentando a la misma vez que se incrementa la altura de las copas de los árboles.

Los ecosistemas de manglar no solo cuentan con los árboles de mangle como productores primarios; las algas, epífitas vasculares, algas bénticas y fitoplancton, así como los caudales de agua que acarrearán sedimentos, contribuyen significativamente a la productividad total de estos ecosistemas, lo cual es aprovechado tanto desde la perspectiva ecológica como desde la económica, principalmente por el sector pesquero (Donato et al. 2011; Spalding, Kainuma y Lorna 2011).

1.3.3. Rol dentro del ciclo del carbono

Los altos niveles de biomasa y productividad de los bosques de manglar son indicadores del papel que podrían desempeñar en el ciclo global del carbono. Se ha estimado que, en promedio, los depósitos de carbono en los manglares son de 1023 Mg/ha (Donato et al. 2011; Fourqurean et al. 2012). Este carbono almacenado por ecosistemas marino-costeros como los manglares, pantanos y pastos marinos se suele denominar “carbono azul” (Nellemann et al. 2009). Un estudio realizado en el estrecho de Hichinbrook, Australia, ha mostrado que las reservas de carbono en los 50 primeros centímetros de sedimentos son 1,7 veces más elevadas que en la biomasa viva (Matsui 1998). Estudios similares de sondeos sedimentarios en Belice, Honduras y Panamá demostraron una

proporción media de materia orgánica del 65% en los sondeos situados de 0,4 m a 10 m de profundidad (Mckee, Cahoon y Feller 2007).

Estimaciones han demostrado que el 10% de la PPN total de los manglares se incorpora en los sedimentos locales, 50% se consume o descompone *in situ* y 30% es exportado, con el 10% restante no habiendo sido considerado (Duarte y Cebrián 1996). Un estudio más reciente ha confirmado la estimación del 10% de la PPN incorporada a sedimentos locales, pero ha evaluado las exportaciones de carbono orgánico disuelto (COD) solamente entre un 10 y 15% de la PPN en lugar del 30% previamente estimado (Alongi 2009).

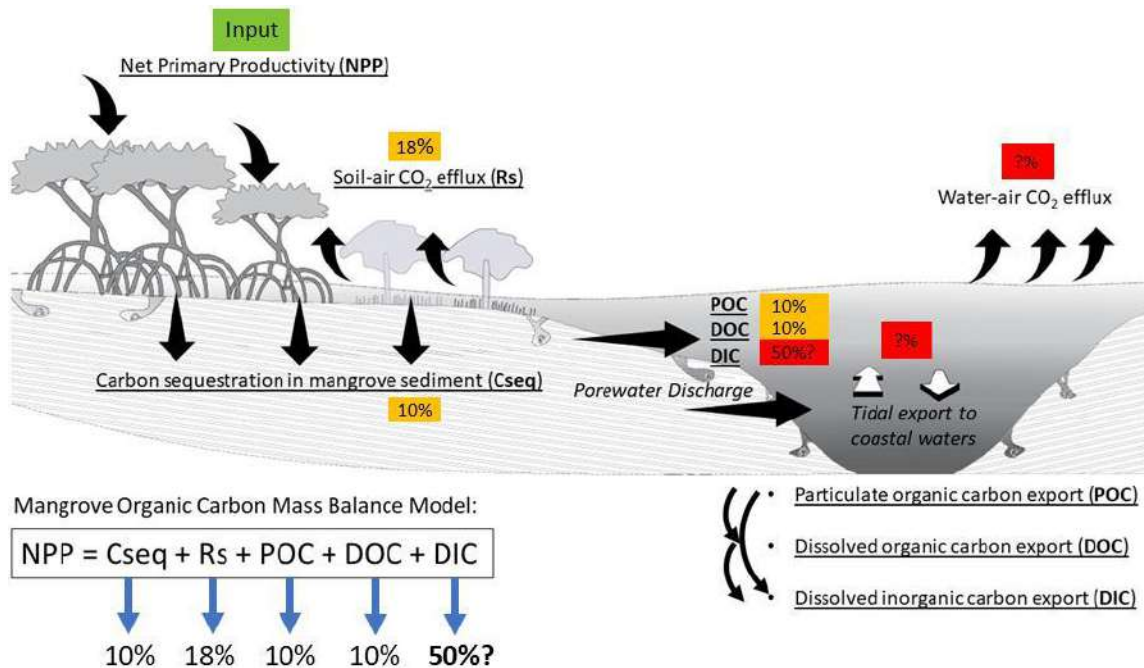


Figura 7. Modelo conceptual del ciclo del carbono en los manglares y la importancia de las descargas de agua de poro en este proceso. Elaborada por Taillardat (2018) con datos de Bouillon et al. (2008) y Alongi (2014).

Estudios por Twilley, Chen y Hargis (1992); Jennerjahn e Ittekkot (2002) y Alongi (2009) han calculado que la materia orgánica disuelta procedente de los manglares representaría un 15% del carbono orgánico global acumulado en los sedimentos marinos. Mientras que la mayoría de la materia orgánica disuelta y particulada se pierde en las aguas costales, el carbono orgánico disuelto refractario, aproximadamente dos tercios del total del COD, es más estable. Un estudio realizado en el norte de Brasil sugiere que más del 10% del COD de los océanos provendría de los manglares (Dittmar et al. 2006; Kristensen et al. 2008).

Un estudio publicado este año con el objetivo de aclarar la significancia del almacenamiento y secuestro de carbono de los manglares a nivel global y regional para reducir y mitigar las emisiones antropogénicas de CO₂ encontró que a nivel global los mismos juegan un papel bastante reducido, representando apenas el 1.6% (rango: 0.4-7%) de los almacenes de carbono orgánico global en ecosistemas terrestres (Alongi 2020). Sin embargo, a nivel regional, Taillardat, Friess y Lupascu (2018), citados igualmente en el estudio antes mencionado, estimaron el potencial nacional de secuestro de los manglares demostrando que pueden contribuir a la captura de CO₂ si se logran mantener tasas bajas de deforestación. A esto se le contraponen el hecho de que los ecosistemas de manglar son deforestados entre 5 y 10 veces más rápido que otros bosques tropicales (Nellemann et al. 2009).

1.3.4. Protección costera

Como se ha expuesto con anterioridad, el sistema radicular de los manglares les ayuda a fijar y a consolidar los sedimentos al crear una zona amortiguadora; atenuando así la acción de los factores erosivos en caso de eventos climáticos tempestuosos (Spalding, Kainuma y Lorna 2011; ANAM-ARAP 2013; López-Angarita et al. 2016). Thampanya et al. (2006) han constatado que en las zonas del suroeste del golfo de Tailandia donde existe una importante cobertura de manglares, la erosión que afecta al área en general se ha detenido. Otro ejemplo a favor de la conservación de las franjas de manglar ante desastres en áreas costeras es el tsunami del 2004 al este del océano Pacífico. Se trató de un tsunami de origen sísmico cuyas olas alcanzaron hasta 24 metros de altura en Aceh (la provincia más occidental de Indonesia, cercana al epicentro), afectando también las costas de Tailandia, Sri Lanka, Somalia y las Islas Andamán y Nicobar (Spalding, Kainuma y Lorna 2011).



Figura 8. Manglares costeros de la isla de Simeulue, cerca de Sumatra, Indonesia después del tsunami de 2004. Elaborada por y adaptada de *Ground Truth Trekking*. Disponible en: <http://groundtruthtrekking.org/slideshows/sumatra-earthquake-tsunami/?photo=mangrove-damage>. Términos de la licencia de uso disponibles en: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/legalcode>.

Dependiendo de la magnitud de los desastres naturales, la geografía de la zona afectada y el impacto humano sostenido; los manglares pueden jugar un papel más o menos relevante en la amortiguación del daño sufrido. A pesar de que a veces se ha exagerado el papel de los manglares en la protección contra desastres, siguen siendo importante en muchos lugares al absorber y atenuar la energía de las olas así como limitando los daños por el desplazamiento de objetos voluminosos (Wolanski 2006; Alongi 2008).

1.3.5. Otros usos

Los manglares proporcionan una variedad de servicios a las poblaciones humanas, tradicionalmente a aquellas establecidas cerca del mismo en un equilibrio más o menos sostenible. Sin embargo, el uso intensivo del manglar y el incremento de la utilización comercial ha cambiado la dinámica de la relación (Spalding, Kainuma y Lorna 2011).

La madera, la leña y el carbón son tres de los productos más preciados extraídos del mangle. La densidad de la madera de muchas especies ofrece gran resistencia a las termitas y al agua salobre, así como un carbón de excelente calidad. De igual forma, los taninos procedentes de ciertas especies de *Rhizophora* y de *Bruguiera* son compuestos importantes utilizados en la elaboración del cuero (D'Croze 1993; Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez 1999; Günter 2011; Spalding, Kainuma y Lorna 2011; López-Angarita et al. 2016).

Los frutos de ciertas especies de *Sonneratia*, *Avicennia*, *Bruguiera* y *Kandelia* son comestibles luego de una cocción o maceración para eliminar los taninos (Bandaranayake 1998). En Sri Lanka, en respuesta a cambios en la salinidad en dos lagunas estuarinas, lo cual redujo la productividad pesquera de camarones y resultó en la proliferación de *Sonneratia caseolaris*, se desarrollaron productos comercializables a base de la pulpa de los frutos de la especie; los mismos se utilizan para la producción de bebidas y helados (Jayatissa, Hettiarachi y Dahdouh-Guebas 2006).



Figura 9. *Nypa fruticans*. Elaborada por y adaptada de: Bernard Dupont. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/berniedup/15843015791/>. Términos de la licencia de uso disponibles en: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/legalcode>.

La palmera *Nypa fruticans* (figura 9), la única palmera adaptada al bioma de manglar posee gran cantidad de usos alimenticios; de sus inflorecencias (figura 10) se obtiene una savia azucarada que puede ser consumida directamente, ser reducida por cocción para producir azúcar o fermentada para producir bebidas alcohólicas o vinagre. El endospermo de los frutos inmaduros es bañado en sirope dulce y es un componente de un postre local en Singapur. El fruto maduro es comestible y se suele comercializar (Ng y Sivasothi 2001).



Figura 10. Frutos de la *Nypa fruticans*. Elaborada por y adaptada de: Sengkang. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chek_Jawa_7,_Aug_07.JPG. Términos de la licencia de uso disponibles en: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>.

Las hojas, frutos, corteza y otros componentes de los manglares ven uso en la medicina tradicional de un número importante de poblaciones en zonas costeras. Se han usado para tratar males como trastornos intestinales, úlceras estomacales, hepatitis, tumores, asma e incluso como contraceptivos. Las especies de la familia Rhizophoraceae con altos niveles de taninos son altamente eficaces para el tratamiento de trastornos intestinales (Bandaranayake 1998; 2002).

El néctar de varias especies de mangle es conocido por producir miel de calidad y sabor excepcional (Spalding, Kainuma y Lorna 2011); países como Bangladesh (Saenger 2011), Cuba (Padrón, Llorente y Menendez 1993; Suman 2003), Ecuador (Bodero 1993), Venezuela (Conde y Alarcón 1993), Tanzania y Vietnam (Spalding, Kainuma y Lorna 2011) lo utilizan en su producción apícola. Solamente en Cuba, aproximadamente 40000 colmenas se transportan a los manglares en la época en que florecen los *Avicennia*, lo cual puede generar una producción de hasta 2700 toneladas de miel (Suman 2003).



Figura 11. Abeja mielera en flor de *Avicennia germians*. Fuente: <https://hootacrefarm.com/black-mangrove/>.

1.4. Amenazas relacionadas al cambio climático

Los datos combinados y promediados a nivel global de temperatura superficiales en la tierra y los océanos indican un aumento en tendencia lineal de 0.85 [entre 0,65 y 1,06] °C durante el período de 1880 a 2012 allí donde se puede contar con conjuntos de datos producidos independientemente. Adicionalmente, se observa la tendencia de que cada una de las tres últimas décadas han sido sucesivamente más cálidas a nivel de la superficie terrestre que cualquier otra década desde 1850 (IPCC [Panel Intergubernamental del Cambio Climático] 2014).

La evidencia de la influencia humana en los cambios al sistema climático ha aumentado desde el reporte del IPCC del 2007. Se cree que es extremadamente probable que más de la mitad de los aumentos en temperaturas superficiales observados de 1951 a 2010 hayan sido causados por el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero y otros factores antropogénicos. Debido a este aumento, en diversos escenarios se han proyectado cambios como aumento de las temperaturas superficiales, elevación del nivel del mar, acidificación de los océanos y el incremento en la frecuencia de eventos climáticos extremos y tempestades (IPCC 2014).

En el transcurso del siglo XX el nivel del mar se ha elevado de 12 a 22 cm, con dicha tendencia acelerándose en las dos últimas décadas. Proyecciones recientes pronostican un aumento adicional de 90 a 130 cm para finales del siglo XXI (Grinsted, Moore y Jevrejeva 2010).

Un estudio enfocado a evaluar la respuesta de los manglares a elevaciones relativas del nivel del mar encontró que existen respuestas variables; siendo la más común la acreción en el sustrato del ecosistema (Cahoon et al. 2006). Sin embargo, en casi todos los casos, esta acreción era contrarrestada por la subsidencia del sustrato en los niveles más profundos del suelo, lo cual causa inestabilidad en los manglares incluso bajo las condiciones actuales de aumento del nivel de los mares (Cahoon et al. 2006; Gilman et al. 2008).

Los ecosistemas de manglar son capaces de migrar tierra adentro si el aumento en el nivel del mar es lo suficientemente amplio (Field 1995; Duke, Ball y Ellison 1998; Ellison 2000). No obstante, existen múltiples factores que pueden afectar su desplazamiento, como la disponibilidad de sustratos adecuados, la geomorfología del área o el impacto antropológico en forma de diques, canales, rellenos o la presencia de agricultura y acuicultura (Spalding, Kainuma y Lorna 2011). Ejemplos de diversos escenarios de respuesta de los manglares se presentan en la figura 12.

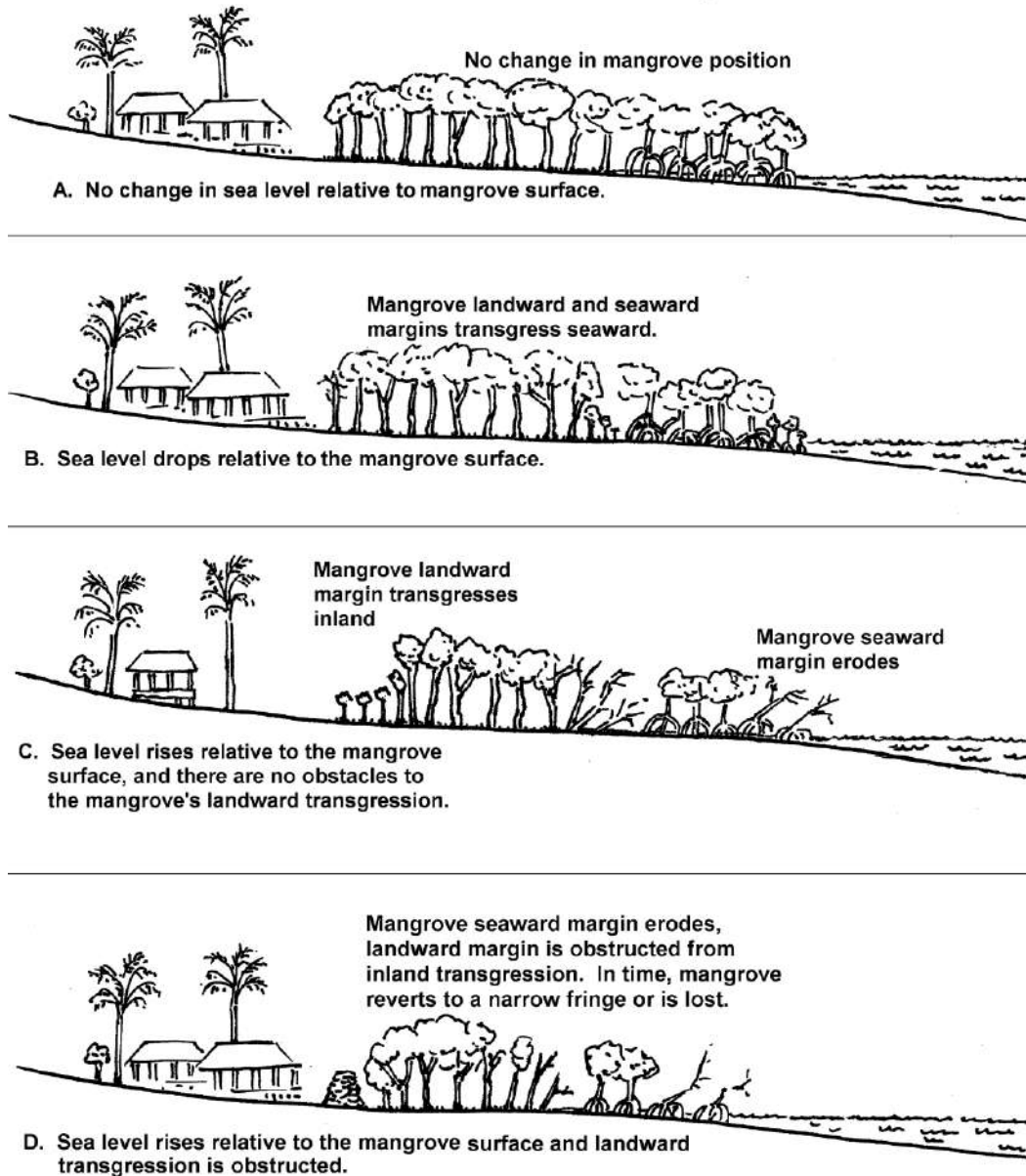


Figura 12. Escenarios de respuesta de los manglares en 4 casos. A – En un nivel del mar constante; B – con una reducción en el nivel del mar, C – con un aumento en el nivel del mar sin barreras que impidan su desplazamiento tierra adentro y D – con un aumento del nivel del mar donde existen barreras y se obstruya su desplazamiento. Elaborada por Gilman, Ellison y Coleman (2007).

Desde 1906 hasta 2005, la temperatura media superficial a escala global ha aumentado en 0.74°C ($\pm 0.18^{\circ}\text{C}$) y dicha tendencia va en aumento; diversos modelos prediciendo subidas de 2 a 4°C en los próximos 100 años (IPCC 2014). Algunos de los efectos que este aumento en temperatura podría causar en los manglares son:

- Aumento en la productividad y en las tasas fotosintéticas, siendo el rango óptimo para las hojas de manglares entre 28 y 32°C . La actividad fotosintética se volverá casi completamente cero si llegasen a alcanzarse temperaturas entre los 38 y 40°C .
- Alteraciones en los períodos de floración y fructificación.
- Modificaciones en su composición específica.
- Expansión hacia latitudes superiores, donde la temperatura limite su existencia o repartición. Se ha observado que este fenómeno puede llevar al reemplazo de los ecosistemas de marismas salinas y se espera que esta tendencia continúe en latitudes con climas subtropicales y templados (Clough, Andrews y Cowan 1982; Andrews, Clough y Muller 1984; Field 1995; Duke, Ball y Ellison 1998; Ellison 2000; Spalding, Kainuma y Lorna 2011).

Ante la inminente posibilidad de experimentar rápidos aumentos de temperatura a lo largo de todas las regiones tropicales del mundo, Cavaleri et al. (2015) proponen la realización combinada de estudios con manipulación de variables *in situ* a gran escala y estudios observacionales (covarianza de remolinos, gradientes ambientales, etc.) a largo plazo para asesorar adecuadamente el modo

en que responderán estos ecosistemas ante posibles cambios. Los estudios con manipulación de temperatura son especialmente importantes pues puede que los ecosistemas tropicales sean particularmente susceptibles a cambios térmicos debido a su larga historia evolutiva bajo condiciones climáticas con relativamente poca varianza (Wright, Muller-Landau y Schipper 2009; Krause et al. 2013).

El aumento en los niveles atmosféricos de CO₂ podría causar un incremento en la productividad y permitiría un uso más eficiente del agua en algunas especies de manglares (Field 1995; Ellison 2000). A pesar de esto, un factor limitante para el futuro desarrollo de nuevas extensiones de manglar es la salinidad. Si la salinidad superase los niveles óptimos, la conductancia estomática se vería reducida, al igual que las tasas de transpiración, lo cual resultaría en una inhibición de la difusión del dióxido de carbono y un decremento en las tasas de asimilación. La humedad relativa del aire circundante y la temperatura de las hojas también juegan un papel importante en estos procesos (Ball y Farquhar 1984; Clough 1984; Field 1995; Saintilan et al. 2014; Cavaleri et al. 2015).

En resumen, existen múltiples factores que pueden llegar a limitar o promover el crecimiento y expansión de los manglares en un clima cambiante. Es por ello que Spalding, Kainuma y Lorna (2011) recalcan el importante papel que juegan las investigaciones a nivel local y el monitoreo constante de estos ecosistemas, así como la mejora en las medidas de mitigación ante los inminentes efectos del cambio climático.

1.5. Los manglares de Panamá

Gracias a las condiciones geográficas y climáticas favorables, 11 de las 65 especies de mangle no híbridas identificadas en el mundo se encuentran en costas panameñas, además de la *Nypa fruticans* como especie introducida (Duke 1991; Spalding, Kainuma y Lorna 2011; ANAM-ARAP 2013; Cárdenas-Castillero 2018). Las franjas de manglar más amplias se encuentran en el litoral Pacífico, donde existen una fuerte amplitud de las mareas y gran cantidad de ríos, principalmente en los golfos de Chiriquí y San Miguel. En este último se pueden encontrar de los árboles más altos de la región, alcanzando hasta 40 metros (D’Croz 1993).

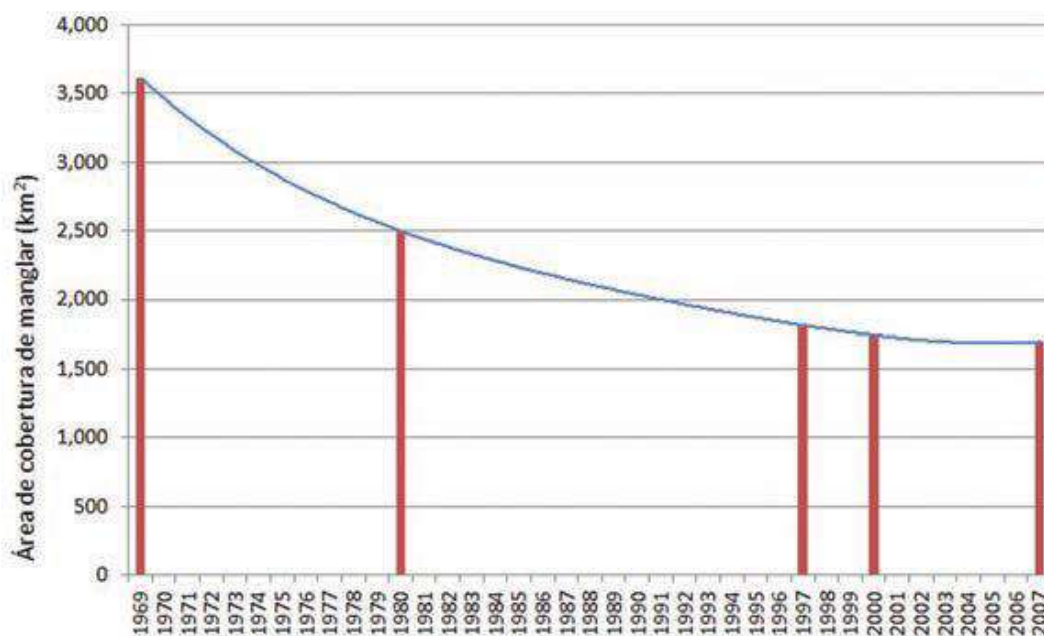


Figura 13. Cobertura nacional de manglares entre 1969 y 2007. Fuente: ANAM-ARAP (2013).

Se calcula que en Panamá los manglares cubren el 2.3% de la superficie del país, representando así aproximadamente 5.2% del área boscosa nacional, no obstante entre 1969 y 2007 se ha perdido un estimado del 55% de la cobertura en el territorio nacional (ANAM 2011; ANAM-ARAP 2013). Hasta el 2013 se habían designado un estimado de 70000 hectáreas de bosques de manglar al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) entre las cuales se encuentran los cinco sitios Ramsar y tres Sitios del Patrimonio Mundial, siendo estos últimos el Parque Nacional Darién, el Parque Internacional La Amistad y el Parque Nacional Coiba y su zona especial de protección marina (Spalding, Kainuma y Lorna 2011; ANAM-ARAP 2013). Las superficies restantes gozan de cierta protección estando designadas como zonas de manejo especial, sin embargo siguen bajo amenaza de posible contaminación o deforestación con fines de desarrollo inmobiliario u hotelero o para dar paso a fincas agrícolas o acuícolas (ANAM-ARAP 2013).

Los derrames de crudo ocurridos en 1968 y 1986 en la bahía Las Minas en Colón son ejemplos tanto de la vulnerabilidad como de la resiliencia de estos ecosistemas. El derrame de 1986 ocasionó la pérdida de un estimado de 49 hectáreas de manglar. La empresa responsable ejecutó un programa de reforestación en parcelas con resultados mixtos, mientras que otras secciones se recuperaron de manera natural de manera bastante exitosa (Duke 1996). El estudio citado puso en evidencia las capacidades regenerativas de los manglares de la zona, además de las carencias en las técnicas de reforestación asistida, así como la necesidad de proveer protección a los juveniles y germinados ante las mareas, las cuales al arrastrar escombros pueden dañarlos.

Capítulo 2: Humedal Bahía de Panamá

2.1. Descripción general

El Humedal Bahía de Panamá está conformado por bosques de manglares, fangales, estuarios, ciénagas adyacentes de agua dulce y las aguas marinas poco profundas que se encuentran entre Panamá La Vieja en el extremo este de la ciudad de Panamá, hacia el este hasta el golfo de San Miguel, sin incluir este último, en la provincia de Darién. (Kaufmann 2012).



Figura 14. Hábitat de manglares del Humedal Bahía de Panamá. Elaborada por: Walter P. Pflieger©. Disponible en: <http://naturephoto-walter.blogspot.com/2017/07/panama-city-panama-panama-stadt-panama.html>.

El área protegida total tiene una extensión de 85664 ha + 5628.74 m², de las cuales 39703 + 6154.70 m² corresponden a superficie terrestre y 45960 ha + 9474 m² forman parte de la superficie marina de la bahía de Panamá, 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). El mismo incluye 139 Km de línea costera y 297 Km² de manglares, lo cual representa el 21% de la cobertura total de manglares en Panamá (Kaufmann 2012; Suman 2014). La figura 15 ilustra la extensión del área protegida.

El humedal está dominado por 5 cuencas hidrológicas con deltas en los manglares de la Bahía de Panamá (la cuenca entre el río Caimito y el río Juan Díaz, la cuenca entre el río Juan Díaz y el río Pacora, la cuenca del río Pacora, la cuenca del río Bayano y la cuenca entre el río Bayano y Santa Bárbara) contando con otras 7 cuencas en contacto indirecto con el mismo (Cárdenas Castillero 2018). La precipitación en dichas cuencas varía entre 3000 y 4000 mm/año, con una temperatura media de 27°C y variaciones intermensuales de menos de 2°C (D’Croz 1993; Kaufmann 2012). Las especies de manglares dominantes dentro de todas las cuencas del humedal son el mangle rojo (*Rhizophora mangle* y *R. racemosa*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle salado (*Avicennia bicolor*), mangle piñuelo (*Pelliciera rhizophorae*) y helechos de manglar (*Achrostichum aureum* y *A. danaeifolium*) (Kaufmann 2012; Cárdenas Castillero 2018).

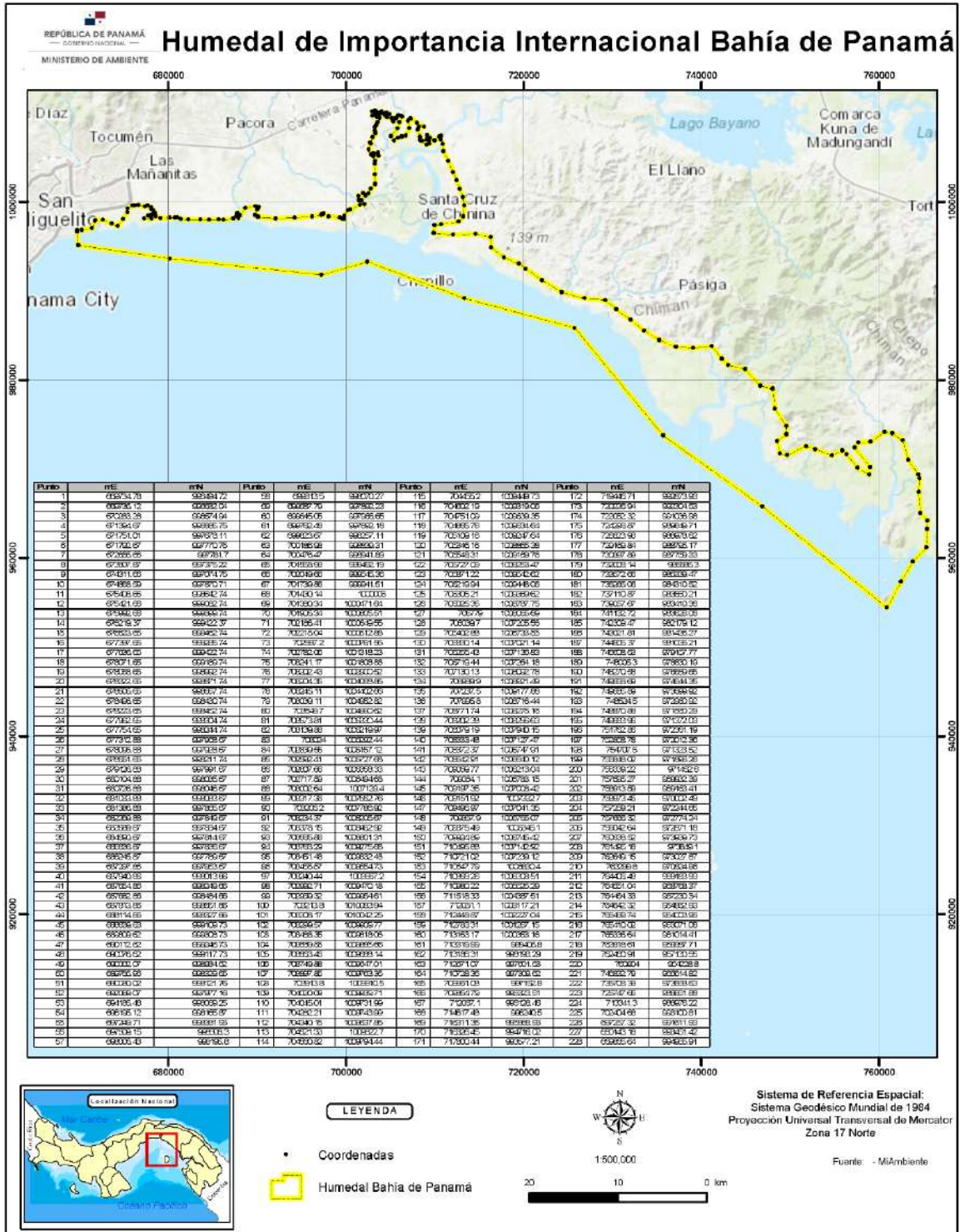




Figura 16. *Laguncularia racemosa*. Elaborada por: Walter P. Pflieger©.
Disponibile en: <http://naturephoto-walter.blogspot.com/2017/07/panama-city-panama-panama-stadt-panama.html>.



Figura 17. *Avicennia germinans*. Elaborada por: Walter P. Pflieger©. Disponible en: <http://naturephoto-walter.blogspot.com/2017/07/panama-city-panama-panama-stadt-panama.html>

El río Bayano y su cuenca, con una longitud de 215 Km y un área de drenaje de 4980 Km² realiza en el humedal una interesante división oriente-occidente: al oeste del afluente, hacia la ciudad de Panamá, se encuentra una llanura aluvial, la cual en su mayoría ha sido desprovista de árboles para dar paso a la ganadería y el cultivo de arroz en las áreas rurales. Existen poblados de pescadores artesanales, la mayoría de los cuales se encuentran a lo largo de la carretera Interamericana. La porción más occidental, adyacente a la ciudad de Panamá, se encuentra rodeada por urbanizaciones, el aeropuerto internacional de Tocumen, la planta de tratamiento de aguas residuales parte del Proyecto de Saneamiento de Panamá y el sitio de Panamá La Vieja. Por otra parte, la sección oriental caracterizada por la serranía del Majé, presenta un acceso casi completamente limitado hacia la costa, siendo necesario el uso de lanchas desde el puerto de Coquira para acceder a las comunidades costeras. Aproximadamente, la mitad de las laderas en dirección al mar están cubiertas de bosques, mientras que las demás han sido deforestadas para su uso en agricultura y ganadería de subsistencia. (Kaufmann 2012).

La negligencia y falta de celeridad por parte de las autoridades estatales en hasta hace poco tomar acciones concretas que aseguren la preservación y el uso racional de los recursos de esta vital zona marino-costera ha ocasionado la degradación en ecosistemas de manglar dentro del humedal, socavando así el valor ecológico y económico, reconocido ya por organismos y sociedades tanto nacionales como internacionales, los cuales han designado al humedal como una zona de importancia en la preservación de la biodiversidad.

2.2. Importancia ambiental y económica

Los manglares del Humedal Bahía de Panamá y áreas circundantes representan un importante refugio de flora y fauna local y migratoria. Son el hogar de aproximadamente de 295 especies de plantas, 200 de aves, 74 de peces, 50 de mamíferos y 25 de moluscos y crustáceos. La gran diversidad de aves locales y migratorias se debe a la combinación única entre ecosistemas de manglares y fangales, junto con el afloramiento de gusanos marinos, moluscos y crustáceos. Entre los meses de enero y febrero principalmente, entre 1 y 2 millones de aves costeras migratorias, representando aproximadamente 30 especies visitan el humedal anualmente (Kaufmann 2012; Suman 2014).

Gracias a monitoreos realizados en los manglares de Juan Díaz, se identificaron como especies más abundantes a la Reinita protonotaria (*Protonotaria citrea*), Reinita acuática nortea (*Seiurus noveboracensis*) y la Candelita nortea (*Setophaga ruticilia*) (Lefebvre y Poulin 1996; Kaufmann 2012). En cuanto a aves migratorias se refiere, se ha cuantificado al Playero occidental (*Calidris mauri*), como el más abundante en el humedal (31% de la población mundial visita el sitio anualmente) (Kaufmann 2012; Suman 2014).

En cuanto a recursos pesqueros se refiere, los manglares ofrecen protección y alimento a casi todas las especies comercialmente importantes de peces y camarones (D'Croz y Kwiecinsky 1980). Estudios han indicado que existe una correlación lineal entre la extensión de manglares y la captura anual de pesca (Nagelkerken et al. 2008). El 95% de la actividad pesquera en Panamá ocurre en el litoral Pacífico (Atlas Nacional de la República de Panamá 2016), donde el humedal Bahía de Panamá representa el 21% de la cobertura de manglares (Kaufmann 2012). Dicha actividad generó un máximo de 439 millones de dólares en divisas para el año 2004, bajando a 177 millones en 2016 y 77 millones en 2018 (FAO [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura] 2018). Kaufmann (2012), además, estimó que la contribución económica del humedal para el año 2005 pudo haber sido superior a los 86 millones de dólares solamente en capturas; utilizando como referencia la correlación previamente explicada.



Figura 18. *Uca rapax* macho. Elaborada por: Walter P. Pflieger©. Disponible en: <http://naturephoto-walter.blogspot.com/2017/07/panama-city-panama-panama-stadt-panama.html>.



Figura 19. *Seiurus noveboracensis*. Elaborada por y adaptada de: Rosabel Miró. Fuente: <https://www.inaturalist.org/photos/32033716>. Términos de la licencia de uso disponibles en: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode>.



Figura 20. *Calidris mauri*. Elaborada por y adaptada de: Karl Kaufmann. Fuente: <https://www.inaturalist.org/observations/4681751>. Términos de la licencia de uso disponibles en: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>.



Figura 21. *Anadara tuberculosa*. Fuente: <https://panamaimage.com/nacionales/la-situacion-de-la-concha-negra-en-panama/>.

2.3. Protección legal a los manglares y al humedal Bahía de Panamá

Existen en Panamá un conjunto confuso y conflictivo de instituciones y piezas legales que tratan con el manejo, conservación y aprovechamiento de los recursos marino-costeros. Una de las más prominentes es la Autoridad Nacional del Ambiente, creada a través de la ley 41 de 1 de julio de 1998 y reformada como el actual Ministerio de Ambiente por medio de la ley 8 de 25 de marzo de 2015. Otra institución clave es la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá, creada mediante la ley 44 de 23 de noviembre de 2006, la cual en su artículo 4 lista entre sus funciones: “(...) Administrar, promover y velar por el aprovechamiento racional, sostenible y responsable de los recursos acuáticos y de la protección de los ecosistemas, favoreciendo su conservación, permanencia en el tiempo y, eventualmente, su aumento por repoblación.” (Ley 8 de 25 de marzo de 2015). Si bien ambos entes estatales cuentan con una jurisdicción propia, la coordinación y cooperación entre ambos es necesaria para asegurar la adecuada conservación de los ecosistemas con valor biológico, como lo indica el artículo 74 de la ley general del ambiente: “(...) darán prioridad, en sus políticas, a la conservación de ecosistemas marinos y de aguas continentales con niveles altos de diversidad biológica y productividad, tales como los ecosistemas de arrecifes de coral, estuarios, humedales y otras zonas de reproducción y cría. Las medidas de conservación de humedales establecerán la protección de las aves acuáticas migratorias que utilizan y dependen de estos ecosistemas.” (Texto único de la Ley 41 de 1 de julio de 1998 2016).

Sin embargo, incluso previo al establecimiento de estas instituciones se dieron avances significativos, al menos en cuanto a legislación, en el reconocimiento de los manglares como sitios de biodiversidad importantes a través de convenios internacionales. Ejemplos se listan en Kaufmann (2012) y Cárdenas Castillero (2018):

- Ley 5 de 3 de enero 1989: Que aprueba el Convenio Internacional para la Conservación de Especies Migratorias. Con la aprobación de esta ley, Panamá se compromete a la protección de las especies y en su artículo III, numeral 4, específicamente se refiere a: “conservar y (...) restaurar los hábitats que sean importantes para preservar dicha especie del peligro de extinción.”
- Ley 6 de 3 de enero de 1989: Que aprueba la Convención Ramsar sobre Humedales de Importancia Internacional. El artículo 4, numeral 1, refiriéndose a la conservación de ecosistemas reza: “Cada parte contratante fomentará la conservación de las zonas húmedas y de las aves acuáticas creando reservas naturales en los humedales, estén inscritos o no en la Lista y atenderá de manera adecuada su manejo y cuidado.”
- Ley 9 de 12 de abril de 1995: Que aprueba el Convenio de Diversidad Biológica.

Estos primeros esfuerzos fueron continuados durante el nuevo milenio con la intención de resguardar todos los ecosistemas de manglares como tierras estatales, restringiendo así su explotación desmedida por parte de entidades privadas. Como ejemplos se pueden mencionar:

- Ley 6 de 1 de febrero de 2006: La misma reglamenta el ordenamiento territorial para el desarrollo urbano. Su artículo 27 estipula que los espacios públicos han de ser protegidos por el estado por encima del interés público. El artículo 28, en su numeral 5 indica explícitamente que los manglares son considerados como espacios públicos.
- Ley 14 de 21 de abril de 2015: Establece modificaciones a la ley previamente mencionada. Se refiere específicamente a la creación de Juntas de Planificación Municipal, en la que por cada municipio, será esta la entidad quien decidirá sobre la aprobación o denegación de solicitudes de cambios de zonificación y usos de suelo.
- Ley 80 de 31 de diciembre de 2009: Reconoce derechos posesorios y regula la titulación en zonas costeras y el territorio insular. Su artículo 10 estipula que no podrán ser objeto de titulación las zonas de manglares. Sin embargo, no cuenta con un efecto retroactivo para las áreas protegidas, dejando vulnerables así a dichos ecosistemas.
- Ley 1 de 2 de febrero de 2015: Décadas luego de la aprobación de la Convención Ramsar, se crea y delimita el área protegida para la conservación de las especies, manteniendo el flujo genético y la diversidad de flora y fauna y el uso racional de los recursos naturales. Dentro de las actividades prohibidas por esta ley se incluyen el vertimiento de sustancias contaminantes, cacería, desmonte, entre otras.



Figura 22. Contraste entre el bosque de manglar en Juan Díaz y la urbanización Costa del Este. Elaborada por: Alcaldía de Panamá. Fuente: https://www.tvn-2.com/nacionales/panama/Bahia-Panama-ConsejoMunicipal-Inundaciones_0_4221327859.html.

En años recientes sin embargo, se ha observado una problemática que ha obstaculizado la adecuada implementación de las normas o la creación de mejores regulaciones; la falta de institucionalidad, la renuencia de aplicar las sanciones correspondientes a infractores y la falta de celeridad de los entes encargados de la protección de los manglares en tomar las medidas adecuadas para asegurar su preservación ante intereses privados. Uno de múltiples ejemplos fue la suspensión temporal por parte de la Corte Suprema de Justicia de la resolución que crea el Refugio de Vida Silvestre Bahía de Panamá el 27 de abril de 2012 (La Prensa 2012). La corte citó como razón el fallo de la entonces ANAM en realizar consultas públicas a la hora de hacer la designación del área,

perjudicando a dueños de tierras dentro del área protegida, lo cual denota el ávido interés de los desarrolladores en la conversión urbana de dicha área (Suman 2014). Añadiendo a esto, el 23 de mayo del mismo año, la ARAP emitió la resolución N°20, la cual redujo el monto para tramitar permisos para la tala de mangle de B/.150,000.00 a B/.10,000.00; además de reducir las multas y sanciones por tala ilegal de manglares de B/. 300,000.00 a B/.40,000.00 (Arcia Jaramillo 2012). No fue sino hasta finales de diciembre de 2013 que la corte decidió revertir su decisión (Suman 2014).

Otro exabrupto sufrido recientemente fue la suspensión para la licitación para la elaboración del plan de manejo del refugio de vida silvestre por parte de la administración del entonces Ministro de Ambiente, Emilio Sempris. En una nota enviada al entonces Ministro de Salud, Miguel Mayo, en noviembre de 2018 se le solicitaba se suspendiera la licitación para la elaboración del plan y que sería el ministerio de ambiente el ente que realizaría “de oficio” dicho plan, mas nunca se concretó, dejando desprotegido al manglar hasta el término del período del señor Sempris (Arcia Jaramillo 2019a).



Figura 23. Manglar de Juan Díaz con signos visibles de deforestación.

Elaborada por: Alcaldía de Panamá. Fuente: https://www.tvn-2.com/nacionales/p/anama/Bahia-Panama-ConsejoMunicipal-Inundaciones_0_44221327859.html.

Afortunadamente, bajo la nueva administración se han retomado el convenio firmado por ambos ministerios para la coordinación de las actividades de conservación, incluido el préstamo por B/. 500,000.00 otorgado por el Banco Desarrollo de América Latina, el cual debe destinarse a la licitación del plan de manejo del humedal (Arcia Jaramillo 2019b).

Capítulo 3: Metodología

3.1. Sistema de recolección de datos: Torre micrometeorológica Jay Zieman para la medición de covarianza de remolinos y dióxido de carbono.

La torre fue instalada en el año 2015 en una zona del humedal Bahía de Panamá cercana a la desembocadura del río Juan Díaz gracias a la colaboración entre el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), la constructora Norberto Odebrecht, el Ministerio de Educación, el Ministerio de Ambiente y la Universidad Tecnológica de Panamá, además de la experticia técnica prestada por expertos de las universidades de Virginia y Pensilvania. Tiene una altura aproximada de 30 metros y se encuentra ubicada en las coordenadas 9° 0' 51.82" N, -79° 27' 10.53" W. (CIHH 2019; Guerra Torres 2018). El ecosistema de manglar en el sitio de estudio tiene un radio aproximado de 350 metros y está dominado por dos especies de manglar, *A. germinans* y *A. bicolor*, presentándose también otras especies como *Pelliciera rhizophorae* y *L. racemosa*. Adicionalmente, recibe la influencia de las mareas cuatro veces al día (Guerra Torres 2018; Mc Rae y Reyna 2018). La misma cuenta con 8 sensores de temperatura del aire y 2 sensores combinados para temperatura del aire y humedad ubicados a alturas mostradas en la tabla 3.1; siendo ambos tipos de sensores de la marca R. M. Young Company. Dichos datos meteorológicos son registrados en un *datalogger* modelo CR3000 de marca Campbell Scientific (Guerra Torres 2018). Las mediciones ocurren cada diez minutos de manera consecutiva.

La idea de contar con una torre para la medición de parámetros meteorológicos y carbono atmosférico fue concebida con la visita a Panamá en el año 2008 del doctor Joseph “Jay” Zieman por parte de la Universidad de Virginia; invitado por la Fundación Ciudad del Saber y la entonces Autoridad Nacional del Ambiente, hoy en día Ministerio de Ambiente para recorrer los manglares en las costas panameñas del Pacífico para así conocer sobre su estado y promover el estudio de este esencial ecosistema. A pesar de que al finalizar su visita las instituciones involucradas acordaron la construcción de una torre de este tipo para dar monitoreo constante a los manglares de la Bahía de Panamá, la iniciativa no fue concretada sino hasta el año 2014, cuando a través del proyecto de cooperación no reembolsable “Parque Urbano de Manglar de la Bahía de Panamá” se le da inicio formalmente (CIHH 2019).



Figura 24. Ubicación de la torre dentro del sitio de estudio y otros hitos cercanos.
Elaboración propia.

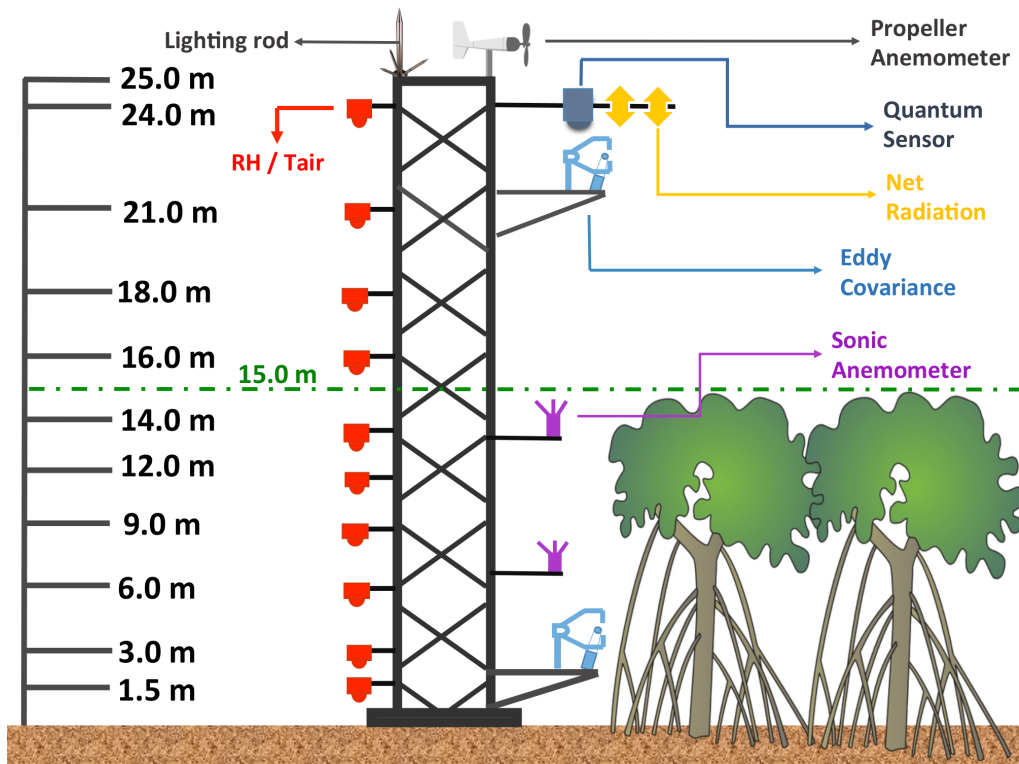


Figura 25. Diagrama de la Torre Jay Zieman ilustrando la disposición de los diversos instrumentos y su altura propuesta. Elaborada por: CIHH.



Figura 26. Datalogger utilizado para el almacenaje y colecta de datos. Disponible en: <https://www.campbellsci.com/cr3000>.



Figura 27. Sensor de temperatura y humedad relativa dentro de escudo contra radiación. Elaborada por: CIHH.

Tabla 3.1: Alturas de medición de parámetros en la torre Jay Zieman.

Instrumento	Altura desde el suelo (metros)	Altura desde la plataforma (metros)	Símbolo
	2.80	1.30	T2
	6.00	4.50	T3
	12.50	11.00	T4
Sonda de Temperatura	18.50	17.00	T5
	19.50	18.00	T6
	23.50	22.00	T7
	26.50	25.00	T8
	28.50	27.00	T9
Sonda de temperatura y humedad	2.80	1.30	T1-H1
	31.50	30.00	T10-H10

Fuente: Elaboración propia con datos de: CIHH.

La colecta de datos se realiza de manera mensual, a través de giras al sitio de la torre. Estas giras deben ser coordinadas con el Ministerio de Salud, quien regula el acceso a los terrenos del proyecto de saneamiento de Panamá. Adicional a la coordinación con el Ministerio de Salud debido a la naturaleza estratégica del área y de su importancia para la seguridad nacional al ser un frente de playa, es necesario informar al Servicio Nacional de Fronteras (SENAFRONT) de las visitas para que los mismos registren, autoricen y provean escolta armada a los visitantes.



Figura 28. Vista desde el suelo de la torre Jay Zieman. Elaborada por: CIHH.



Figura 29. Vista aérea de la torre Jay Zieman. Elaborada por: CIHH.



Figura 30. Vista del ecosistema adyacente a la torre. Elaborada por: Walter P. Pflieger©. Disponible en: <http://naturephoto-walter.blogspot.com/2017/07/panama-city-panama-panama-stadt-panama.html>.

3.2. Análisis estadístico de las variables con el uso de R.

3.2.1. Introducción a R

R es un lenguaje de programación desarrollado por Ross Ihaka y Robert Gentleman a inicios de la década de los años 1990 en la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda. El mismo está basado en un lenguaje anterior, conocido como S, habiendo sido desarrollado en 1976 por John Chambers y otros en 1976 (Zuur, Ieno y Meesters 2009).

El ambiente R posee gran versatilidad, permitiendo a sus usuarios realizar múltiples tareas simples y complejas como escribir funciones, aplicar un sinfín de técnicas estadísticas, crear gráficas de cualquier grado de complejidad, entre muchas otras. Es por esto que muchos profesionales, universidades, institutos de investigación y compañías han optado por utilizarlo. Sin embargo, una de las desventajas más notorias a la hora de usar R es que requiere del usuario un conocimiento previo de programación, lo que para usuarios no familiarizados puede dificultar el proceso inicial de aprendizaje (Zuur, Ieno y Meesters 2009).

Esta investigación se realizó con el uso de la interfaz gráfica de R conocida como R Studio.

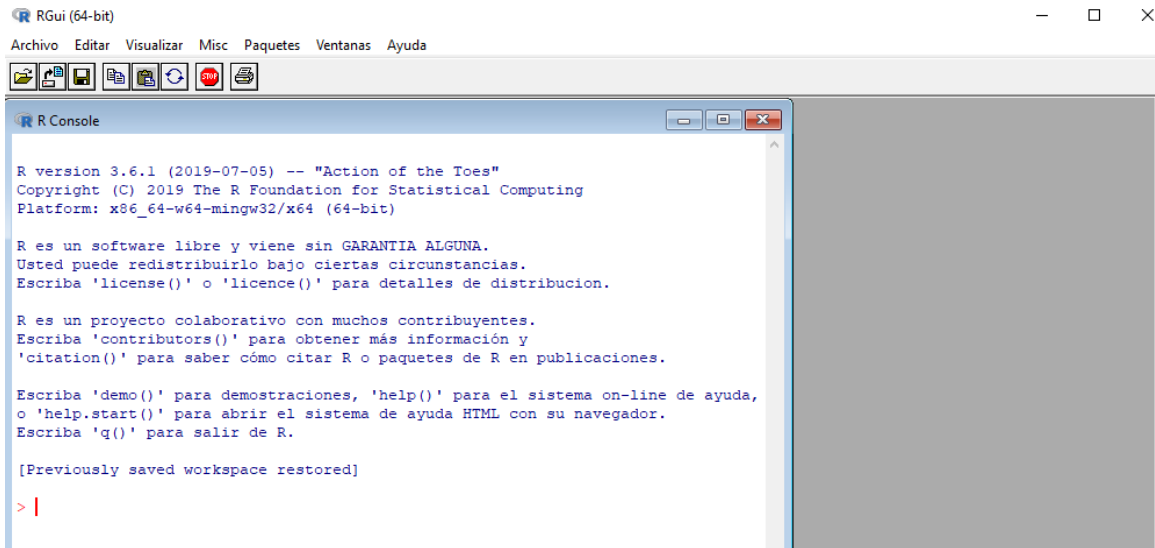


Figura 31. Ventana inicial o consola de R. Fuente: Elaboración propia.

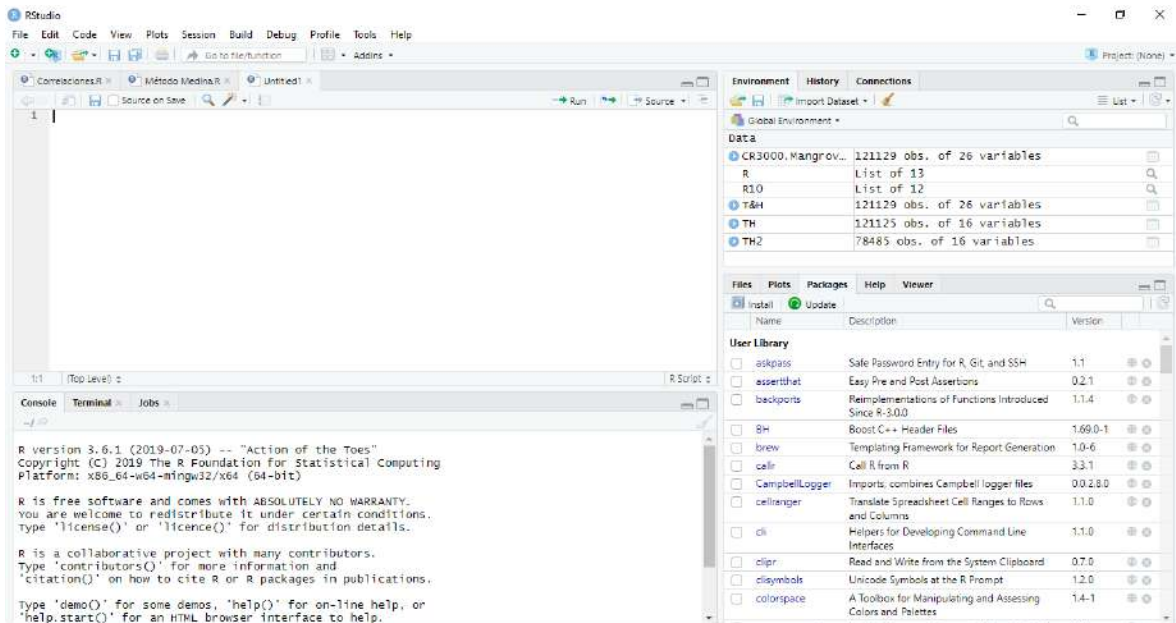


Figura 32. Consola de R Studio. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Conceptos clave

Para facilitar el entendimiento de las funciones y herramientas utilizadas en el procesamiento de datos con métodos estadísticos, a continuación se definen brevemente alguna de las más importantes y de uso frecuente en la estadística en R.

- Vectores:

```
c (...)  
  
vector(mode="logical, length = 0)  
  
as.vector(x, mode = "any")  
  
is.vector(x, mode = "any")
```

Figura 33. Funciones para la generación de vectores. Elaboración propia.

- Un vector, ya sea numérico, de caracteres o lógico es un arreglo simple de cualquiera de los elementos mencionados. (Dalgaard 2008; Zuur, Ieno y Meesters 2009).
- Existen diversas funciones para la generación de vectores o el arreglo de información en forma de un vector; dos de los más comunes son la función `c` y las funciones `as.vector` e `is.vector`. Para la primera, el argumento “(...)” representa los elementos a concatenar; en la segunda, `as.vector` es una función genérica que

intenta convertir a todos sus argumentos en un vector de cualquier modo (*mode*), pudiendo ser los más comunes *logical*, *integer*, *double*, *complex*, *carácter*, *raw* y *list*. *length* es un valor entero no negativo. Mientras tanto, *is.vector* resulta cierto si “x” es un vector de un modo especificado, sin más atributos que nombres únicamente (Becker, Chambers y Wilks 1988).

- *Data frames*:

```
data.frame(..., row.names = NULL, check.rows =  
FALSE, check.names = FALSE, fix.empty.names =  
TRUE, stringAsFactors =  
default.stringAsFactors())
```

Figura 34. Argumentos de la función *data.frame*. Elaboración propia.

- Es una lista de vectores y/o factores de la misma longitud con diversas filas, cada una con un nombre único y cada columna pudiendo ser de diversos tipos. Junto con las listas y vectores, es una de las estructuras de datos más utilizadas en R (Chambers 1992).
- Si los nombres de cada fila no se especifican o *row.names = NULL*, los nombres se tomarán del primer elemento con caracteres válidos. Si se carece de caracteres válidos, se utilizará una serie de enteros, empezando por el 1. Si *check.rows* es cierto, las filas son verificadas

para asegurar su consistencia en nombre y longitud. A su vez, *check.names*, si es cierto, verifica que los nombres de las variables sean sintácticamente válidos (Chambers 1992).

- *Mean*:

```
mean(x, trim = 0, na.rm = FALSE, ...)
```

Figura 35. Argumentos de la función *mean*. Elaboración propia.

- Una función genérica, la cual produce la media aritmética ajustada. Se calcula a través de la fórmula $\bar{x} = \sum x_i/n$ (Becker, Chambers y Wilks 1988; Dalgaard 2008).
- “x” es un objeto R, el cual puede ser un vector numérico-lógico u objetos de fecha, fecha-tiempo e intervalos de tiempo. *Trim* (con un valor entre 0 y 0,5) es la fracción de elementos a eliminar de los extremos antes de computar la media. Si “na.rm” es cierto, se eliminan los valores que contienen “NA” antes de realizar los cálculos (Becker, Chambers y Wilks 1988).

- *ddply*:

```
ddply(.data, .variables, .fun =  
      NULL, ..., .progress = "none", .inform =  
      FALSE, .drop = TRUE, .parallel = FALSE, .paropts  
      = NULL)
```

Figura 36. Argumentos de la función *ddply*. Elaboración propia.

- Función parte del paquete `plyr`, la cual recibe como entrada un *data frame*, divide el mismo en subsecciones especificadas a las cuales se le pueden aplicar funciones deseadas y posteriormente se vuelve a unir en un nuevo *data frame* (Wickham 2011).
 - `.data` indica el *data.frame* a ser procesado; `.variables` indica las variables en las cuales se dividirá el *data frame*; los demás argumentos generan opciones útiles a la hora de realizar un depurado de datos (Wickham 2011).
- `ggplot`:

```
ggplot(data = NULL, mapping = aes(), ...,  
       environment = parent.frame())
```

Figura 37. Argumentos de la función `ggplot`. Elaboración propia.

- `ggplot` inicia la creación de un objeto *plot* o gráfica. Se utiliza con un *data frame* inicial y para especificar los parámetros estéticos generales a utilizar para todas las capas, a menos que se indique lo contrario manualmente. El comando “+” es usado para añadir componentes a la gráfica.
- `ggplot2`, es un paquete de R para la producción de todo tipo de gráficas, permitiéndole al usuario la creación de gráficas específicamente diseñadas para adaptarse a sus necesidades (Wickham 2009).

3.2.3. Datos de entrada

La investigación fue realizada con datos de los diez sensores de temperatura del aire y los dos sensores de humedad relativa colectados durante los años 2017 y 2018. Los mismos eran recopilados en el *datalogger* y posteriormente, descargados manualmente por personal técnico del CIHH capacitado para el manejo de dichos instrumentos. La totalidad de la información descargada se presentaba en una hoja de cálculo de Microsoft Excel; sin embargo, dicho archivo contenía otros parámetros no pertinentes a esta investigación, entre ellos radiación neta, velocidad y dirección del viento. Para facilitar la comprensión del documento y para permitir la adecuada lectura del archivo una vez sea introducido en R para su análisis, se removieron las columnas con información no concerniente a las variables estudiadas, además de modificar el formato de fechas como se muestra en la figura 38.

Day	Month	Year	Hour	temp1_Avg	temp2_Avg	temp3_Avg	temp4_Avg	temp5_Avg	temp6_Avg	temp7_Avg	temp8_Avg	temp9_Avg	temp10_Avg	RH1_Avg	RH10_Avg
22	8	2016	12:40:00	33,66	33,96	34,01	33,47	33,46	33,21	33,39	33,17	33,3	32,88	66	69,66
22	8	2016	12:50:00	33,98	34,13	34,01	33,71	33,81	33,6	33,77	33,53	33,67	33,28	65,48	68,81
22	8	2016	13:00:00	34,37	34,44	34,61	34,27	34,27	34	34,18	33,99	34,15	33,75	62,41	66,15
22	8	2016	13:10:00	34,42	34,44	34,75	34,27	34,24	33,9	34,08	33,94	34,03	33,54	63,21	68,38
22	8	2016	13:20:00	34,24	34,27	34,47	33,94	33,86	33,5	33,69	33,56	33,61	33,19	64,2	69,92
22	8	2016	13:30:00	34,02	34,06	34,24	33,79	33,73	33,46	33,56	33,54	33,51	33,17	66,54	71,55
23	8	2016	7:30:00	25,09	25,11	25,28	25,1	25,59	26,05	25,63	26,09	25,85	25,79	90	87,8
23	8	2016	7:40:00	25,13	25,14	25,33	25,13	25,66	26,12	25,68	26,19	25,92	25,91	88,2	85,2
23	8	2016	7:50:00	25,11	25,11	25,35	25,19	25,69	26,19	25,74	26,23	25,98	25,95	89,3	85,7
23	8	2016	8:00:00	25,24	25,27	25,5	25,31	25,8	26,24	25,84	26,28	26,05	26,01	89,3	87,1
23	8	2016	8:10:00	25,4	25,41	25,64	25,43	25,92	26,38	25,97	26,41	26,18	26,13	89,1	86
23	8	2016	8:20:00	25,53	25,43	25,64	25,57	26,14	26,69	26,21	26,74	26,45	26,48	89,5	82
23	8	2016	8:30:00	25,38	25,39	25,68	25,63	26,32	26,8	26,36	26,86	26,59	26,58	91,7	81,1
23	8	2016	8:40:00	25,4	25,4	25,67	25,68	26,16	26,58	26,21	26,63	26,4	26,36	91,7	83,3
23	8	2016	8:50:00	25,74	25,76	26,02	25,91	26,31	26,73	26,39	26,77	26,55	26,5	86,4	82,1
23	8	2016	9:00:00	26,03	26,09	26,38	26,3	26,71	27,15	26,78	27,2	26,96	26,93	84,1	79,55
23	8	2016	9:10:00	26,03	26,15	26,58	26,49	26,91	27,3	26,97	27,35	27,12	27,09	87,5	80,9
23	8	2016	9:20:00	26,39	26,46	26,77	26,68	27,07	27,42	27,11	27,45	27,25	27,19	85,9	83
23	8	2016	9:30:00	26,69	26,72	26,94	26,77	27,13	27,45	27,17	27,47	27,29	27,19	83,2	82,7
23	8	2016	9:40:00	26,79	26,76	27,01	26,86	27,21	27,51	27,28	27,52	27,36	27,25	83,9	82,1
23	8	2016	9:50:00	26,89	26,92	27,14	26,99	27,34	27,64	27,4	27,65	27,48	27,37	83,8	83
23	8	2016	10:00:00	27,09	27,1	27,32	27,12	27,45	27,69	27,54	27,68	27,55	27,4	82,4	82,4

Figura 38. Formato del archivo con los datos de temperatura y humedad. Elaboración propia.

Posteriormente, se modificó el formato el archivo a un archivo de valores separados por comas (extensión .csv). Concluido este paso, es posible introducir el archivo en R para ser utilizado en la realización de cálculos. Se seleccionaron los siguientes tipos de gráficos para el análisis:

- Gráficas de líneas: Para la representación de los cambios de temperatura y humedad a través del tiempo en cada una de las estaciones, las gráficas de líneas múltiples permiten observar posibles cambios significativos.
- *Boxplot*: Un diagrama de caja y bigote es una representación gráfica de los cuartiles y la mediana de una serie de datos numéricos. Es especialmente útil para determinar la distribución de las series representadas y los efectos de la variable independiente, así como la detección de datos atípicos (BBC Bitesize 2020; Zuur, Ieno y Meesters 2009).
- *Heatmap*: Un mapa de calor es una representación gráfica de una serie de datos en donde los valores individuales dentro de la matriz son representados a través de colores. Suele ser utilizado para dar una vista general de los datos expresados. De igual forma, es utilizado en agrupamiento jerárquico, un método estadístico complejo dedicado a agrupar o dividir valores y representado a través de un dendograma (from Data to Viz 2018).
- Diagramas de dispersión: Los diagramas de dispersión, conocidos en inglés como *scatterplot* se utilizan para determinar previo a un análisis más minucioso, si dos variables están o no relacionadas; si dicha relación es lineal o no; la intensidad de la relación según la estrechez de los puntos; la

uniformidad de la relación a través de la nube de punto y la existencia de valores anómalos que puedan distorsionar la relación (Camacho 2013b).

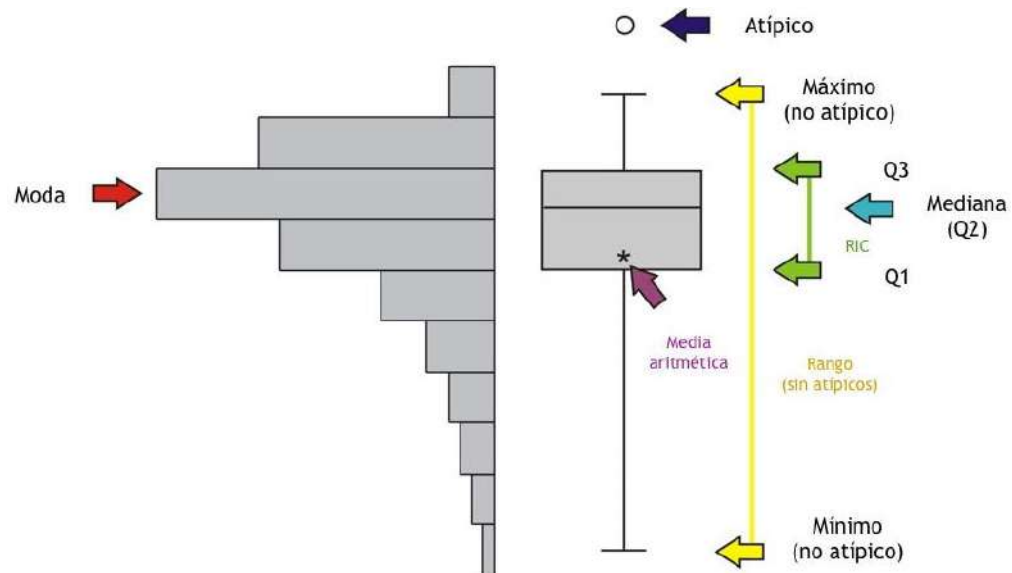


Figura 39. Diagrama representativo de los elementos de un *boxplot*. Elaborada por y adaptada de: OnkelDagobert. Disponible en: https://commons.wikipedia.org/wiki/File:Diagrama_de_caja.jpg. Términos de la licencia de uso disponibles en: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>.

Es necesario añadir que durante gran parte del año 2017, el sensor T10-H10 presentó fallos en sus mediciones por problemas de calibración, ocasionando que sus datos resultasen falseados. Por esta razón se consideró pertinente eliminar de los análisis de temperatura de los años estudiados los datos de este sensor. Sin embargo, se utilizaron los datos de humedad relativa en el 2017 en su mayoría con propósitos ilustrativos. Desde entonces se han tomado medidas de precaución como la colocación de púas como elementos disuasorios contra las aves que sobrevuelan el sitio de estudio.

3.2.4. Análisis de correlación

“Correlación” puede definirse como una medida del grado en que dos variables están relacionadas. Las relaciones lineales entre variables pueden expresarse a través de estadísticos conocidos como coeficientes de correlación (Universidad de Jaén 2010; Camacho 2013a). El coeficiente de correlación de Pearson, expresado en la figura 40 es el más frecuentemente utilizado a la hora de realizar este tipo de análisis.

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

Figura 40. Ecuación para el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson. Elaboración propia.

Los valores del coeficiente pueden variar de -1 a +1, con los signos indicando si se trata de una correlación negativa o positiva, respectivamente. Una correlación positiva es el resultado de la correspondencia entre valores altos de una variable con valores altos de otra variable o viceversa. En cambio, una correlación negativa se refiere a la correspondencia de valores altos en una variable con valores bajos en la otra (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado y Baptista Lucio 2010; Universidad de Jaén 2010).

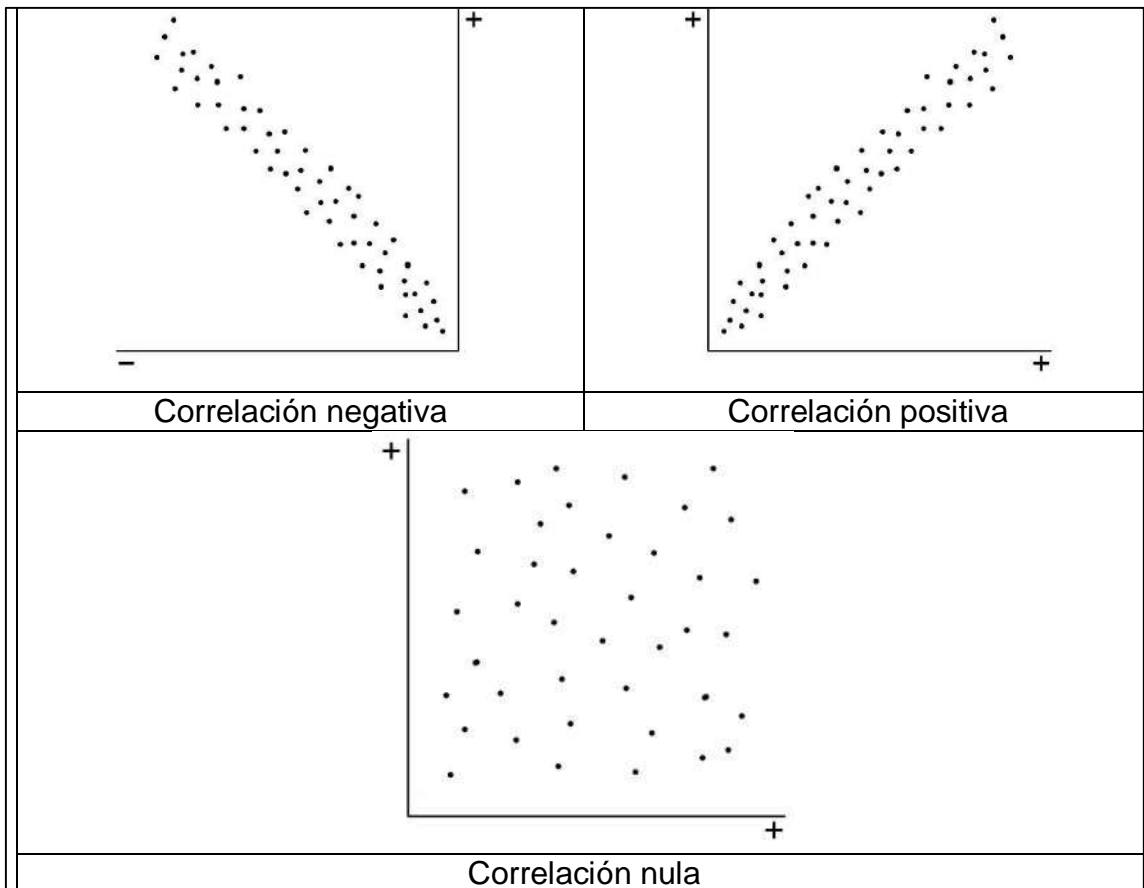


Figura 41. Tipos de correlación. Adaptado de: Rowntree (1984).

La tabla 3.2 ilustra los niveles de relación entre variables según el valor del coeficiente de correlación de Pearson.

Tabla 3.2: Nivel de medición del coeficiente de correlación de Pearson.

±1.00	Correlación perfecta
±0.90	Correlación muy fuerte
±0.75	Correlación considerable
±0.50	Correlación media
±0.25	Correlación débil
±0.10	Correlación muy débil
0.00	No existe correlación

Fuente: Hernandez Sampieri, Fernandez Collado y Baptista Lucio (2010).

El simple hecho de conocer el coeficiente de correlación no permite evaluar adecuadamente su significancia. Es por ello, que se prefiere interpretar el coeficiente de correlación en términos de su proporción de varianza compartida o de factores comunes; el mismo se expresa a través del coeficiente de determinación (r^2_{xy}). Por ejemplo, si el coeficiente de correlación entre dos variables “X” y “Y” es igual a 0.75, su coeficiente de determinación será de 0.56, lo que quiere decir que 56% de la varianza de X es explicada por Y (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado y Baptista Lucio 2010; Camacho 2013a).

Capítulo 4: Análisis de Resultados

4.1. Temperatura del aire

4.1.1. Análisis mensual por elevación

La figura 42 muestra que para el año 2017, la mayor temperatura se registró en la estación T-8, en el mes de abril, siendo de 28.93°C. La menor temperatura se registró en la estación T-2 durante el mes de noviembre registrando 25.99°C.

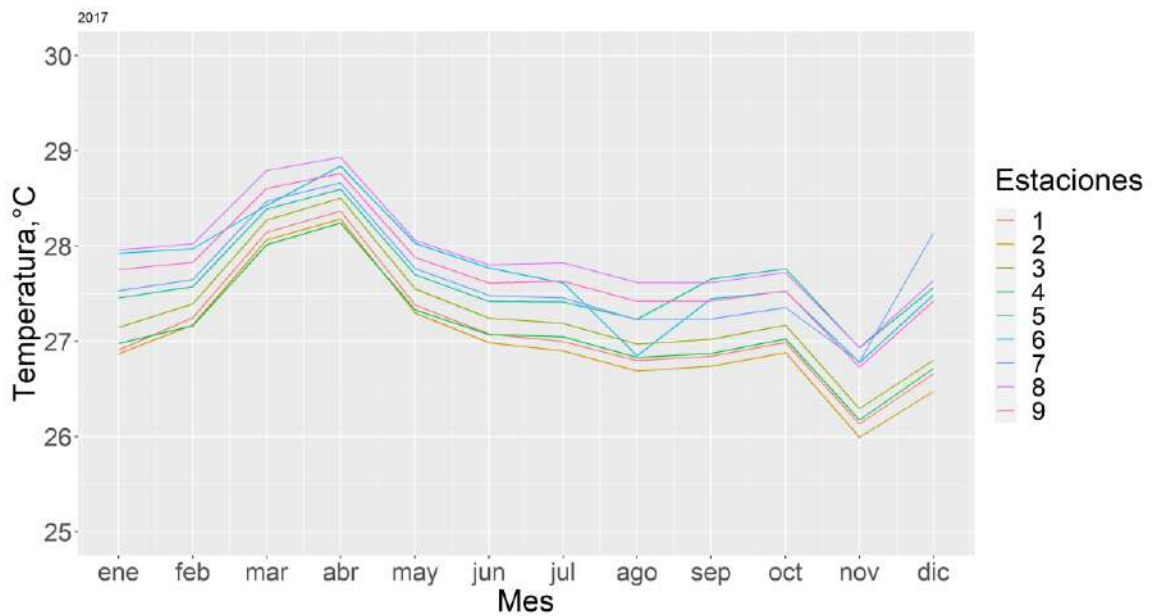


Figura 42. Temperatura del aire a 9 elevaciones para el 2017. Elaboración propia.

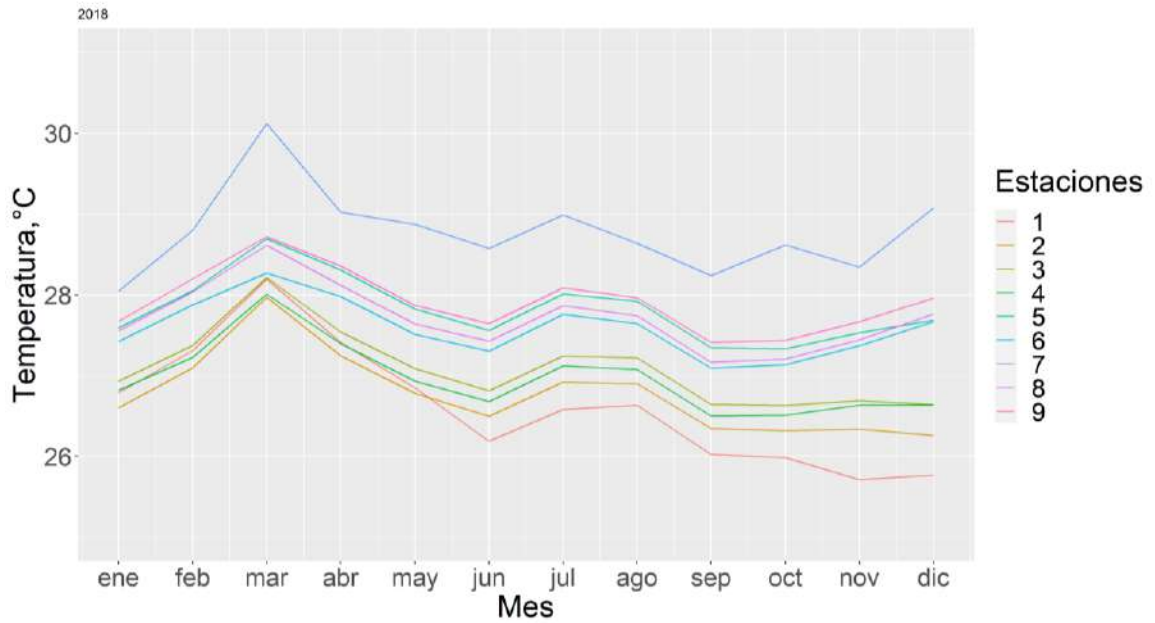


Figura 43. Temperatura del aire a 9 elevaciones para el 2018. Elaboración propia.

En el 2018 se apreció un aumento en la estación T-7, registrando un máximo de 30.12°C para el mes de marzo. Más allá de este ligero pico en las mediciones de la estación T-7, el año 2018 se mantiene con temperaturas similares al anterior, con leves aumentos con respecto a la temporada seca del 2017.

4.1.2. Análisis con diagramas de caja y bigote.

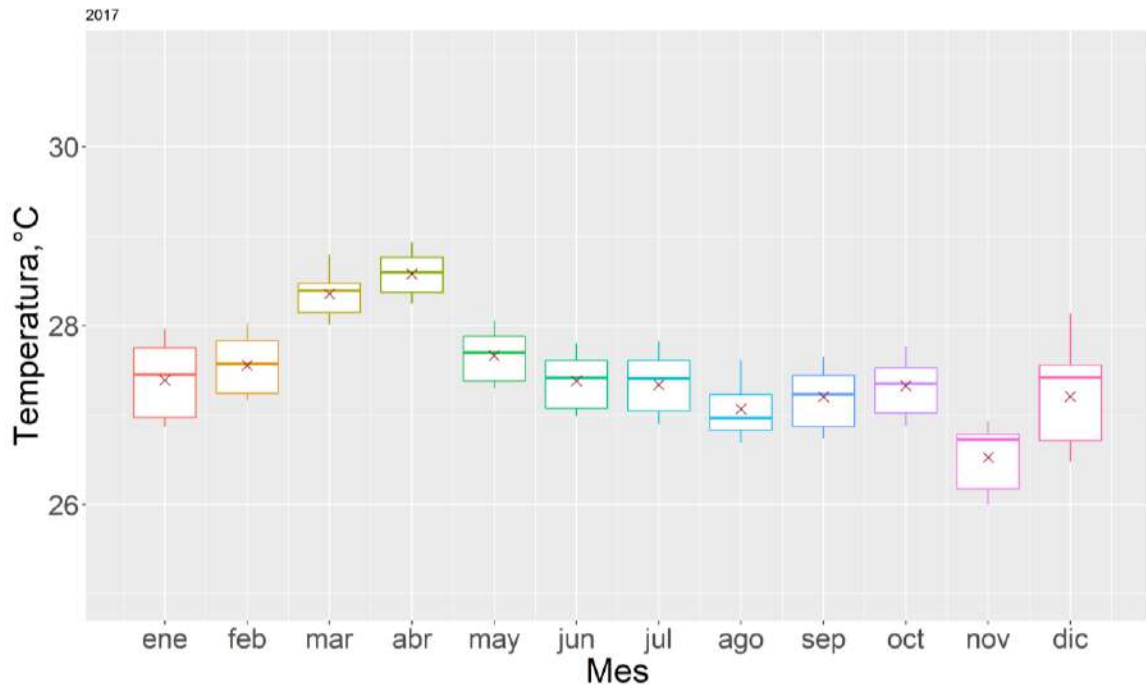


Figura 44. *Boxplot* anual para serie de temperaturas mensuales del 2017.

Elaboración propia.

Se observa en la figura 44 que las distribuciones de la mayoría de los diagramas mensuales tienden a ser poco dispersas, con excepciones en los meses de enero, noviembre y diciembre, los dos últimos mostrando considerable asimetría negativa junto con marzo, indicando una mayor dispersión en los datos por debajo de la mediana. Solo agosto presentó una asimetría positiva.

Tabla 4.1. Resultados de las mediciones de temperatura del aire para el año 2017.

Mes	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación estándar
Enero	26.87	27.96	27.46	27.39	0.43
Febrero	27.16	28.02	27.57	27.56	0.34
Marzo	28.01	28.79	28.39	28.35	0.26
Abril	28.24	28.93	28.60	28.58	0.25
Mayo	27.30	28.06	27.70	27.67	0.29
Junio	26.99	27.80	27.42	27.39	0.31
Julio	26.90	27.82	27.41	27.34	0.32
Agosto	26.69	27.62	26.97	27.07	0.32
Septiembre	26.74	27.65	27.24	27.21	0.35
Octubre	26.88	27.76	27.35	27.33	0.33
Noviembre	25.99	26.94	26.73	26.53	0.37
Diciembre	26.47	28.14	27.42	27.21	0.56

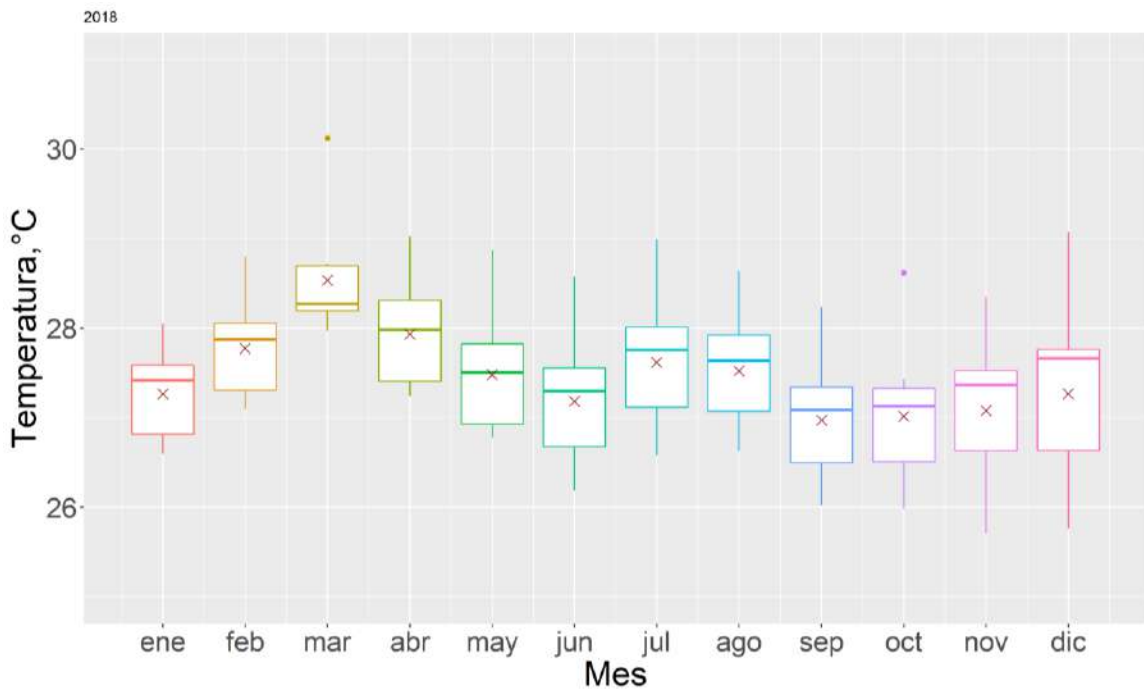


Figura 45. *Boxplot* anual para serie de temperaturas mensuales del 2018. Elaboración propia.

En la figura 45 se observan datos atípicos por encima de los diagramas para los meses de marzo y octubre, el primero presentando la única asimetría positiva. Además, se cuenta con distribuciones asimétricas más dispersas en todos los meses, lo cual indica una mayor varianza en el rango de temperaturas presentadas.

Tabla 4.2. Resultados de las mediciones de temperatura del aire para el año 2018.

Mes	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación estándar
Enero	26.60	28.05	27.42	27.27	0.50
Febrero	27.09	28.80	27.88	27.77	0.56
Marzo	27.97	30.12	28.27	28.54	0.66
Abril	27.25	29.03	27.98	27.93	0.59
Mayo	26.78	28.87	27.51	27.48	0.67
Junio	26.19	28.58	27.30	27.19	0.73
Julio	26.58	28.99	27.76	27.62	0.73
Agosto	26.63	28.64	27.64	27.52	0.63
Septiembre	26.02	28.24	27.09	26.97	0.67
Octubre	25.98	28.62	27.13	27.02	0.78
Noviembre	25.71	28.35	27.37	27.08	0.80
Diciembre	25.77	29.07	27.66	27.27	1.02

4.1.3. Mapa de calor

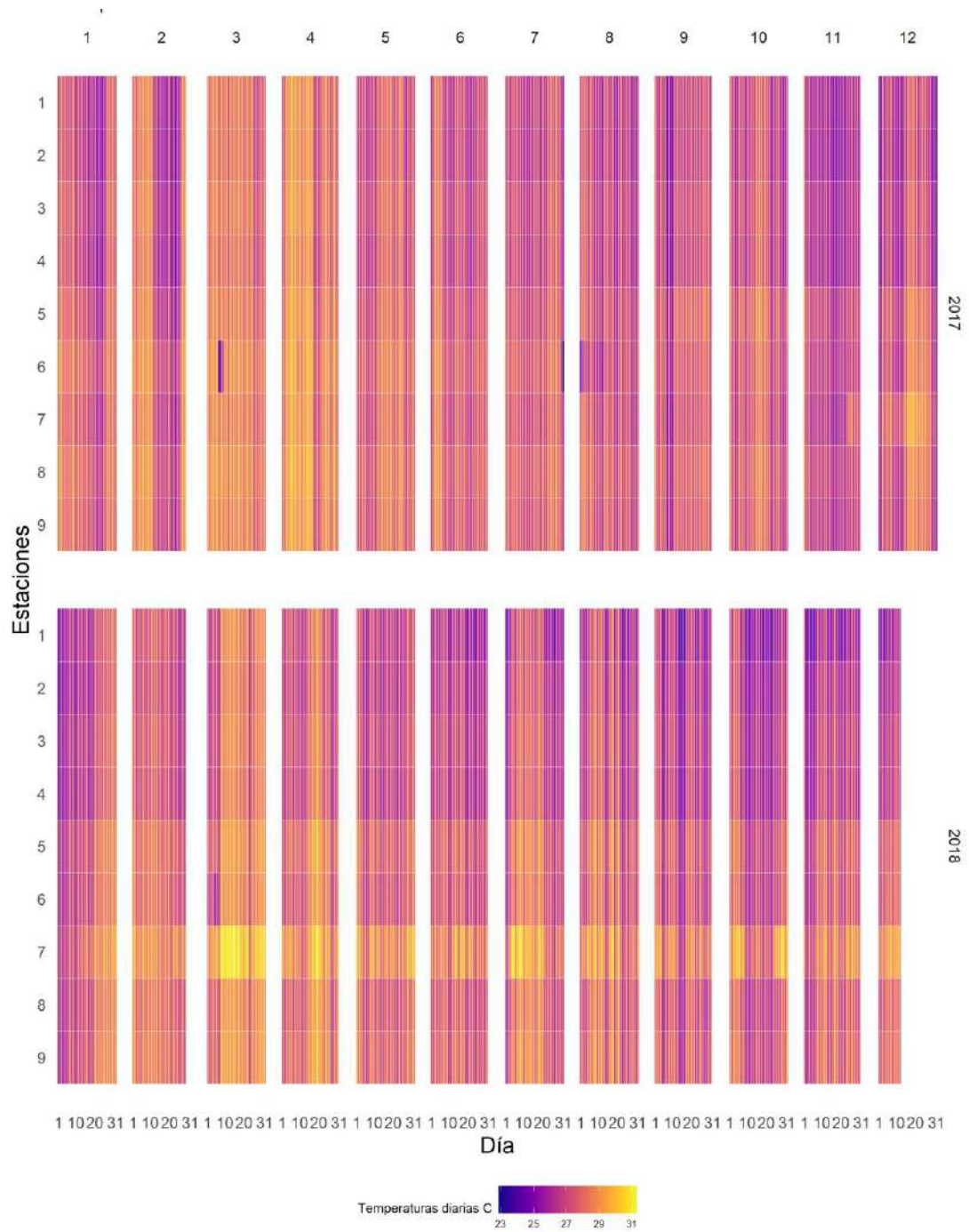


Figura 46. Mapa de calor para los años 2017 y 2018. Elaboración propia.

4.2. Humedad relativa

4.2.1. Análisis mensual por elevación

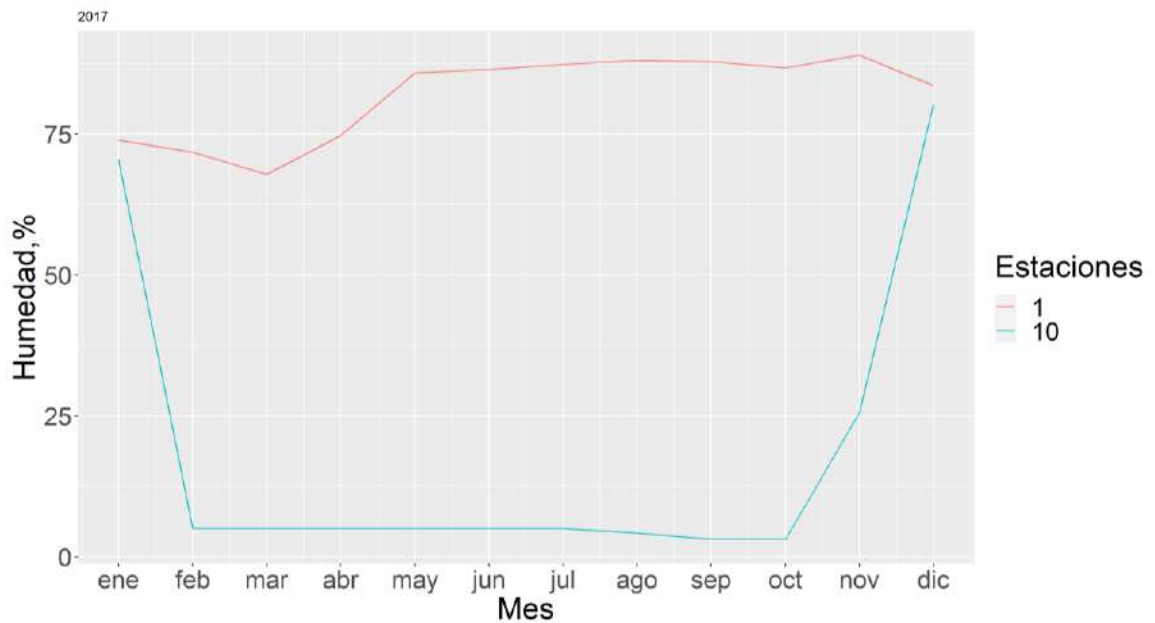


Figura 47. Humedad relativa a dos elevaciones para el 2017. Elaboración propia.

Se aprecia en la figura 47 que solamente los meses de enero y diciembre arrojaron datos considerados como válidos en la estación T10-H10. La tabla 4.3 refleja los altos valores de desviación estándar producto del fallo en el sensor.

Tabla 4.3. Resultados de las mediciones de humedad relativa para el año 2017.

Mes	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación estándar
Enero	70.48	73.92	72.20	72.20	2.44
Febrero	5.07	71.81	38.44	38.44	47.19
Marzo	5.08	67.89	36.48	36.48	44.41
Abril	5.06	74.72	39.89	39.89	49.26
Mayo	5.08	85.86	45.47	45.47	57.12
Junio	5.08	86.44	45.76	45.76	57.54
Julio	5.07	87.38	46.22	46.22	58.20
Agosto	4.26	88.07	46.16	46.16	59.26
Septiembre	3.12	87.87	45.50	45.50	59.93
Octubre	3.13	86.74	44.94	44.94	59.12
Noviembre	25.59	89.03	57.31	57.31	44.86
Diciembre	80.16	83.61	81.89	81.89	2.44

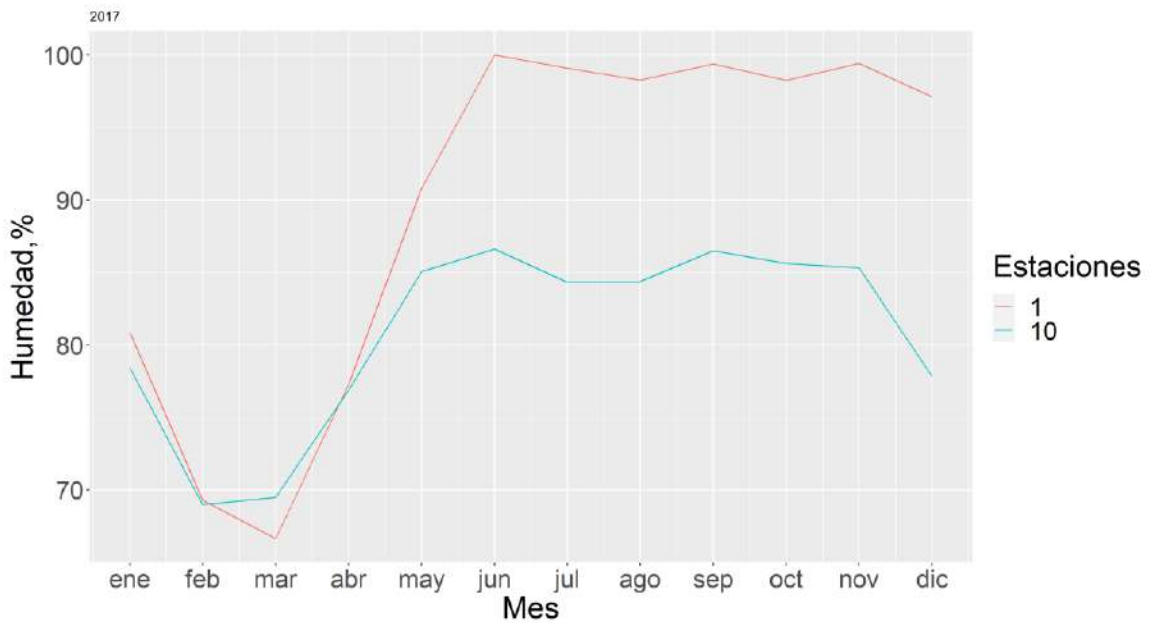


Figura 48. Humedad relativa a dos elevaciones para el 2018. Elaboración propia.

Las mediciones del 2018 representadas en la figura 48 permiten visualizar claramente que el sensor T10-H10 presenta lecturas de humedad menores a las del sensor T1-H1, este último estando más cercana al nivel del suelo, mientras que el primero se encuentra por encima del dosel del bosque.

Tabla 4.4. Resultados de las mediciones de humedad relativa para el año 2018

Mes	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación estándar
Enero	78.42	80.87	79.64	79.64	1.73
Febrero	68.98	69.29	69.14	69.14	0.22
Marzo	66.64	69.49	68.07	68.07	2.02
Abril	76.86	77.24	77.05	77.05	0.27
Mayo	85.06	90.81	87.93	87.93	4.07
Junio	86.61	100.01	93.31	93.31	9.47
Julio	84.30	99.09	91.70	91.70	10.46
Agosto	84.36	98.26	91.31	91.31	9.83
Septiembre	86.48	99.37	92.93	92.93	9.11
Octubre	85.61	98.24	91.92	91.92	8.94
Noviembre	85.30	99.43	92.36	92.36	9.99
Diciembre	77.81	97.10	87.46	87.46	13.64

4.3. Análisis de correlación

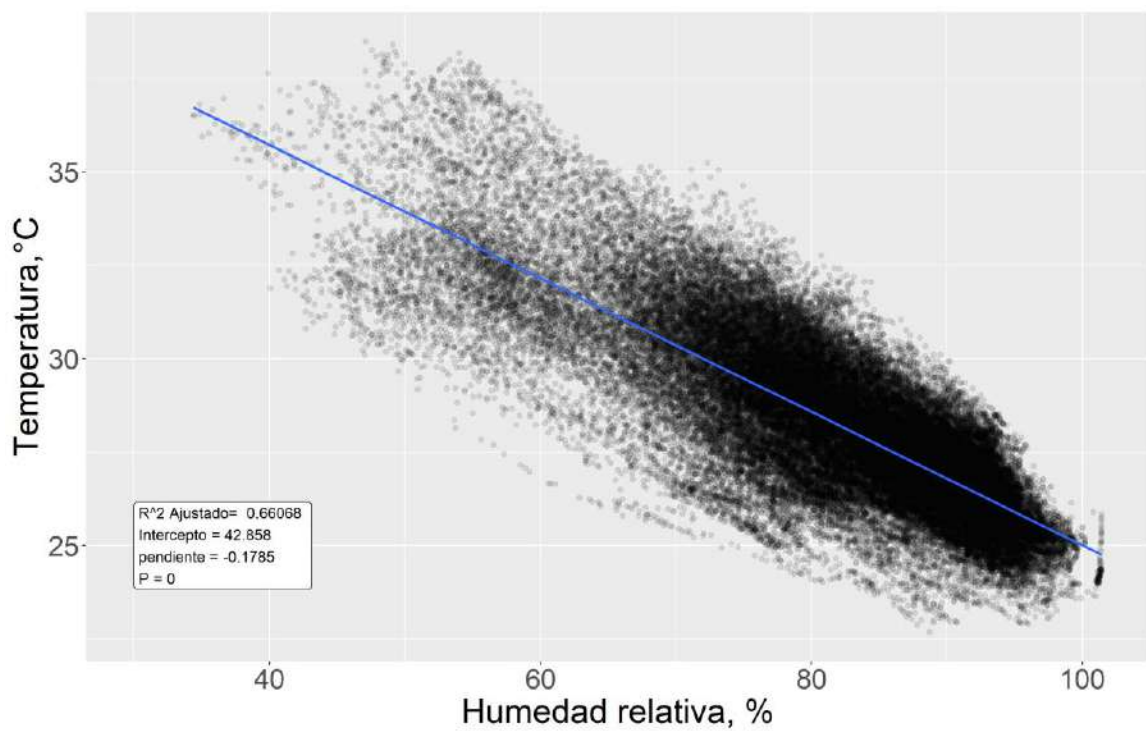


Figura 49. Diagrama de dispersión para los valores de temperatura del aire y humedad relativa de la estación T1-H1.

Limitantes

El principal limitante para un análisis más extenso de las variables estudiadas fue el daño sufrido por ciertos sensores a causa de las aves de rapiña (figura 50); las cuales al posarse en o cerca de múltiples sensores por períodos prolongados causaron que estos se descalibraran. Inicialmente estaba planeada la utilización de los datos del año 2019, sin embargo, se siguieron presentando problemas con las aves de rapiña durante la mayoría de los meses, con lo cual se desistió del uso de los datos para tal año, pues no se contaría con un perfil completo de los cambios en temperatura y humedad relativa con el aumento en la elevación. No fue sino hasta el mes de septiembre de 2019 que se logró remediar esta problemática con la instalación de medidas disuasorias en los sensores (figura 51).



Figura 50. *Pelicanus occidentalis carolinensis* (izq.) y *Coragyps atratus* (der.).

Elaborada por: Walter P. Pflieger©. Disponible en: <http://naturephoto-walter.blogspot.com/2017/07/panama-city-panama-panama-stadt-panama.html>.



Figura 51. Ejemplo de mecanismos de protección contra aves para los sensores de la torre. Elaborada por: CIHH.

Conclusiones

1. Se logró obtener un perfil de la temperatura del aire casi perfectamente completo a lo largo de la elevación de la torre para ambos años estudiados. Dicho perfil no solo permite analizar las variaciones térmicas en función de la altura, sino que, además, puede utilizarse en estudios de respuesta estomática y de covarianza de remolinos.
2. La temperatura media del sitio de estudio se mantiene acorde a lo observado por D'Croz (1993) y Kaufmann (2012), con ligeros picos durante la estación seca, siendo el mes más caliente abril para el 2017 y marzo en el 2018. Sin embargo, no se alcanzaron temperaturas que por sí solas pudiesen inducir estrés de consideración en los manglares.
3. Las variaciones de temperatura entre las estaciones mes a mes, aunque apreciables a la vista gráficamente, se consideran despreciables debido a los bajos valores de desviación estándar plasmados en las tablas 4.1 y 4.2.
4. A pesar de no haber contado con las mediciones de humedad relativa para una de las estaciones durante el 2017, fue posible observar que la humedad disminuye con la elevación, a causa de la mayor incidencia de la radiación solar gracias a los datos recabados en el 2018.

5. Se confirmó que existe una correlación negativa muy significativa entre la temperatura del aire y la humedad relativa, obteniéndose un coeficiente de determinación igual a 0.66. La relación entre ambas también parece estar influenciada en cierta medida por la elevación, sin embargo, las máximas temperaturas no se dieron en la estación más elevada. Al momento de concluido este estudio no es posible atribuirle esta aparente discrepancia a interferencia entre sensores o a ocurrencias naturales.

6. Desde el año 2016 y durante los meses donde la estación seca suele ser más pronunciada se ha observado gracias a imágenes satelitales la degradación en una franja del manglar cercana a la torre y a la planta de tratamiento de aguas residuales en comparación con los meses correspondientes a la temporada lluviosa (figuras 52 y 53). No es posible atribuirle directamente a alguno de los factores estudiados este fenómeno, pero es probable que la influencia de variables naturales y antropogénicas esté incidiendo en este suceso, entre ellas las construcciones en áreas aledañas al manglar, como la ampliación de la planta de tratamientos de aguas residuales y diversos proyectos urbanísticos.

7. Se presentaron los resultados de análisis preliminares durante un congreso internacional para promover los objetivos de difusión de la información del proyecto FID 2016-30. De igual forma, los resultados obtenidos en este estudio se presentarán ante la SENACYT dentro de los informes de avance del proyecto.



Figura 52. Vista satelital del manglar de Juan Díaz y la planta de tratamiento de aguas residuales durante la estación húmeda del 2017.



Figura 53. Vista satelital del manglar de Juan Díaz y la planta de tratamiento de aguas residuales durante la estación seca del 2018.

Recomendaciones

Se recomienda continuar con el monitoreo de las variables estudiadas, ya que el estudio de parámetros climáticos en zonas de importancia ecológica como lo son los humedales requiere de mediciones constantes. Adicionalmente, se sugiere se realicen investigaciones enfocadas a medir la respuesta estomática de los manglares del área, para mejorar así el entendimiento del estado de la asimilación de CO₂ de los mismos.

Finalmente, es recomendado dar mantenimiento constante a todos los equipos de la torre y verificar que la disposición de los mismos no cause distorsiones en las mediciones de parámetros como la temperatura.

Referencias bibliográficas

[ANAM-ARAP] AUTORIDAD NACIONAL DEL AMBIENTE Y AUTORIDAD DE LOS RECURSOS ACUÁTICOS DE PANAMÁ, 2013. *Manglares de Panamá: importancia, mejores prácticas y regulaciones vigentes* [en línea]. 1.^a ed. Ciudad de Panamá, República de Panamá: Editora Novo, S.A. ISBN 978-9962-651-86-4. Disponible en: <https://lac.wetlands.org/publicacion/manglares-de-panama-importancia-mejores-practicas-y-regulaciones-vigentes/>.

[ANAM] AUTORIDAD NACIONAL DEL AMBIENTE, 2011. *Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la República de Panamá 2010-2030* [en línea]. 1.^a ed. Ciudad de Panamá, República de Panamá: Nova Publishers. ISBN 978-9962-609-77-3. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/pan118989anx.pdf>.

ALONGI, D., 2009. *The Energetics of Mangrove Forests* [en línea]. 1.^a ed. S.I.: Springer. ISBN 978-1-4020-4271-3. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-4271-3>.

ALONGI, D.M., 2008. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* [en línea], vol. 76, no. 1, pp. 1-13. ISSN 02727714. DOI 10.1016/j.ecss.2007.08.024. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/222540308_Mangrove_forests_Resilience_protection_from_tsunamis_and_responses_to_global_climate_change.

ALONGI, D.M., 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual*

Review of Marine Science [en línea], vol. 6, no. January 2014, pp. 195-219. ISSN 19411405. DOI 10.1146/annurev-marine-010213-135020. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259650328_Carbon_Cycling_and_Storage_in_Mangrove_Forests.

ALONGI, D.M., 2020. Global Significance of Mangrove Blue Carbon in Climate Change Mitigation. *Sci* [en línea], vol. 2, no. 3, pp. 67. DOI 10.3390/sci2030067. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/343178172_Global_Significance_of_Mangrove_Blue_Carbon_in_Climate_Change_Mitigation_Version_1.

ANDREWS, T.J., CLOUGH, B.F. y MULLER, G.J., 1984. Photosynthetic gas exchange properties and carbon isotope ratios of some mangroves in North Queensland. En: H.J. TEAS (ed.), *Physiology and management of mangroves. Tasks for vegetation science, vol 9*. [en línea]. 1.^a ed. Dordrecht, Países Bajos: Springer, pp. 15-23. ISBN 978-94-009-6572-0. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-6572-0_2.

ARCIA JARAMILLO, O., 2012. Humedal bahía de Panamá, en jaque debido a intereses. *La Prensa* [en línea]. Ciudad de Panamá, República de Panamá, 18 octubre 2012. pp. 2. Disponible en: https://www.prensa.com/imprensa/panorama/Humedal-Panama-jaque-debido-intereses_0_3505149553.html.

ARCIA JARAMILLO, O., 2019a. Exministro Emilio Sempris suspendió plan para humedal bahía de Panamá. *La Prensa* [en línea]. Ciudad de Panamá, República de Panamá, 26 julio 2019. pp. 2. Disponible en: <https://www.prensa.com/imprensa/panorama/Sempris-suspendio-plan->

humedal_0_5358214212.html.

ARCIA JARAMILLO, O., 2019b. Recobra vida plan de manejo del humedal bahía de Panamá. *La Prensa* [en línea]. Ciudad de Panamá, República de Panamá, 22 agosto 2019. pp. 1. Disponible en: https://www.prensa.com/imprensa/panorama/Recobra-manejo-humedal-bahia-Panama_0_5378462164.html.

Atlas Nacional de la República de Panamá, 2016. 2016. 5.^a ed. Ciudad de Panamá, República de Panamá: Instituto Geográfico Nacional «Tommy Guardia». ISBN 978-9962-11-048-4.

BALL, M.C. y FARQUHAR, G.D., 1984. Photosynthetic and Stomatal Responses of the Grey Mangrove, *Avicennia marina*, to Transient Salinity Conditions. *Plant Physiology* [en línea], vol. 74, no. 1, pp. 7-11. ISSN 0032-0889. DOI 10.1104/pp.74.1.7. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1066614/pdf/plntphys00570-0022.pdf>.

BANDARANAYAKE, W.M., 1998. Traditional and medicinal uses of mangroves. *Mangroves and Salt Marshes* [en línea], vol. 2, no. 3, pp. 133-148. ISSN 13863509. DOI 10.1023/A:1009988607044. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009988607044>.

BANDARANAYAKE, W.M., 2002. Bioactivities, bioactive compounds and chemical constituents of mangrove plants. *Wetlands Ecology and Management* [en línea], vol. 10, no. 6, pp. 421-452. ISSN 09234861. DOI 10.1023/A:1021397624349. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1021397624349>.

- BBC BITESIZE, 2020. BBC Bitesize - GCSE Maths - Representing data - Edexcel - Revision 7. [en línea]. [Consulta: 20 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zc7sb82/revision/7>.
- BECKER, R.A., CHAMBERS, J. y WILKS, A.R., 1988. *The New S Language*. 1.^a ed. Monterrey, California, Estados Unidos de América: Wadsworth and Brooks/Cole Advanced Books & Software. ISBN 978-0534091927.
- BENITEZ, L.A. y SEGOVIA, E.A., 2003. *Estructura Y Composición Florística De La Vegetación Nuclear Del Manglar De La Bahía De La Unión, Departamento De La Unión, El Salvador* [en línea]. S.I.: Universidad de El Salvador. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8620/1/19200566.pdf>.
- BODERO, A., 1993. Mangrove Ecosystems of Ecuador. En: L. LACERDA (ed.), *Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions. Part I: Latin America* [en línea]. 1.^a ed. Okinawa, Japón: Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT); Sociedad Internacional para los Ecosistemas de Manglares (SIEM) Proyecto ITTO/ISME PD114/90(F)., pp. 272. ISBN 0919-2646. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/304494637_Conservation_and_sustainable_utilization_of_mangrove_forests_in_Latin_Americ.
- BOUILLON, S., 2011. Storage beneath mangroves. *Nature Geoscience* [en línea], vol. 4, no. 5, pp. 282-283. ISSN 1752-0894. DOI 10.1038/ngeo1130. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/258540452_Carbon_cycle_Storage_beneath_mangroves.

BOUILLON, S., BORGES, A. V., CASTAÑEDA-MOYA, E., DIELE, K., DITTMAR, T., DUKE, N.C., KRISTENSEN, E., LEE, S.Y., MARCHAND, C., MIDDELBURG, J.J., RIVERA-MONROY, V.H., SMITH, T.J. y TWILLEY, R.R., 2008. Mangrove production and carbon sinks: A revision of global budget estimates. *Global Biogeochemical Cycles* [en línea], vol. 22, no. 2. ISSN 08866236. DOI 10.1029/2007GB003052. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/29467315_Mangrove_Production_and_Carbon_sinks_A_revision_of_global_budget_estimates.

CAHOON, D.R., HENSEL, P.F., SPENCER, T., REED, D.J., MCKEE, K.L. y SAINTILAN, N., 2006. Coastal Wetland Vulnerability to Relative Sea-Level Rise: Wetland Elevation Trends and Process Controls. En: J.T. VERHOEVEN, B. BELTMAN, R. ROBBINK y D.F. WHIGHAM (eds.), *Wetlands and Natural Resource Management* [en línea]. 1.^a ed. Berlin: Springer-Verlag, pp. 271-292. ISBN 978-3-540-33186-5. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/226322519_Coastal_Wetland_Vulnerability_to_Relative_Sea-Level_Rise_Wetland_Elevation_Trends_and_Process_Controls.

CAHOON, D.R. y LYNCH, J.C., 1997. Vertical accretion and shallow subsidence in a mangrove forest of southwestern Florida, U.S.A. *Mangroves and Salt Marshes* [en línea], vol. 1, no. 3, pp. 173-186. DOI 10.1023/A:1009904816246. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237995285_Vertical_accretion_and_shallow_subsidence_in_a_mangrove_forest_of_southwestern_Florida_USA.

- CAMACHO, C., 2013a. *Coefficiente de correlación lineal de Pearson* [en línea]. 2013. S.l.: s.n. Disponible en: <https://personal.us.es/vararey/correlacion-lineal-pearson.pdf>.
- CAMACHO, C., 2013b. *Regresión lineal simple* [en línea]. 2013. S.l.: s.n. Disponible en: <https://personal.us.es/vararey/regresion-simple.pdf>.
- CÁRDENAS-CASTILLERO, G., 2018. *Entorno Socio-Ambiental y Calidad de Agua del Área Protegida Humedal Bahía de Panamá*. 1.^a ed. Ciudad de Panamá, República de Panamá: Centro de Incidencia Ambiental de Panamá; Fundación David y Lucile Packard. ISBN 978-9962-51-221-9.
- CAVALERI, M.A., REED, S.C., SMITH, W.K. y WOOD, T.E., 2015. Urgent need for warming experiments in tropical forests. *Global Change Biology* [en línea], vol. 21, no. 6, pp. 2111-2121. ISSN 13652486. DOI 10.1111/gcb.12860. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/gcb.12860>.
- CHAMBERS, J., 1992. Data for Models. En: T. HASTIE (ed.), *Statistical Models in S* [en línea]. 1.^a ed. Nueva York: Routledge, ISBN 978-3-642-50096-1. Disponible en: <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9780203738535>.
- CIHH [CENTRO DE INVESTIGACIONES HIDRÁULICAS E HIDROTÉCNICAS], 2019. Análisis de Flujo de CO₂ y Vapor de Agua de un Ecosistema de Manglar. [en línea]. [Consulta: 21 febrero 2019]. Disponible en: <http://manglar-carbono.utp.ac.pa/>.
- CLOUGH, B.F., 1984. Growth and salt balance of the mangroves *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. and *Rhizophora stylosa* Griff. in relation to salinity. *Australian*

Journal of Plant Physiology [en línea], vol. 11, no. 5, pp. 419-430. ISSN 03107841. DOI 10.1071/PP9840419. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Growth-and-Salt-Balance-of-the-Mangroves-Avicennia-Clough/2db84405068849d0f893fd2d4f239aee7a81ff89>.

CLOUGH, B.F., ANDREWS, T.J. y COWAN, I.R., 1982. 11. Physiological Processes in Mangroves. En: B.F. CLOUGH (ed.), *Mangrove ecosystems in Australia: structure, function and management* [en línea]. 1.^a ed. Canberra, Australia: Universidad Nacional de Australia, pp. 193-210. ISBN 0-7081-1170-x. Disponible en: <https://openresearch-repository.anu.edu.au/bitstream/1885/115032/2/b1317910x.pdf>.

CONDE, J.E. y ALARCÓN, C., 1993. Mangroves of Venezuela. En: L. LACERDA (ed.), *Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions. Part I: Latin America* [en línea]. 1.^a ed. Okinawa, Japón: Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT); Sociedad Internacional para los Ecosistemas de Manglares (SIEM) Proyecto ITTO/ISME PD114/90(F)., pp. 272. ISBN 0919-2646. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/304494637_Conservation_and_sustainable_utilization_of_mangrove_forests_in_Latin_Americ.

D'CROZ, L., 1993. Status and uses of mangroves in the Republic of Panama. En: L.D. LACERDA (ed.), *Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions. Part I: Latin America* [en línea]. Okinawa, Japón: Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT); Sociedad Internacional para los Ecosistemas de Manglares (SIEM)

Proyecto ITTO/ISME PD114/90(F)., pp. 272. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/304494637_Conservation_and_sustainable_utilization_of_mangrove_forests_in_Latin_America_and_Africa_regions.

D'CROZ, L. y KWIECINSKY, B., 1980. Contribución de los manglares a las pesquerías de la Bahía de Panamá. *Revista Biológica Tropical* [en línea], vol. 28, no. 1, pp. 13-29. Disponible en: <https://tropicalstudies.org/rbt/attachments/volumes/vol28-1/02-DCroz-Manglares.pdf>.

DALGAARD, P., 2008. *Introductory Statistics with R*. 2.^a ed. Nueva York: Springer Science+Business Media, LLC. ISBN 9780387790534.

DITTMAR, T., HERTKORN, N., KATTNER, G. y LARA, R.J., 2006. Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 20, no. 1, pp. 1-7. ISSN 08866236. DOI 10.1029/2005GB002570.

DONATO, D.C., KAUFFMAN, J.B., MURDIYARSO, D., KURNIANTO, S., STIDHAM, M. y KANNINEN, M., 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience* [en línea], vol. 4, no. 5, pp. 293-297. ISSN 17520894. DOI 10.1038/ngeo1123. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1123>.

DUARTE, C.M. y CEBRIÁN, J., 1996. The fate of marine autotrophic production. *Limnology and Oceanography* [en línea], vol. 41, no. 8, pp. 1758-1766. ISSN 00243590. DOI 10.4319/lo.1996.41.8.1758. Disponible en: <https://aslopubs.o>

nlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.4319/lo.1996.41.8.1758.

DUKE, N., 1991. *Nypa* in the mangroves of Central America: introduced or relict?

Principes, vol. 35, no. 3, pp. 127-132. ISSN 0032-8480.

DUKE, N., 1996. Mangrove reforestation in Panama: An evaluation of planting in

areas deforested by a large oil spill. En: C. FIELD (ed.), *Restoration of*

Mangrove Ecosystems [en línea]. 1.^a ed. Okinawa, Japón: Organización

Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT); Sociedad Internacional para

los Ecosistemas de Manglares (SIEM), pp. 209-232. ISBN 978-4906584024.

Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/45256600_Mangrove_reforestation_in_Panama_an_evaluation_of_planting_in_areas_deforested_by_a_large_oil_spill.

DUKE, N.C., BALL, M.C. y ELLISON, J.C., 1998. Factors influencing biodiversity

and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology and Biogeography*

Letters [en línea], vol. 7, no. 1, pp. 27-47. ISSN 09607447. DOI

10.2307/2997695. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/37622334_Factors_Influencing_Biodiversity_and_Distributional_Gradients_in_Mangroves.

ELLISON, J.C., 2000. How South Pacific Mangroves May Respond to Predicted

Climate Change and Sea-level Rise. En: A. GILLESPIE y W.C. BURNS (eds.),

Climate Change in the South Pacific : New Zealand , and Small Island States

Advances in Global Change Research [en línea]. 1.^a ed. Dordrecht, Países

Bajos: Kluwer Academic Publishers, pp. 289-300. ISBN 0306479818.

Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/227037100_How_S

outh_Pacific_Mangroves_May_Respond_to_Predicted_Climate_Change_and_Sea-Level_Rise.

FAO [ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA], 2018. Perfiles de Pesca y Acuicultura por Países. Panamá (2018). Hojas de datos de perfiles de los países. *Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO* [en línea]. [Consulta: 8 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/fishery/facp/PAN/es#topOfPage>.

FIELD, C.D., 1995. Impact of expected climate change on mangroves. *Hydrobiologia* [en línea], vol. 295, no. 1, pp. 75-81. ISSN 00188158. DOI 10.1007/BF00029113. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/225218992_Impact_of_expected_climate_change_on_mangroves.

FOURQUREAN, J.W., DUARTE, C.M., KENNEDY, H., MARBÀ, N., HOLMER, M., MATEO, M.A., APOSTOLAKI, E.T., KENDRICK, G.A., KRAUSE-JENSEN, D., MCGLATHERY, K.J. y SERRANO, O., 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience* [en línea], vol. 5, no. 7, pp. 505-509. ISSN 17520894. DOI 10.1038/ngeo1477. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1477>.

FROM DATA TO VIZ, 2018. from Data to Viz-Heatmap. [en línea]. [Consulta: 20 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.data-to-viz.com/graph/heatmap.html#related>.

GILMAN, E., ELLISON, J. y COLEMAN, R., 2007. Assessment of mangrove response to projected relative sea-level rise and recent historical

reconstruction of shoreline position. *Environmental Monitoring and Assessment* [en línea], vol. 124, no. 1-3, pp. 105-130. DOI 10.1007/s10661-006-9212-y. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/6629382_Assessment_of_Mangrove_Response_to_Projected_Relative_Sea-Level_Rise_And_Recent_Historical_Reconstruction_of_Shoreline_Position.

GILMAN, E.L., ELLISON, J., DUKE, N.C. y FIELD, C., 2008. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. *Aquatic Botany* [en línea], vol. 89, no. 2, pp. 237-250. ISSN 03043770. DOI 10.1016/j.aquabot.2007.12.009. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/292759441_Threats_to_mangroves_from_climate_change_and_adaptation_options.

GRINSTED, A., MOORE, J.C. y JEVREJEVA, S., 2010. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. *Climate Dynamics* [en línea], vol. 34, no. 4, pp. 461-472. ISSN 09307575. DOI 10.1007/s00382-008-0507-2. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-008-0507-2>.

GUERRA TORRES, C.P., 2018. Informe acerca del estatus de la torre de Eddy Covariance (Torre Jay Zeiman - TJZ) manglar del río Juan Díaz, Bahía de Panamá, Panamá. . S.l.:

GÜNTER, Sven, 2011. Mangroves and Mountains: Silviculture at Ecological Margins (Review). En: S GÜNTER, M. WEBBER, B. STIMM y R. MOSANDL (eds.), *Silviculture in the Tropics (Tropical forestry, Vol. 8)* [en línea]. Berlín: Springer, pp. 559. ISBN 9783642199851. Disponible en: <https://link.springer>.

com/book/10.1007/978-3-642-19986-8.

HERNANDEZ SAMPIERI, R., FERNANDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, M. del P., 2010. *Metodología de la investigación* [en línea]. 5.^a ed. Ciudad de México, México: McGraw-Hill. ISBN 978-607-15-0291-9. Disponible en: <http://www.casadellibro.com/libro-metodologia-de-la-investigacion-5-ed-incluye-cd-rom/9786071502919/1960006>.

IPCC [PANEL INTERGUBERNAMENTAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO], 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Work Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [en línea]. Ginebra, Suiza: Disponible en: https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf.

JAYATISSA, L.P., HETTIARACHI, S. y DAHDOUH-GUEBAS, F., 2006. An attempt to recover economic losses from decadal changes in two lagoon systems of Sri Lanka through a newly patented mangrove product. *Environment, Development and Sustainability* [en línea], vol. 8, no. 4, pp. 585-595. ISSN 1387585X. DOI 10.1007/s10668-006-9045-4. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/225138529_An_attempt_to_recover_economic_losses_from_decadal_changes_in_two_lagoon_systems_of_Sri_Lanka_through_a_newly_patented_mangrove_product.

JENNERJAHN, T.C. y ITTEKKOT, V., 2002. Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins. *Naturwissenschaften* [en línea], vol. 89, no. 1, pp. 23-30. ISSN 00281042. DOI 10.1007/s00114-001-0283-x. Disponible en: <https://www.researchgate.net/p>

ublication/11362345_Relevance_of_mangroves_for_the_production_and_deposition_of_organic_matter_along_tropical_continental_margins.

KAUFMANN, K.W., 2012. *Nuestros Humedales, Nuestro Futuro. Plan de Conservación para los Humedales de la bahía de Panamá* [en línea]. 1.^a ed. Ciudad de Panamá, República de Panamá: National Audubon Society. ISBN 9789962884774. Disponible en: <https://www.audubonpanama.org/index.php/publicaciones.html>.

KOMIYAMA, A., ONG, J.E. y POUNGPARN, S., 2008. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, vol. 89, no. 2, pp. 128-137. ISSN 03043770. DOI 10.1016/j.aquabot.2007.12.006.

KRAUSE, G.H., CHEESMAN, A.W., WINTER, K., KRAUSE, B. y VIRGO, A., 2013. Thermal tolerance, net CO₂ exchange and growth of a tropical tree species, *Ficus insipida*, cultivated at elevated daytime and nighttime temperatures. *Journal of Plant Physiology* [en línea], vol. 170, no. 9, pp. 822-827. ISSN 01761617. DOI 10.1016/j.jplph.2013.01.005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2013.01.005>.

KRISTENSEN, E., BOUILLON, S., DITTMAR, T. y MARCHAND, C., 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany* [en línea], vol. 89, no. 2, pp. 201-219. ISSN 03043770. DOI 10.1016/j.aquabot.2007.12.005. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304377007001817>.

LA PRENSA, 2012. Audubon: «Con destrucción de manglares se crearía una

trampa de muerte». *La Prensa* [en línea]. Ciudad de Panamá, República de Panamá, 7 junio 2012. pp. 1. Disponible en: https://www.prensa.com/cinthia_almanza/Audubon-destruccion-manglares-crearia-muerte_2_3405429428.html.

LEFEBVRE, G. y POULIN, B., 1996. Seasonal abundance of migrant birds and food resources in panamanian mangrove forests. *The Wilson Bulletin* [en línea], vol. 108, no. 4, pp. 748-759. ISSN 00435643. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/242078245_Seasonal_abundance_of_migrant_birds_and_food_resources_in_Panamanian_mangrove_forests/link/02e7e5342dae298fe1000000/download.

LEY 1 DE 2 DE FEBRERO DE, 2015. Que declara Área Protegida al Refugio de Vida Silvestre Sitio Ramsar Humedal Bahía de Panamá. *Gaceta Oficial de la República de Panamá* [en línea]. Ciudad de Panamá, República de Panamá, 9 febrero 2015. pp. 1-59. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdf/Temp/27717/49758.pdf>.

LEY 14 DE 21 DE ABRIL DE, 2015. Que modifica la Ley 6 de 2006, que reglamenta el ordenamiento territorial para el desarrollo urbano, y dicta otras disposiciones. *Gaceta Oficial de la República de Panamá* [en línea]. 2015. pp. 1-12. Disponible en: http://gacetas.procuraduria-admon.gob.pa/27767_2015.pdf.

LEY 5 DE 3 DE ENERO DE, 1989. Por la cual se aprueba la Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres. *Gaceta Oficial de la República de Panamá* [en línea]. Ciudad de Panamá, República

de Panamá, 11 enero 1989. pp. 1-16. Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.pa/gacetitas/21210_1989.pdf.

LEY 6 DE 1 DE FEBRERO DE, 2006. Que reglamenta el ordenamiento territorial para el desarrollo urbano y dicta otras disposiciones. *Gaceta Oficial de la República de Panamá* [en línea]. Ciudad de Panamá, República de Panamá, febrero 2006. pp. 1-17. Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.pa/gacetitas/25478_2006.pdf.

LEY 6 DE 3 DE ENERO DE, 1989. Por la cual se aprueba la Convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas (Convención de Ramsar) y el protocolo con vistas a modificarla. *Gaceta Oficial de la República de Panamá* [en línea]. Ciudad de Panamá, República de Panamá, 12 enero 1989. pp. 1-16. Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.pa/gacetitas/21210_1989.pdf.

LEY 8 DE 25 DE MARZO DE, 2015. Que crea el Ministerio de Ambiente, modifica disposiciones de la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá y dicta otras disposiciones. *Gaceta Oficial de la República de Panamá* [en línea]. Ciudad de Panamá, República de Panamá, 8 marzo 2015. pp. 1-43. Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/27749_B/50251.pdf.

LEY 80 DE 31 DE DICIEMBRE DE, 2009. Que reconoce derechos posesorios y regula la titulación en zonas costeras y el territorio insular con el fin de garantizar su aprovechamiento óptimo y dicta otras disposiciones. *Gaceta Oficial de la República de Panamá* [en línea], vol. 106, no. 26438, pp. 1-15.

Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/26438_B/24787.pdf
f.

LÓPEZ-ANGARITA, J., ROBERTS, C.M., TILLEY, A., HAWKINS, J.P. y COOKE, R.G., 2016. Mangroves and people: Lessons from a history of use and abuse in four Latin American countries. *Forest Ecology and Management* [en línea], vol. 368, no. 40, pp. 151-162. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2016.03.020. Disponible en: https://www.academia.edu/25525403/Mangroves_and_people_Lessons_from_a_history_of_use_and_abuse_in_four_Latin_American_countries.

MATSUI, N., 1998. Estimated stocks of organic carbon in mangrove roots and sediments in Hinchinbrook Channel, Australia. *Mangroves and Salt Marshes* [en línea], vol. 2, no. 4, pp. 199-204. ISSN 00138703. DOI 10.1023/A. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/226576880_Estimated_stocks_of_organic_carbon_in_mangrove_roots_and_sediments_in_Hinchinbrook_Channel_Australia?_iepl%5BgeneralViewId%5D=0UtmrlvA6qHcyHQIPhBJA9ixUpDZkR9hL50n&_iepl%5Bcontexts%5D%5B0%5D=searchReact&i.

MC RAE, K. y REYNA, Z., 2018. *Características estructurales adaptativas en las hojas de cinco especies de mangle [Avicennia germinans L., Conocarpus erectus L., Laguncularia racemosa (L.) Gaertn.f., Pelliciera rhizophorae (L.) Triana & Planch y Rhizophora mangle L.]*. S.l.: Universidad de Panamá.

MCKEE, K.L., CAHOON, D.R. y FELLER, I.C., 2007. Caribbean mangroves adjust to rising sea level through biotic controls on change in soil elevation. *Global*

Ecology and Biogeography [en línea], vol. 16, no. 5, pp. 545-556. ISSN 1466822X. DOI 10.1111/j.1466-8238.2007.00317.x. Disponible en: <http://www.ces.fau.edu/usgs/pdfs/session-g-resource-7.pdf>.

NAGELKERKEN, I., BLABER, S.J.M., BOUILLON, S., GREEN, P., HAYWOOD, M., KIRTON, L.G., MEYNECKE, J.O., PAWLIK, J., PENROSE, H.M., SASEKUMAR, A. y SOMERFIELD, P.J., 2008. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review. *Aquatic Botany*, vol. 89, no. 2, pp. 155-185. ISSN 03043770. DOI 10.1016/j.aquabot.2007.12.007.

NELLEMANN, C., CORCORAN, E., DUARTE, C.M., VALDÉS, L., DE YOUNG, C., FONSECA, L. y GRIMSDITCH, G., 2009. Blue carbon: A Rapid Response Assessment. [en línea]. Arendal, Noruega: Disponible en: http://www.grida.no/files/publications/blue-carbon/BlueCarbon_screen.pdf.

NG, P. y SIVASOTHI, N., 2001. A guide to the Mangroves of Singapore. [en línea]. [Consulta: 5 septiembre 2020]. Disponible en: <http://mangrove.nus.edu.sg>.

PADRÓN, C.M., LLORENTE, S. y MENENDEZ, L., 1993. Mangroves of Cuba. En: L. LACERDA (ed.), *Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions. Part I: Latin America* [en línea]. 1.^a ed. Okinawa, Japón: Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT); Sociedad Internacional para los Ecosistemas de Manglares (SIEM) Proyecto ITTO/ISME PD114/90(F)., pp. 272. ISBN 0919-2646. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/304494637_Conservation_and_sustainable_utilization_of_mangrove_forests_in_Latin_Americ.

- RICO-GRAY, V., 1993. Origen y rutas de dispersión de los mangles: una revisión con énfasis en las especies de América. *Acta Botanica Mexicana* [en línea], vol. 1, no. 25, pp. 13. ISSN 0187-7151. DOI 10.21829/abm25.1993.678. Disponible en: <http://abm.ojs.inecol.mx/index.php/abm/article/view/678/844>.
- ROWNTREE, D., 1984. *Introducción a la estadística: un enfoque no matemático*. 1.^a ed. Bogotá, Colombia: Norma. ISBN 84-8276-409-8.
- SAENGER, P., 2011. Mangroves: Sustainable Management in Bangladesh. En: S. GÜNTER, M. WEBER, B. STIMM y R. MOSANDL (eds.), *Silviculture in the Tropics (Tropical forestry, Vol. 8)* [en línea]. Berlín, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 559. ISBN 978-3-642-19986-8. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-19986-8>.
- SAINTILAN, N., WILSON, N.C., ROGERS, K., RAJKARAN, A. y KRAUSS, K.W., 2014. Mangrove expansion and salt marsh decline at mangrove poleward limits. *Global Change Biology* [en línea], vol. 20, no. 1, pp. 147-157. ISSN 13541013. DOI 10.1111/gcb.12341. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcb.12341>.
- SECRETARÍA DE LA CONVENCION DE RAMSAR, 2016. *Manual de la Convención de Ramsar: Introducción a la Convención sobre los Humedales*. 5.^a ed. Gland, Suiza: s.n.
- SILVEIRA, J.A.H. y HERNÁNDEZ, C.T., 2017. Carbono azul, manglares y políticas públicas. *Elementos para Políticas Públicas* [en línea], vol. 1, no. 1, pp. 43-52. ISSN 2448-5578. Disponible en: <http://www.elementospolipub.org>

/ojs/index.php/epp/article/view/4/4.

- SILVEIRA, J.A.H., RICO, A.C., PECH, E., PECH, M., RAMÍREZ, J. y TEUTLI, C., 2015. Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México. *Terra Latinoamericana* [en línea], vol. 34, no. 1, pp. 61-72. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n1/2395-8030-tl-34-01-00061.pdf>.
- SIPPO, J.Z., LOVELOCK, C.E., SANTOS, I.R., SANDERS, C.J. y MAHER, D.T., 2018. Mangrove mortality in a changing climate: An overview. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* [en línea], vol. 215, no. October, pp. 241-249. ISSN 02727714. DOI 10.1016/j.ecss.2018.10.011. Disponible en: https://www.academia.edu/37603560/Mangrove_mortality_in_a_changing_climate_An_overview.
- SPALDING, M., BLASCO, F. y FIELD, C., 1997. *World mangrove atlas* [en línea]. 1.^a ed. Okinawa, Japón: Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT); Sociedad Internacional para los Ecosistemas de Manglares (SIEM). ISBN 4 906584 03 9. Disponible en: <http://www.environmentalunit.com/Documentation/04%20Resources%20at%20Risk/World%20mangrove%20atlas.pdf>.
- SPALDING, M., KAINUMA, M. y LORNA, C., 2011. *Atlas Mundial de los Manglares*. 2.^a ed. Londres, Okinawa: Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT); Sociedad Internacional para los Ecosistemas de Manglares (SIEM). ISBN 978-4-906584-15-4.
- SUMAN, D., 2003. Can You Eat a Mangrove?: Balancing Conservation and

Development in the Management of Mangrove Ecosystems in Cuba. *Tulane Environmental Law Journal* [en línea], vol. 16, pp. 619-652. Disponible en: <https://journals.tulane.edu/elj/article/view/2112>.

SUMAN, D., 2014. Panama Bay Wetlands: Case Study of a Threatened Ecosystem. En: P. GÂȘTESCU, W. MARSZELEWSKI y P. BRETCAN (eds.), *Water resources and wetlands* [en línea]. Tulcea, Rumania: Romanian Limnogeographical Association, pp. 366-371. ISBN 3057428762. Disponible en: https://www.limnology.ro/water2014/proceedings/49_Suman.pdf.

TAILLARDAT, P., 2018. *Assessment of porewater discharge in a mangrove tidal creek and assessment of porewater discharge in a mangrove tidal creek and its implications on coastal biogeochemical cycles* [en línea]. S.I.: Universidad Nacional de Singapur. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Pierre_Taillardat/publication/327248294_ASSESSMENT_OF_POREWATER_DISCHARGE_IN_A_MANGROVE_TIDAL_CREEK_AND_ITS_IMPLICATIONS_ON_COASTAL_BIOGEOCHEMICAL_CYCLES/links/5b83f94e299bf1d5a72b4ee2/ASSESSMENT-OF-POREWATER-DISCHARGE.

TAILLARDAT, P., FRIESS, D.A. y LUPASCU, M., 2018. Mangrove blue carbon strategies for climate change mitigation are most effective at the national scale. *Biology Letters* [en línea], vol. 14, no. 10, pp. 1-6. ISSN 1744957X. DOI 10.1098/rsbl.2018.0251. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6227866/pdf/rsbl20180251.pdf>.

TEXTO ÚNICO DE LA LEY 41 DE 1 DE JULIO DE 1998, 2016. Ley General de Ambiente de la República de Panamá que comprende las reformas

aprobadas por la ley 18 de 2003, la ley 44 de 2006, la ley 65 de 2010 y la ley 8 de 2015. *Gaceta Oficial de la República de Panamá* [en línea]. Ciudad de Panamá, República de Panamá, 4 octubre 2016. pp. 1-29. Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28131_A/GacetaNo_28131a_20161004.pdf.

THAMPANYA, U., VERMAAT, J.E., SINSAKUL, S. y PANAPITUKKUL, N., 2006. Coastal erosion and mangrove progradation of Southern Thailand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* [en línea], vol. 68, no. 1, pp. 75-85. ISSN 02727714. DOI 10.1016/j.ecss.2006.01.011. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.01.011>.

TWILLEY, R.R., CHEN, R.H. y HARGIS, T., 1992. Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. *Water, Air, & Soil Pollution* [en línea], vol. 64, no. 1-2, pp. 265-288. ISSN 00496979. DOI 10.1007/BF00477106. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/227164573_Carbon_Sinks_in_Mangroves_and_Their_Implications_to_Carbon_Budget_of_Tropical_Coastal_Ecosystems.

UNIVERSIDAD DE JAÉN, 2010. Introducción a la Psicología. Tema 5: Estudios Correlacionales. [en línea]. [Consulta: 28 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www4.ujaen.es/~eramirez/Descargas/tema5>.

WICKHAM, H., 2009. *ggplot2. Elegant Graphics for Data Analysis* [en línea]. 2.^a ed. S.I.: Springer Nature. ISBN 978-3-319-24277-4. Disponible en: <https://book.lat/book/2951663/4bb981>.

- WICKHAM, H., 2011. The split-apply-combine strategy for data analysis. *Journal of Statistical Software* [en línea], vol. 40, no. 1, pp. 1-29. ISSN 15487660. DOI 10.18637/jss.v040.i01. Disponible en: <http://www.jstatsoft.org/v40/i01/>.
- WOLANSKI, E., 2006. Synthesis of the protective functions of coastal forests and trees against natural hazards. En: S. BRAATZ, J. BROADHEAD, S. FORTUNA y R. LESLIE (eds.), *Coastal protection in the aftermath of the Indian Ocean tsunami: What role for forests and trees? Proceedings of the Regional Technical Workshop, Khao Lak, Thailand, 28-31 August 2006* [en línea]. Khao Lak, Tailandia: Oficina Regional para Asia y el Pacífico de la Oficina de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), pp. 161-170. ISBN 978-974-7946-95-6. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ag127e/ag127e10.pdf>.
- WRIGHT, S.J., MULLER-LANDAU, H.C. y SCHIPPER, J., 2009. The future of tropical species on a warmer planet. *Conservation Biology* [en línea], vol. 23, no. 6, pp. 1418-1426. ISSN 08888892. DOI 10.1111/j.1523-1739.2009.01337.x. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/41038309_The_Future_of_Tropical_Species_on_a_Warmer_Planet.
- YÁNEZ-ARANCIBIA, A. y LARA-DOMÍNGUEZ, A.L., 1999. Los manglares de América Latina. En: A. YÁNEZ-ARANCIBIA, A.L. LARA-DOMÍNGUEZ y E. SÁINZ-HERNANDEZ (eds.), *Ecosistemas de Manglar en América Tropical* [en línea]. 1.^a ed. Veracruz, México: UICN, NOAA, INECOL, pp. 380. ISBN 9687863-57-9. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/261913536_Ecosistemas_de_Manglar_en_America_Tropical.

ZUUR, A.F., IENO, E.N. y MEESTERS, E.H.W.G., 2009. *A beginner's guide to R*
[en línea]. 1.^a ed. Nueva York: Springer Science+Business Media, LLC. ISBN
9780387938363. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-93837-0>.

Anexos

Programación utilizada para el procesamiento de datos y creación de gráficas.

Heatmap

```
library(plyr)
library(ggplot2)
library(gridExtra)
library(ggExtra)
library(viridis)
df=read.csv("D:/Users/CGuerrajr/Documents/Tesis/diciembre
2018/Temperatura y humedad modificado.csv",header=TRUE, sep= ";",dec =
",")
str(df)
df<-df[-c(4,14)]
sum(is.na(df))
df=df[complete.cases(df),]
sum(is.na(df))
str(df)
df2<-subset(df, temp6_Avg>0, )

#Promedio por día
byday<-ddply(df2, .(Year, Month, Day), summarize, t1=mean(temp1_Avg),
             t2=mean(temp2_Avg),
             t3=mean(temp3_Avg),
             t4=mean(temp4_Avg),
             t5=mean(temp5_Avg),
             t6=mean(temp6_Avg),
             t7=mean(temp7_Avg),
             t8=mean(temp8_Avg),
             t9=mean(temp9_Avg),
             r1=mean(RH1_Avg),
             r10=mean(RH10_Avg))

#Data frames diarios
g1<-data.frame(Year=byday$Year, Month=byday$Month, Day=byday$Day,
station=1, temp=byday$t1)
g2<-data.frame(Year=byday$Year, Month=byday$Month, Day=byday$Day,
station=2, temp=byday$t2)
g3<-data.frame(Year=byday$Year, Month=byday$Month, Day=byday$Day,
station=3, temp=byday$t3)
g4<-data.frame(Year=byday$Year, Month=byday$Month, Day=byday$Day,
station=4, temp=byday$t4)
g5<-data.frame(Year=byday$Year, Month=byday$Month, Day=byday$Day,
station=5, temp=byday$t5)
g6<-data.frame(Year=byday$Year, Month=byday$Month, Day=byday$Day,
station=6, temp=byday$t6)
g7<-data.frame(Year=byday$Year, Month=byday$Month, Day=byday$Day,
station=7, temp=byday$t7)
g8<-data.frame(Year=byday$Year, Month=byday$Month, Day=byday$Day,
station=8, temp=byday$t8)
```

```

g9<-data.frame(Year=byday$Year, Month=byday$Month, Day=byday$Day,
station=9, temp=byday$t9)
gtotal<-rbind(g1,g2,g3,g4,g5,g6,g7,g8,g9)

gh1<-data.frame(Year=byday$Year, Month=byday$Month, station=1,
hum=byday$r1)
gh10<-data.frame(Year=byday$Year, Month=byday$Month, station=10,
hum=byday$r10)
ghtotal<-rbind(dth1,dth10)

#Heatmap 2017

p <-ggplot(subset(gtotal, Year %in%
c(2017)), aes(Day,station,fill=temp))+
  geom_tile(color= "white",size=0.1) +
  scale_fill_viridis(name="Temperaturas diarias C",option ="C")
p <-p + facet_grid(Year~Month)
p <-p + scale_y_continuous(trans = "reverse", breaks =
unique(dtttotal$station))
p <-p + scale_x_continuous(breaks =c(1,10,20,31))
p <-p + theme_minimal(base_size = 12)
p <-p + labs(title= paste("Temperaturas diarias - Estación"), x="Día",
y="Estaciones")
p <-p + theme(legend.position = "bottom")+
  theme(plot.title=element_text(size = 14))+
  theme(axis.title = element_text(size = 14))+
  theme(axis.text.y=element_text(size=6)) +
  theme(strip.background = element_rect(colour="white"))+
  theme(plot.title=element_text(hjust=0))+
  theme(axis.ticks=element_blank()+
  theme(axis.text=element_text(size=10))+
  theme(legend.title=element_text(size=8))+
  theme(legend.text=element_text(size=6))+
  removeGrid()

#Representar gráfica p
grid.arrange(p)

#Plotear gráfica p
ggsave("Plotp.png", width = 8.5, height = 11, units = c("in"), scale=
1, dpi="retina")

#Heatmap 2018

q <-ggplot(subset(gtotal, Year %in%
c(2018)), aes(Day,station,fill=temp))+
  geom_tile(color= "white",size=0.1) +
  scale_fill_viridis(name="Temperaturas diarias C",option ="C")
q <-q + facet_grid(Year~Month)
q <-q + scale_y_continuous(trans = "reverse", breaks =
unique(dtttotal$station))
q <-q + scale_x_continuous(breaks =c(1,10,20,31))
q <-q + theme_minimal(base_size = 12)

```

```

q <-q + labs(title= paste("Temperaturas diarias - Estación"), x="Día",
y="Estaciones")
q <-q + theme(legend.position = "bottom")+
  theme(plot.title=element_text(size = 14))+
  theme(axis.title = element_text(size = 14))+
  theme(axis.text.y=element_text(size=10)) +
  theme(strip.background = element_rect(colour="white"))+
  theme(plot.title=element_text(hjust=0))+
  theme(axis.ticks=element_blank()+
  theme(axis.text=element_text(size=10))+
  theme(legend.title=element_text(size=8))+
  theme(legend.text=element_text(size=6))+
  removeGrid()

#Representar gráfica q
grid.arrange(q)

#Plotear gráfica q
ggsave("Plotq.png", width = 8.5, height = 11, units = c("in"), scale=
1, dpi="retina")

#Heatmap 2017-2018
r <-ggplot(subset(gtotal, Year %in%
c(2017,2018)), aes(Day,station,fill=temp))+
  geom_tile(color= "white",size=0.1) +
  scale_fill_viridis(name="Temperaturas diarias C",option ="C")
r <-r + facet_grid(Year~Month)
r <-r + scale_y_continuous(trans = "reverse", breaks =
unique(dttotal$station))
r <-r + scale_x_continuous(breaks =c(1,10,20,31))
r <-r + theme_minimal(base_size = 12)
r <-r + labs(title= paste("Temperaturas diarias - Estación"), x="Día",
y="Estaciones")
r <-r + theme(legend.position = "bottom")+
  theme(plot.title=element_text(size = 14))+
  theme(axis.title = element_text(size = 14))+
  theme(axis.text.y=element_text(size=10)) +
  theme(strip.background = element_rect(colour="white"))+
  theme(plot.title=element_text(hjust=0))+
  theme(axis.ticks=element_blank()+
  theme(axis.text=element_text(size=10))+
  theme(legend.title=element_text(size=8))+
  theme(legend.text=element_text(size=6))+
  removeGrid()

#Representar gráfica r
grid.arrange(r)

#Plotear gráfica r
ggsave("Plotr.png", width = 8.5, height = 11, units = c("in"), scale= 1,
dpi="retina")

```

Análisis correlacional

```
TH=read.csv("D:/Users/CGuerrajr/Documents/Tesis/diciembre  
2018/Temperatura y humedad.csv",header=TRUE, sep= ";", dec = ",")  
library(ggplot2)
```

```
#Correlación T1 RH1  
R=lm(TH$temp1_Avg~TH$RH1_Avg)  
summary(R)  
I <- ggplot(TH, aes(RH1_Avg,  
temp1_Avg))+geom_point()+geom_smooth(method = "lm")  
I+theme(axis.text = element_text(size = 20), axis.title =  
element_text(size = 24),  
        legend.text = element_text(size = 20),  
        legend.title = element_text(size = 24))
```

```
#Correlación T10 RH10  
TH2<-subset(TH, temp10_Avg>15)  
R10=lm(TH2$temp10_Avg~TH2$RH10_Avg)  
summary(R10)  
J <- ggplot(TH2, aes(RH10_Avg,  
temp10_Avg))+geom_point()+geom_smooth(method = "lm")  
J+theme(axis.text = element_text(size = 20), axis.title =  
element_text(size = 24),  
        legend.text = element_text(size = 20),  
        legend.title = element_text(size = 24))
```

Tablas y gráficas

```
library(plyr)  
  
library(ggplot2)  
  
library(gridExtra)  
  
library(viridis)
```

```

df=read.csv("D:/Users/CGuerrajr/Documents/Tesis/diciembre
2018/Temperatura y humedad modificado.csv",header=TRUE, sep= ";",dec =
",")

str(df)

df<-df[-c(4,14)]

sum(is.na(df))

df=df[complete.cases(df),]

sum(is.na(df))

str(df)

df2<-subset(df, temp6_Avg>0, )

#Promedio por mes

bymonth<-ddply(df2,. (Year, Month), summarize, t1=mean(temp1_Avg),
               t2=mean(temp2_Avg),
               t3=mean(temp3_Avg),
               t4=mean(temp4_Avg),
               t5=mean(temp5_Avg),
               t6=mean(temp6_Avg),
               t7=mean(temp7_Avg),
               t8=mean(temp8_Avg),
               t9=mean(temp9_Avg),
               r1=mean(RH1_Avg),
               r10=mean(RH10_Avg))

#Data frames mensuales

```

```

dt1<-data.frame (Year=bymonth$Year, Month=bymonth$Month, station=1,
temp=bymonth$t1)

dt2<-data.frame (Year=bymonth$Year, Month=bymonth$Month, station=2,
temp=bymonth$t2)

dt3<-data.frame (Year=bymonth$Year, Month=bymonth$Month, station=3,
temp=bymonth$t3)

dt4<-data.frame (Year=bymonth$Year, Month=bymonth$Month, station=4,
temp=bymonth$t4)

dt5<-data.frame (Year=bymonth$Year, Month=bymonth$Month, station=5,
temp=bymonth$t5)

dt6<-data.frame (Year=bymonth$Year, Month=bymonth$Month, station=6,
temp=bymonth$t6)

dt7<-data.frame (Year=bymonth$Year, Month=bymonth$Month, station=7,
temp=bymonth$t7)

dt8<-data.frame (Year=bymonth$Year, Month=bymonth$Month, station=8,
temp=bymonth$t8)

dt9<-data.frame (Year=bymonth$Year, Month=bymonth$Month, station=9,
temp=bymonth$t9)

dttotal<-rbind(dt1,dt2,dt3,dt4,dt5,dt6,dt7,dt8,dt9)

dth1<-data.frame (Year=bymonth$Year, Month=bymonth$Month, station=1,
hum=bymonth$r1)

dth10<-data.frame (Year=bymonth$Year, Month=bymonth$Month, station=10,
hum=bymonth$r10)

dthtotal<-rbind(dth1,dth10)

#Temperatura

#Gráfica Anual 2017

```

```

A <- ggplot(subset(dtttotal, Year %in% c(2017)), aes(Month,
temp))+geom_line(aes(group=station, color=factor(station)), show.legend
= T)+
  scale_x_continuous(breaks=c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12),
                    labels=c("ene","feb","mar","abr","may", "jun",
"jul", "ago", "sep","oct", "nov", "dic"))+
  xlab("Mes")+ylab("Temperatura, °C")+ ggtitle("Temperatura del aire a 9
elevaciones", subtitle = 2017)+
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5, face =
"bold",size=24,margin = margin(b=30)))+
  scale_color_discrete(name="Estaciones")+
  scale_y_continuous(limits = c(25,30))
A+theme(axis.text = element_text(size = 20), axis.title =
element_text(size = 24),
        legend.text = element_text(size = 20),
        legend.title = element_text(size = 24))

#Representar gráfica A
grid.arrange(A)

#Plotear gráfica A
ggsave("PlotA.png", scale= 2, dpi="retina")

#Gráfica Anual 2018

```

```

B <- ggplot(subset(dtttotal, Year %in% c(2018)), aes(Month,
temp))+geom_line(aes(group=station, color=factor(station)), show.legend
= T)+
  scale_x_continuous(breaks=c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12),
                    labels=c("ene","feb","mar","abr","may", "jun",
"jul", "ago", "sep","oct", "nov", "dic"))+
  xlab("Mes")+ylab("Temperatura, °C")+ ggtitle("Temperatura del aire a 9
elevaciones", subtitle = 2018)+
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5, face =
"bold",size=16,margin = margin(b=30)))+
  scale_color_discrete(name="Estaciones")+
  scale_y_continuous(limits = c(25,31))
B+theme(axis.text = element_text(size = 20), axis.title =
element_text(size = 24),
        legend.text = element_text(size = 20),
        legend.title = element_text(size = 24))

#Representar gráfica B
grid.arrange(B)

#Plotear gráfica B
ggsave("PlotB.png", scale= 2, dpi="retina")

#Boxplot Anual 2017

C <- ggplot(subset(dtttotal, Year %in% c(2017)), aes(Month,
temp))+geom_boxplot(aes(group=Month, color=factor(Month)), show.legend
= F)+
  scale_x_continuous(breaks=c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12),

```

```

        labels=c("ene","feb","mar","abr","may", "jun",
"jul", "ago", "sep","oct", "nov", "dic"))+
  xlab("Mes")+ylab("Temperatura, °C")+ ggtitle("Temperatura del aire
anual", subtitle = "2017")+
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5, face =
"bold",size=16,margin = margin(b=30)))+
  scale_color_discrete(name="Estaciones")+
  scale_y_continuous(limits = c(25,31)) +
  theme(axis.text = element_text(size = 20), axis.title =
element_text(size = 24),
        legend.text = element_text(size = 20),
        legend.title = element_text(size = 24)) +
  stat_summary(fun=mean, colour="darkred", geom="point",
              shape=4, size=3,show.legend = FALSE)

#Representar gráfica C
grid.arrange(C)

#Plotear gráfica C
ggsave("PlotC.png", scale= 2, dpi="retina")

#Boxplot Anual 2018
D <- ggplot(subset(dtttotal, Year %in% c(2018)), aes(Month,
temp))+geom_boxplot(aes(group=Month, color=factor(Month)), show.legend
= F)+
  scale_x_continuous(breaks=c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12),

```

```

        labels=c("ene","feb","mar","abr","may", "jun",
"jul", "ago", "sep","oct", "nov", "dic"))+
  xlab("Mes")+ylab("Temperatura, °C")+ ggtitle("Temperatura del aire
anual", subtitle = "2018") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5, face =
"bold",size=16,margin = margin(b=30)))+
  scale_color_discrete(name="Estaciones")+
  scale_y_continuous(limits = c(25,31))
D+theme(axis.text = element_text(size = 20), axis.title =
element_text(size = 24),
        legend.text = element_text(size = 20),
        legend.title = element_text(size = 24)) +
  stat_summary(fun=mean, colour="darkred", geom="point",
              shape=4, size=3,show.legend = FALSE)

#Representar gráfica D
grid.arrange(D)

#Plotear gráfica D
ggsave("PlotD.png", scale= 2, dpi="retina")

#Humedad Relativa
E <- ggplot(subset(dthtotal, Year %in% c(2017)), aes(Month,
hum))+geom_line(aes(group=station, color=factor(station)), show.legend
= T)+
  scale_x_continuous(breaks=c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12),

```

```

        labels=c("ene","feb","mar","abr","may", "jun",
"jul", "ago", "sep","oct", "nov", "dic"))+
  xlab("Mes")+ylab("Humedad,%")+ ggtitle("Humedad relativa a 2
elevaciones", subtitle = 2017)+
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5, face =
"bold",size=16,margin = margin(b=30)))+
  scale_color_discrete(name="Estaciones")
E+theme(axis.text = element_text(size = 20), axis.title =
element_text(size = 24),
        legend.text = element_text(size = 20),
        legend.title = element_text(size = 24))

#Representar gráfica E
grid.arrange(E)

#Plotear gráfica E
ggsave("PlotE.png", scale= 2, dpi="retina")

G <- ggplot(subset(dthtotal, Year %in% c(2018)), aes(Month,
hum))+geom_line(aes(group=station, color=factor(station)), show.legend
= T)+
  scale_x_continuous(breaks=c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12),
                    labels=c("ene","feb","mar","abr","may", "jun",
"jul", "ago", "sep","oct", "nov", "dic"))+
  xlab("Mes")+ylab("Humedad,%")+ ggtitle("Humedad relativa a 2
elevaciones", subtitle = 2018)+

```

```

    theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5, face =
"bold",size=16,margin = margin(b=30)))+
    scale_color_discrete(name="Estaciones")
G+theme(axis.text = element_text(size = 20), axis.title =
element_text(size = 24),
        legend.text = element_text(size = 20),
        legend.title = element_text(size = 24))

#Representar gráfica G
grid.arrange(G)

#Plotear gráfica G
ggsave("PlotG.png", scale= 2, dpi="retina")

H <- ggplot(subset(dthtotal, Year %in% c(2018)), aes(Month,
hum))+geom_boxplot(aes(group=Month, color=factor(Month)), show.legend =
F)+
    scale_x_continuous(breaks=c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12),
                      labels=c("ene","feb","mar","abr","may", "jun",
"jul", "ago", "sep","oct", "nov", "dic"))+
    xlab("Mes")+ylab("Humedad,%")+ ggtitle("Humedad relativa", subtitle =
"2018") +
    theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5, face =
"bold",size=16,margin = margin(b=30)))+
    scale_color_discrete(name="Estaciones")
H+theme(axis.text = element_text(size = 20), axis.title =
element_text(size = 24),

```

```

        legend.text = element_text(size = 20),
        legend.title = element_text(size = 24)) +
  stat_summary(fun=mean, colour="darkred", geom="point",
               shape=4, size=3, show.legend = FALSE)

#Representar gráfica H
grid.arrange(H)

#Plotear gráfica H
ggsave("PlotH.png", scale= 2, dpi="retina")

#Tabla de temperaturas
Tabla <- ddply(dtttotal,.(Year,Month), summarize, Mínimo =
round(min(temp),2), Máximo = round(max (temp),2),
          Mediana = round(median(temp),2), Media =
round(mean(temp),2),
          Desviaciónestándar = round(sd(temp),2))

#Tabla de humedades
Tablahum <- ddply(dthttotal,.(Year,Month, station), summarize, Mínimo =
round(min(hum),2), Máximo = round(max (hum),2),
          Mediana = round(median(hum),2), Media =
round(mean(hum),2),
          Desviaciónestándar = round(sd(hum),2))

```

Participación en las actividades de recolección de datos en la torre en el manglar de Juan Díaz.







Carta de aceptación al VII Congreso de Ingeniería, Ciencias y Tecnología-Panamá 2019.

VII CONGRESO DE INGENIERÍA, CIENCIAS Y TECNOLOGÍA – PANAMÁ 2019



Panama, August 10, 2019

Carlos Guerra S.
Universidad Tecnológica de Panamá
Panama

Dear Carlos Guerra S.:

The Technological University of Panama invites you to participate with a poster presentation to the 7th Engineering Science and Technology Conference (IESTEC 2019) with your work **“Análisis de temperatura del aire y humedad relativa en una zona del ecosistema de manglar del humedal Bahía de Panamá”**.

The IESTEC this year under the motto "To complex problems, multidisciplinary solutions" will take place in Panama City, on October 9, 10 and 11, 2019, at the Wyndham Panama Albrook Mall Hotel, located in the heart of the most exciting and important commercial area of the Panamanian capital.

The conference annually brings together more than 1200 distinguished professionals, exhibitors and students nationally and internationally to establish collaboration on research topics, as well as the ability to expand its network of contacts. Among the main attractions of the 7th IESTEC Panama 2019 are:

- Keynote speeches by recognized international experts
- High-level technical papers in the conference areas.
- The participation of different Engineering Departments with their symposium and activities.
- Technical tours on Saturday 12 October

As presenter, you can register until Aug 31 as author with early bird discount at <http://congreso.utp.ac.pa/en/registration-form/>

The abstract and a pdf image of your poster could be available on line in the platform UTP-Ridda2 with your consent. It should be noted that the participant must bear all the expenses related to his registration in the congress, travel and stay in Panama.

Furthermore, it is important to point out that in order for your abstract to be published in the conference material and the UTP-Ridda2 platform, at least one of the authors need to be presented during the conference thus at least one author must be registered and with the registration fee paid before **august 31st**. The poster dimension is Standard A0 84cm x 118 cm VERTICAL format. For more information, we invite you to access: www.congreso.utp.ac.pa.

Sincerely,

Dr. Carlos Rovetto
Chair of the Technical Committee
Organizing Committee IESTEC 2019
October 9th – 11th, 2019 – Panama City, Panama
www.congreso.utp.ac.pa

“A problemas complejos, soluciones multidisciplinarias”

Análisis de Temperatura del Aire y Humedad Relativa en una Zona de Manglar en el Humedal Bahía de Panamá

Carlos E. Guerra S¹, Nathalia Tejedor^{2,3}, Ana Franco², Reinhardt Pinzón^{2,3}

¹Facultad de Ingeniería Civil – Ingeniería Ambiental-UTP. ²Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH)-UTP. ³Sistema Nacional de Investigación (SNI)

Introducción

La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, firmada en Ramsar, Irán en 1971, ratificada por las partes en 1999 y revisada en 2002, define los humedales en su artículo 1.1 como: "las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros" [1]. Dentro de los mismos se encuentra la categoría de humedales marinos, en la cual se ubican los manglares.

Los bosques de manglar son ecosistemas altamente diversos y productivos en las zonas intertropicales de las líneas ecuatoriales tropicales y subtropicales [2]. Según estimaciones, ocupan el 3 por ciento de la superficie terrestre. Su importancia ecológica es inmensa y variada, siendo el hábitat de cría de moluscos, peces y crustáceos [3]; sirviendo como lugar de encuentro de entre 1 y 2 millones de aves hacia y desde la costa y siendo los bosques con mayor densidad de carbono en el trópico, sobre todo en niveles inferiores del suelo [5].

Debido en parte a la interferencia humana, los manglares están rápidamente desapareciendo, con cerca del 50 por ciento habiendo sido mermados en los últimos cincuenta años a causa del cambio en el uso de los suelos [2], siendo así de los bosques que sufren de las tasas más altas de deforestación. El rápido aumento en el nivel del mar, al igual que el incremento en las temperaturas, presentan de igual manera, una amenaza a los manglares [5], [6].

Debido a la escasa información disponible relacionada a variables climáticas como la temperatura y humedad relativa en ecosistemas en tropicales costeros de la zona, se considera necesario llevar a cabo un monitoreo y análisis de las mismas, lo que permita obtener resultados que lleven al desarrollo de medidas de preservación y aprovechamiento sostenible adecuadas.

En el 2016 el Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH), salió involucrado con el proyecto SENACYT en el programa de colaboración internacional, FID2016-30: *Modelos de Flujo de CO₂ y Vapor de Agua de una Estación de Manglar* [8]. El FID2016-30 busca generar la capacidad nacional e institucional que ayude a ponderar uno de los principales gases de efecto invernadero como lo es el CO₂. Se recopila la data de mediciones meteorológicas, y de flujos de carbono y vapor de agua, provenientes de una torre de covarianza de remolinos [9] compuesta por dispositivos de la marca Scientific Campbell [10] y Licor [11]. La infraestructura de medición se sitúa en una franja de manglar costera al río Juan Díaz, cerca a la planta de tratamiento de aguas residuales del Programa de Saneamiento de Panamá [12].



Metodología

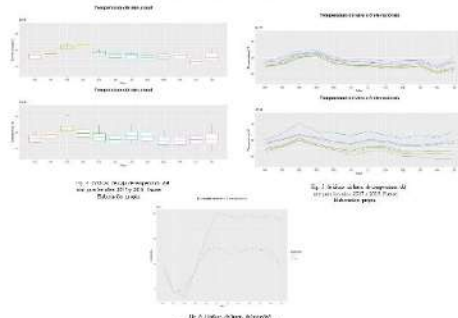
A. Sistema de adquisición de datos. Torre meteorológica
Para este estudio se emplea una torre meteorológica, la cual almacena datos provenientes de mediciones meteorológicas y de flujos de carbono y vapor de agua. Las coordenadas de ubicación de dicha estación son: 9°08'00" 99°57'24". Ver "Figura 1" y "Figura 2".
La torre cuenta con ocho sondas de temperatura de aire, modelo 4134ZVC y dos sondas para temperatura del aire y humedad relativa 4158VC, todas las sondas siendo de la marca YOUNG (ver figura 3-7). En la tabla 1 se muestran las alturas desde el suelo y desde la base de la torre a las cuales los parámetros fueron medidos. La información obtenida muestra la temperatura y la humedad relativa medida a cada diez minutos, para mayor facilidad del análisis se llevó a promedios diarios y posteriormente se crearon gráficas para cada mes estudiado.

B. Análisis estadístico
Utilizando el ambiente de programación R y su interfaz R Studio, se procedió a encontrar los promedios mensuales de las temperaturas para los años 2017 y 2018. Dos tipos de gráficas fueron confeccionadas para esta investigación: gráficas de caja y gráficas de línea, éstas últimas mostrando las diferentes estaciones de medición de temperatura del aire y humedad relativa.

Estación	Altura (m)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	1.5	28.5	85
2	3.0	28.0	85
3	4.5	27.5	85
4	6.0	27.0	85
5	7.5	26.5	85
6	9.0	26.0	85
7	10.5	25.5	85
8	12.0	25.0	85

Durante la confección preliminar de las gráficas, se encontró que en las estaciones correspondientes a T-6, RH-10 y T-10 (RH-10 solamente en el 2017) se encontraron un número significativo de valores negativos para el período analizado en esta investigación, probablemente debido a datos físicos de dichos sensores. Dada esta situación, se procedió a remover del análisis estos grupos de datos.

Resultados



Las gráficas de caja muestran para el año 2017, la mayoría de los datos se encuentran por debajo de la mediana en cada mes, incluso en los meses de marzo y abril, los más cálidos del año, debido a la estación seca, sin embargo, se aprecia que durante gran parte del año, la temperatura presenta variaciones menores. El 2018 se mostró como un año más cálido en promedio y la distribución de la temperatura es más ajustada a la normal. Se presenta una serie de datos extremos para marzo de 2018, probablemente explicado por una mayor intensidad en la temporada seca en dicho período. La gráfica de líneas para el 2018 muestra una mayor uniformidad entre las estaciones de temperatura, pero se considera estadísticamente poco relevante. La humedad disminuye considerablemente en la estación 10, la cual se encuentra más cercana al suelo del manglar.

Conclusiones

Los datos obtenidos por un grupo de sensores dificultó el análisis de la humedad relativa, ya que solo se cuenta con un sensor durante el 2017, sin embargo, fue posible obtener resultados confiables tres veces fueron reparados.
Las temperaturas se mantienen dentro del rango de sobrevivencia de los manglares, donde no hay posibilidad de deforestación y donde su actividad fotosintética no es inhibida y se observa un aumento en la fotosíntesis [13].
Monitorear y analizar de modo continuo y exhaustivo éste y otros parámetros ambientales son necesarios en los humedales, para así tomar acciones que prevengan su degradación futura y promuevan su conservación en un tiempo en el que el desarrollo urbano de la ciudad y la expansión agrícola del este de la provincia, amenazan con mermar el humedal Bahía de Panamá.

Referencias

- [1] *Manual de la Convención de Ramsar: Introducción a la Convención sobre los Humedales*, 5ta ed. Gland, Suiza, 2016.
- [2] S. Bouillon, "Storage beneath mangroves." *Nat. Geosci.*, vol. 4, no. 5, pp. 282-283, 2011.
- [3] [ANAM-ARAP] Autoridad Nacional del Ambiente y Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá, *Manglares de Panamá: importancia, manejo, protección y regulaciones* (Lagos, Ira ed. Panamá: Editora Neos, S.A., 2013).
- [4] K. W. Kaufman, *Mangrove Humedales, Nuestro Futuro. Plan de Conservación para los Humedales de la Bahía de Panamá*, Ira ed. Panamá: National Audubon Society, 2012.
- [5] D. C. Donato, J. B. Kaufman, D. Mardiyasa, S. Kurniawan, M. Siddham, and M. Kuntunan, "Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics." *Nat. Geosci.*, vol. 4, no. 5, pp. 293-297, 2011.
- [6] D. M. Alongi, "The Impact of Climate Change on Mangrove Forests." *Curr. Clim. Chang. Report.*, vol. 1, no. 1, pp. 30-39, 2015.
- [7] M. A. Cavaleri, S. C. Reed, W. K. Smith, and T. E. Wood, "Urgent need for warming experiments in tropical forests." *Glob. Chang. Biol.*, vol. 21, no. 6, pp. 2111-2121, 2015.
- [8] "Análisis de Flujo de CO₂ y Vapor de Agua de un Ecosistema de Manglar – CIHH." *Manglar, carbono, agua, pp.* 2019. [Online]. Available: <http://manglar-carbono.utp.ac.pa/>. [Accessed: 28-Mar-2019].
- [9] Barba, G., 2013. *Eddy Covariance Method for Scientific, Industrial, Agricultural, and Regulatory Applications: A Field Book on Measuring Ecosystem Gas Exchange and Areal Emission Rates*. LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA, 331 pp.
- [10] "Weather and Climate." 2017. [Online]. Available: <https://campbellsci.com/documents/solution-introduction-climate.pdf>.
- [11] LI7500DS Open Path CO₂/H₂O Gas Analyzer: 2019. [Online]. Available: https://www.li-cor.com/en/products/eddy_covariance/li-7500ds.html.
- [12] Programa de Saneamiento de Panamá. 2019. [Online]. Available: <http://saneamiento-de-panama.gob.pa>.
- [13] J. Z. Sappo, C. E. Lovelock, I. R. Santos, C. J. Sanders, and D. T. Maher, "Mangrove mortality in a changing climate: An overview." *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, vol. 215, no. October, pp. 241-249, 2018.



Certificado de participación del VII Congreso de Ingeniería, Ciencias y Tecnología- Panamá 2019.

VII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA, CIENCIAS Y TECNOLOGÍA - IESTEC

SENACYT
Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación

UTP
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ

IEEE
Advancing Technology for Humanity

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ

CONFIERE EL PRESENTE CERTIFICADO A:

CARLOS GUERRA

En calidad de Expositor de POSTER con el título:

Análisis de temperatura del aire y humedad relativa en una zona del ecosistema de manglar del humedal Bahía de Panamá

Dado en la ciudad de Panamá del 9 al 11 de octubre de 2019.

Certificado No. 209310
Identificación Personal: 99115
Código de verificación:
33E8D75E-79F7D6DCC86C2FD8A6644616ED3E7F52
www.estsimpedia.com/verificacion

[Signature]
Dr. Orlando Aguilar
Coordinador del Comité General del Congreso

[Signature]
Dr. Alexis Tejedor De León, DHC
Vicerrector de Investigación, Postgrado y Extensión


Escanee este código QR para verificar este certificado.


Encuentro Científico Académico-ECA

Dirección de Investigación/VIPE

Participación en las actividades del VII Congreso de Ingeniería, Ciencias y Tecnología-Panamá 2019.



