



UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

Facultad de Ciencias de la Tierra y Agua

Carrera de Hidrología

**Dinámica de carbono de un bosque inundable dominado
por *Mauritia flexuosa* en la Amazonia ecuatoriana,
cantón Tena**

Brian Steven Coronel Garcia

30 de abril de 2021, ciudad de Tena, Napo, Ecuador

CONTENIDO DEL DOCUMENTO

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad	II
Certificado de dirección de trabajo de integración curricular	III
AGRADECIMIENTOS.....	V
DEDICATORIA	VI
INDICE GENERAL.....	VII
INDICE DE TABLAS	IX
INDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XIV
ABSTRACT.....	XV
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO	9
CAPÍTULO IV: INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN	38
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
REFERENCIAS.....	49
ANEXOS	60

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad

Tena, 30 de abril de 2021

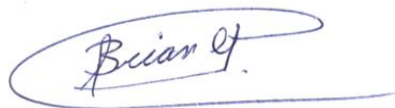
Yo, Brian Steven Coronel Garcia con documento de identidad N° 140077163-8, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título de Ingeniero en Ciencias del Agua son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en la presente investigación son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Por la favorable atención a la presente, suscribo de usted,

Atentamente,

Firma:



Brian Steven Coronel Garcia

140077163-8

Certificado de dirección de trabajo de integración curricular

Certifico que el trabajo de integración curricular titulado: “Dinámica de carbono de un bosque inundable dominado por *Mauritia flexuosa* en la Amazonia ecuatoriana, cantón Tena”, en la modalidad de: proyecto de investigación en formato tesis, fue realizado por: Brian Steven Coronel Garcia, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiam, para su entrega y defensa.

Tena, 30 de abril de 2021

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**MARIA
CRISTINA
PEÑUELA MORA**

.....
María Cristina Peñuela Mora
C.I: 1756862496

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**BRUNO
PIRILO**

.....
Bruno Conicelli
C.I: 1759149774



Document Information

Analyzed document	Brian C-TesisV5 .docx (D103567136)
Submitted	5/2/2021 8:06:00 PM
Submitted by	Maria Cristina Penuela
Submitter email	mariacristina.penuela@ikiam.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	mariacristina.penuela.ikiam@analysis.urkund.com

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutora María Cristina Peñuela, por haber aceptado ser mi directora de tesis dedicando de su valioso tiempo, conocimiento y experiencia en la guía y orientación durante el desarrollo del presente trabajo, que pese a los contratiempos vividos por pandemia me supo siempre animar y dar los mejores consejos para seguir adelante.

A Bruno Conicelli y todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron para la elaboración y culminación de este trabajo.

A los profesores de la Universidad Regional Amazónica Ikiam por contribuir de manera excepcional en mi formación profesional, siendo fuentes de inspiración y ejemplo a seguir.

A todos mis amigos, profesores y personas que conocí al ingresar a la universidad, gracias por haber compartido en esta etapa construyendo experiencias únicas que nunca olvidare.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo, símbolo de culminación de una etapa de vida a mi madre Liliana Garcia y mi padre Fredy Coronel, que siempre demuestran su apoyo y amor sincero, contribuyendo desde pequeño en mi formación como persona con valores, responsable, independiente y resiliente con la vida.

INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS	IX
INDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XIV
ABSTRACT.....	XV
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Estimaciones de carbono	3
1.2 Planteamiento del problema	5
1.3 Justificación de la investigación.....	7
1.4 Preguntas de investigación.....	7
1.5 Hipótesis.....	8
1.6 Objetivos de la investigación	9
1.6.1 General	9
1.6.2 Específicos	9
CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO	9
2.1 Área de estudio	9
2.2 Población y muestra	10
2.3 Estimación de biomasa área y carbono	11
2.4 Cuantificación de dióxido de carbono	13
2.5 Dinámica de hojas de <i>M. flexuosa</i>	13
2.6 Estimación de biomasa y carbono en hojas de <i>M. flexuosa</i>	14
2.7 Variaciones interanuales de la biomasa y carbono en hojas de <i>M. flexuosa</i>	15
2.8 Condiciones climáticas y relaciones con dinámica de hojas de <i>M. flexuosa</i>	15
CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE DATOS Y RESULTADOS.....	18
3.1 Población y muestra	18
3.2 Estimación de biomasa área y carbono	19
3.3 Cuantificación de dióxido de carbono	22

3.4	Dinámica de hojas de <i>M. flexuosa</i>	24
3.5	Estimación de biomasa y carbono en hojas de <i>M. flexuosa</i>	29
3.6	Variaciones interanuales de la biomasa y carbono en hojas de <i>M. flexuosa</i>	31
3.7	Condiciones climáticas y relaciones con dinámica de hojas de <i>M. flexuosa</i>	32
CAPÍTULO IV: INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN		38
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		46
4.1	Conclusiones.....	46
4.2	Recomendaciones	47
REFERENCIAS.....		49
Anexo 1. Resultados de la dinámica de hojas por estadios para todos los individuos de <i>M. flexuosa</i> de una hectárea durante 3 años de monitoreo.....		60
Anexo 2. Resultados de Biomasa aérea total Mg/ha y Carbono en MgC/ha según diferentes autores para <i>M. flexuosa</i>		61
Anexo 3. Correlogramas de variables climáticas vs dinámica de hojas de <i>M. flexuosa</i>		62

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de ecuaciones alométricas utilizadas en la estimación de biomasa de un bosque inundable dominado por <i>M. flexuosa</i> en Napo, Ecuador: área de estudio para donde se generó la ecuación, especies incluidas, modelo alométrico, y autor(es). BA es biomasa aérea (kg), D es diámetro (cm), H es altura (m), ρ es la densidad (g/cm^3) y dmf es fracción de masa seca (kg) donde para <i>M. flexuosa</i> es 0.367 [59].	12
Tabla 2. Resumen de variables de clima utilizadas en este estudio. Se presentan las cinco variables precipitación, temperatura, radiación solar, humedad relativa y nivel de agua, tratamiento, unidades, temporalidad y fuente de datos.....	17
Tabla 3. Escala de interpretación de correlaciones.	17
Tabla 4. Familias de plantas encontradas en una parcela de moretal en Napo, Ecuador. Número de individuos (N), porcentajes de individuos (%), diámetro promedio ($\text{DBH} \pm \text{DE}$) y altura promedio ($\text{H} \pm \text{DE}$) por familia.	18
Tabla 5. Resumen de número de individuos (N) por tipo de clases, diámetro a la altura de pecho promedio ($\text{DBH} \pm \text{DE}$), altura promedio ($\text{H} \pm \text{DE}$).	19
Tabla 6. Biomasa y Carbono en (Mg/ha) \pm DE calculado por familia para la parcela de estudio.	20
Tabla 7. Coeficientes r , R^2 y RSE de las ecuaciones alométricas consideradas para el cálculo de biomasa aérea en <i>M. flexuosa</i>	21
Tabla 8. Equivalente de CO_2 (Mg/ha) \pm DE calculado por familia para una parcela de bosque inundable, dominado por <i>M. flexuosa</i> en Napo, Ecuador.....	23
Tabla 9. Media y desviación estándar de: masa de hojas (Ldm), longitud de peciolo (m), área foliar de la lámina (m^2) y contenido total de agua en hojas (kg) para las diferentes clases o estadios de la palma <i>M. flexuosa</i>	29
Tabla 10. Biomasa aérea (Mg/ha) \pm DE y carbono (Mg/ha) \pm DE estimado para tallo y hojas de los individuos <i>M. flexuosa</i>	30
Tabla 11. Producción de biomasa anual en $\text{Mg}/\text{ha}/\text{año}$ de hojas nuevas (HN) de <i>M. flexuosa</i> en una parcela de 1-ha de bosque inundable en Napo, Ecuador.....	31

Tabla 12. Carbono anual almacenado en Mg/ha de hojas nuevas (HN) de <i>M. flexuosa</i> en una parcela de 1-ha de bosque inundable en Napo, Ecuador.	32
Tabla 13. Resultados de coeficientes de correlaciones de Spearman entre clima y dinámica de hojas de <i>M. flexuosa</i> en una parcela de 1-ha de bosque inundable de Napo, Ecuador. En negrita correlaciones significativas ($p < 0.05$).	33
Tabla 14. Biomasa aérea total Mg/ha y Carbono en MgC/ha según diferentes autores para ecosistemas de moretales en la Amazonia.	40
Tabla 15. Resultado de la dinámica de hojas vivas, muertas y nuevas por estadios para todos los individuos de <i>M. flexuosa</i> de una hectárea durante 3 años de monitoreo. HV/ha, HM/ha y HN/ha son número de observaciones para cada caso por hectárea.	60
Tabla 16. Biomasa aérea total Mg/ha y Carbono en MgC/ha según diferentes autores para <i>M. flexuosa</i>	61

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del área de estudio. (a) Ubicación de la parcela de monitoreo en la parroquia Pto. Misahuallí, provincia de Napo. (b) El área de la parcela es de 1 ha (250m x 40m), dividida dos subparcelas (E y F) de 250m x 20m y 13 cuadrantes de 20m x 20m divididos en cuatro sus en cuatro subcuadrantes de 10m x 10m.	10
Figura 2. Distribución del número de individuos por familia marcados y monitoreados en la parcela de estudio.	19
Figura 3. Comparación de biomasa aérea y carbono almacenado en el área de estudio según habito de crecimiento (árboles o palmas). a) Contribución de biomasa aérea (Mg/ha). b) Contribución de carbono (MgC/ha).	21
Figura 4. Resultados comparativos de a) Biomasa (Mg/ha) y b) Carbono (Mg/ha) producto de la aplicación de diferentes ecuaciones alométricas. El color de la barra indica la ecuación alométrica utilizada; en blanco Álvarez (1993), citado por Yepes et al. [50] para palmas de bosques inundados, gris Goodman et al. [59]e) para palmas en general y en gris oscuro Goodman et al. [59]d) específica para <i>M. flexuosa</i>	22
Figura 5. Contribución al total de equivalente de CO ₂ secuestrado, estimado (Mg/ha) para la parcela de estudio según el tipo de individuos (árboles o palmas), diferenciando a <i>M. flexuosa</i> de otras palmas.....	23
Figura 6. Número de hojas muertas observadas (HV) mensualmente a lo largo de tres años de monitoreo para cada clase de desarrollo: a) Adultos (A), b) Juveniles (B), c) Latizales (C) en una parcela de 1 ha en Napo, Ecuador. Los colores de la tabla indican el cambio con respecto al mes anterior (verde aumento, amarillo constante, rojo disminución).	25
Figura 7. Número de hojas muertas observadas (HM) mensualmente a lo largo de tres años de monitoreo para cada clase de desarrollo: a) Adultos (A), b) Juveniles (B), c) Latizales (C) en una parcela de 1 ha en Napo, Ecuador. Los colores de la tabla indican el cambio con respecto al mes anterior (verde aumento, amarillo constante, rojo disminución).	26

Figura 8. Número de hojas muertas observadas (HN) mensualmente a lo largo de tres años de monitoreo para cada clase de desarrollo: a) Adultos (A), b) Juveniles (B), c) Latizales (C) en una parcela de 1 ha en Napo, Ecuador. Los colores de la tabla indican el cambio con respecto al mes anterior (verde aumento, amarillo constante, rojo disminución).....	28
Figura 9. Biomasa aérea y carbono almacenado en (Mg/ha) por componentes generalmente estimados en <i>M. flexuosa</i> (tallo) y no consideradas en las estimaciones (hojas adultas, hojas juveniles, hojas latizales) para la parcela de estudio. Las flechas rojas indican el aporte de las hojas en porcentaje de biomasa y carbono.....	30
Figura 10. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre precipitación mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$)	34
Figura 11. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre temperatura media mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$)	35
Figura 12. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Temperatura máxima mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$)	36
Figura 13. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Temperatura mínima mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$)	37
Figura 14. Precipitación diaria y nivel de agua superficial promedio diario en el periodo de junio de 2020 a marzo de 2021.....	38
Figura 15. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Humedad media mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN),	

para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$) 62

Figura 16. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Humedad máxima mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$). 63

Figura 17. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Humedad mínima mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$). 64

Figura 18. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Radiación Solar media mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$). 65

Figura 19. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Radiación Solar máxima mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$). 66

Figura 20. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Radiación Solar mínima mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$). 67

RESUMEN

Los humedales amazónicos dominados por la palma *Mauritia flexuosa* cubren cerca de tres millones de hectáreas en la cuenca amazónica, son de alto valor biocultural y ofrecen varios servicios ecosistémicos, entre los que se encuentran el almacenamiento y regulación de agua y secuestro de carbono. A pesar de su extensión e importancia, existe poca información sobre la dinámica de carbono en estos ecosistemas. La presente investigación tuvo por finalidad evaluar la cantidad de carbono almacenado en una población de *M. flexuosa* en un bosque inundable de la Amazonia ecuatoriana y la dinámica del carbono a través del tiempo. La investigación ha sido llevada a cabo en una parcela de una hectárea ubicada en la parroquia Misahuallí, Napo-Ecuador. Se midieron todos los individuos de la parcela ≥ 10 cm de diámetro y los individuos de todos los tamaños de *M. flexuosa*. Se estimó el carbono almacenado en la biomasa aérea utilizando diversas ecuaciones alométricas. La biomasa aérea y el carbono del moretal fue 183.55 Mg/ha y 91.77 MgC/ha respectivamente, donde *M. flexuosa* contribuyó con el 38.36% del total. Comparado a la biomasa calculada de otros Moretales estos capturan el 6% más por individuo. Con respecto al aporte de hojas al almacenamiento de carbono se encontró que contribuyen con 12.34% más de biomasa, siendo el aporte de la producción de hojas en promedio 34.14 Mg/ha/año de biomasa y 17.57 MgC/ha/año de carbono, resultando indispensable incluir la biomasa foliar al estimar la biomasa total. Si bien no hubo correlaciones significativas con las variables climáticas utilizadas, puede presumirse que la disponibilidad de agua continua en el suelo (lámina superficial de agua de 48 cm/mes) en la parcela de estudio contrarrestaría los posibles efectos del cambio climático en la dinámica de *M. flexuosa*. Este es primer estudio en un Moretal por encima de los 120 m s.n.m. y el primero de su tipo en Ecuador, se destaca la capacidad de estos ecosistemas y en particular de la especie *M. flexuosa* en el secuestro de carbono.

Palabras claves: Moretal, biomasa, productividad, servicios ecosistémicos.

ABSTRACT

The Amazonian wetlands dominated by *Mauritia flexuosa* cover nearly three million hectares in the Amazon basin. They have high biocultural value and offer various ecosystem services, including water storage, regulation and carbon sequestration. Despite its extent and importance, there is little information on carbon dynamics in these ecosystems. The purpose of this research is to evaluate the amount of carbon stored in a floodplain forest population of *M. flexuosa* in the Ecuadorian Amazon and its carbon dynamics over time. The research has been carried out on a one-hectare plot located in the Misahuallí parish, Napo-Ecuador. All individuals in the plot ≥ 10 cm in diameter and individuals of all sizes of *M. flexuosa* were measured. Carbon stored in aboveground biomass was estimated using allometric equations. The aboveground biomass and carbon of the moretal were 183.55 Mg/ha and 91.77 MgC/ha respectively, where *M. flexuosa* contributed 38.36% of the total. Compared to the calculated biomass of other Moretales, these capture 6% more per individual. It was found that leaves contribute with 12.34% extra biomass, with its production contributing an average of 34.14 Mg/ha/year of biomass and 17.57 MgC/ha/year of carbon. Although no significant correlations were evidenced with the climatic variables used, we believe that the continuous availability of water due to the soil memory effect (48 cm/month in surface water level) in the study plot, it would offset the possible effects of climate change on the dynamics of *M. flexuosa* dynamics. This is the first study in a Moretales above 120 m a.s.l and the first of its kind in Ecuador, the importance of these ecosystems and in particular of the *M. flexuosa* specie as a carbon sequestration is highlighted.

Keywords: Moretal, biomass, productivity, ecosystem services.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

El bioma amazónico está conformado por 6.7 millones de km² de bosques tropicales [1]. Es una región de alto valor ecológico e importante por su capacidad de modular el clima local, regional y mundial [2,3]. Estos bosques son reconocidos por su importante participación en la dinámica de los ciclos biogeoquímicos, donde resalta el ciclo del carbono al contribuir significativamente con la producción de biomasa a partir de la captura de CO₂ de la atmósfera [4]. Investigaciones orientadas en entender la dinámica del almacenamiento de carbono en distintos tipos de bosque, [5–8] demostraron su relación con la precipitación [9] y la composición de los suelos [10–12] y de esta manera sugieren formas de gestionarlos frente al cambio global [13].

En la Amazonia se ha demostrado que los bosques capturan y almacenan carbono en grandes cantidades en forma de biomasa [6] debido a las variaciones en condiciones y gradientes ambientales [16,17]. Estos resultados son producto de estimaciones y cálculos con metodologías diversas. Por ejemplo, algunos estudios estiman que en biomasa aérea los bosques amazónicos recogen entre 200 a 350 Mg/ha [14] dependiendo de la densidad media de la madera y el área basal que ocupan. Otros muestran una variación en biomasa de 138 a 458 Mg/ha donde su estimación se correlacionaría con las condiciones edáficas y geológicas [15].

Dentro de los ecosistemas amazónicos más representativos se encuentran los bosques inundables o pantanosos que constituyen aproximadamente 800 000 km² (14% de la cuenca amazónica) [1,16]. Estos miles de kilómetros de áreas mal drenadas pueden estar a orillas de ríos, quebradas, de lagos con o sin conexiones a fuentes de agua, o en áreas donde las condiciones edáficas favorecen la retención de agua generando un efecto conocido como “memoria del suelo” [17]. Así mismo, la dinámica de los pulsos de inundación y precipitación sobre las condiciones de los suelos controlan en gran medida la estructura de las comunidades de estos ambientes inundados [18].

Se estima que al menos el 36% de la cobertura boscosa de la Amazonia, se ubica sobre niveles freáticos del suelo menores a cinco metros de profundidad [19]. Estas

condiciones permiten que hoy se clasifiquen los bosques inundables según el tipo de agua que los influencia durante los pulsos de inundación [20] en: bosques de várzea aquellos inundados por aguas blancas, bosques de igapó inundados por aguas negras, y los bosques de aguas claras o simplemente bosques que por su geología se ven inundados debido a altos niveles de precipitación, donde podemos encontrar planos inundables pero que no tiene una conexión directa con ríos [16,18].

Una especie muy común en estos ambientes, que suele formar densas poblaciones en ocasiones monoespecíficas [21–23], es la palma arbórea *Mauritia flexuosa* L.f. que según el país da nombre a este tipo de ambientes como Cananguchales o Morichales en Colombia, Buritizales en Brasil, Aguajales en Perú o Moretales en Ecuador [24,25]. Esta palma está ampliamente distribuida en la cuenca amazónica y ocupa un rango altitudinal entre 5 - 1200 m s.n.m., con precipitación y temperaturas medias anuales en su área de distribución que varían entre 1141-6315 mm y 22,8 - 27,1 °C respectivamente [21,26].

M. flexuosa es una de las 22 especies arbóreas más abundantes de la cuenca amazónica, se estima la existencia de al menos 1.5 mil millones de individuos adultos distribuidos por toda la cuenca, cubriendo una área de tres millones de hectáreas [27]. Es una palma dioica caracterizada por ser una monocotiledónea leñosa y poseer un sistema de raíces semisumergidas denominadas neumatóforos que sobresalen del suelo inundado evitando la anoxia y pudrición de las mismas. El sistema radicular puede alcanzar los 20 a 60 centímetros por debajo del suelo con un desarrollo horizontal que puede extenderse hasta 40 metros [28], en altura se registran mediciones entre los 10 hasta los 35 metros [29].

Los bosques de *M. flexuosa* se pueden categorizar en tres tipos [24]: 1) los bosques que crecen a lo largo de los márgenes de ríos o depresiones que estos forman y se asocian a diferentes tipos de ríos sean de aguas claras, blancas o negras. 2) bosques de palmas que se forman sobre extensas cuencas en forma cóncava, planos aluviales alejados de los cauces principales de ríos y donde los aportes de agua son principalmente de origen pluvial (superiores a los 2000 mm de precipitación anual). 3) bosques que se forman sobre extensos planos de turba donde no existe una influencia de ejes fluviales o caños y donde se forma un microrelieve característico conocido como

tatucos que alternan con depresiones alargadas en las que se acumula una lámina de agua, esto ocurre únicamente en la parte más norte de la cuenca amazónica en los inicios de la llanura orinocense entre las fronteras de Venezuela y Colombia [25].

Por otro lado, estudios recientes han denominado a la especie como hiperclave debido a que su hábitat alberga varias especies claves de los ecosistemas amazónicos. Según van der Hoek, Solas & Peñuela [30] al menos 940 especies de vertebrados, excluyendo anfibios, se encuentran asociados a los bosques de *M. flexuosa* [30]. También son fundamentales a nivel cultural, pues de este tipo de bosques depende la economía de numerosos pueblos locales quienes han aprovechado esta palma tradicionalmente para obtener alimento y generar algo de ingresos económicos para sus familias [31]. Por lo tanto, es una especie fundamental dentro de las dinámicas del bioma amazónico.

A pesar de la aparente abundancia de agua en el bioma amazónico estudios en las últimas décadas han demostrado un aumento en la intensidad y frecuencia de las sequías, que han generado cambios en las tasas de mortalidad y por tanto en la dinámica de los bosques, el ciclo del carbono y la disponibilidad de agua [32,33]. La mayoría de los estudios de este tipo evalúan áreas boscosas de tierra firme a diversos gradientes altitudinales y con niveles freáticos profundos [34,35]. Aún son pocos los estudios de carbono relacionados a bosques inundados; existen algunas estimaciones realizadas en bosques de várzea en la Amazonia central y otros en la Amazonia occidental como lo describe Schöngart & Wittmann [36], surgiendo la necesidad de más estudios que permitan entender mejor la participación de estos bosques en los procesos biogeoquímicos (carbono) y sus relaciones con otras variables ambientales.

1.1.1 Estimaciones de carbono

La captura de carbono que no es más que el proceso de su fijación de la forma inorgánica en forma de biomasa, depende del tipo de fotosíntesis que las plantas realizan y las condiciones ambientales presentes [37,38]. La biomasa, por tanto es la cantidad de materia producida y almacenada en diferentes componentes de la vegetación como pueden ser los aéreos (hojas, ramas, frutos, flores, tallo) y

subterráneos (raíces finas y gruesas) [39], y es parte fundamental en la caracterización de la estructura forestal que comprende las alturas, diámetros, áreas basales y densidad de la madera [40–42]. Las diferencias entre la cantidad de carbono almacenado por cada componente se conocen como flujo o distribución de carbono [39].

La cantidad de materia orgánica vegetal nueva producida en un intervalo de tiempo específico [43] se conoce como productividad primaria neta (PPN), que de otra manera es el carbono fijado por unidad de tiempo en los diferentes componentes aéreo y subterráneo del bosque [41,42]. El monitoreo de una muestra de los árboles en los diferentes bosques a lo largo del tiempo determina la cantidad de biomasa que fija un ecosistema y permite establecer si este es un sumidero o una fuente de carbono [39]. Entonces, resulta pertinente estudiar los componentes (stocks) y los flujos de carbono para tener una idea completa del ciclo y la dinámica de carbono de un bosque.

La PPN por tanto se relaciona con la dinámica del bosque, la cual se refleja en las tasas de mortalidad, reclutamiento y crecimiento de las plantas, siendo estas algunas de las entradas y salidas del ciclo del carbono [8,44–48]. Estas tasas a su vez están relacionadas con las variables climáticas (temperatura, precipitación, radiación solar), nutrientes del suelo (fósforo y nitrógeno) [49] y sus propiedades físicas (conductividad hidráulica, contenido de agua, nivel freático) [8,15,34,40]. Comprender estas relaciones resultan esenciales para entender cómo se comportan y responden los ecosistemas frente a alteraciones provocadas por el cambio climático o la incidencia antropogénica.

El cálculo de la biomasa en los estudios de PPN, se puede estimar mediante métodos directos o destructivos donde se requiere el corte, medición y pesaje de cada componente de la vegetación que sean muestras representativas de la comunidad. También se puede hacer a través de mediciones indirectas o no destructivas utilizando ecuaciones alométricas que consideran por lo general relaciones entre el diámetro y altura de los árboles, las cuales en algunas ocasiones, y dependiendo del ecosistema, se ajustan para cada especie con factores como la densidad de la madera y sumadas a otras mediciones de los compartimentos de la vegetación [39,50].

Las ecuaciones alométricas nacen de las ciencias forestales especialmente para calcular el volumen disponible de árboles maderables [18,31,32]. Estas ecuaciones buscan mediante fórmulas establecer cuantitativamente la relación de dos variables. Así se puede predecir una variable como la biomasa en función de otra variable medida como puede ser el diámetro o la altura de un árbol [53].

Las palmas arbóreas, que son componentes bioculturales claves dentro de los ecosistemas amazónicos [31] no tienen un crecimiento secundario. Esto conlleva a que la relación entre la altura y el diámetro sea muy débil o casi nula [54,55]. Por esta razón existen pocas ecuaciones alométricas que permitan extrapolar el comportamiento del carbono en este importante grupo de plantas [52,56].

1.2 Planteamiento del problema

En los últimos años se ha demostrado que la Amazonia ha sufrido sequías más frecuentes y severas, que influyen en la dinámica y la productividad primaria neta, es decir en la captura de carbono en los ecosistemas [32,48,57]. Estos estudios arrojan disminución de biomasa en la mayoría de bosques en especial en las zonas del Este de la Amazonia [58]. Sousa et al. [34] indican que los bosques que crecen sobre capas freáticas poco profundas serían más resistentes frente a condiciones como las sequías, donde la hidrología local y sus interacciones con el clima restringen fuertemente los efectos de estos eventos extremos y por tanto tienen una implicación en la retroalimentación del ciclo del carbono.

Pese a la abundancia de bosques inundables y la evidencia de su posible resiliencia frente a eventos como las sequías, son pocos los estudios que estiman la biomasa o PPN de éstos, y aún más los que consideran a las palmas en dichas estimaciones [36,49]. Tanto así que, Malhi et al.[49] indican que las mediciones de biomasa en palmas en componentes como las hojas son un “*missing term*” (en español “*termino faltante*”). Una de las razones, además de las dificultades de trabajar en áreas que a veces son permanentemente inundadas, es que la estimación de la biomasa en palmas presenta varios problemas referentes a los modelos alométricos usados y las metodologías

estándares de monitoreo debido en gran medida a las diferencias anatómicas y fisiológicas en comparación a los árboles (crecimiento secundario de las palmas) [59,60].

Existen muy pocas ecuaciones alométricas que permitan estimar la biomasa en palmas [50,59], lo cual conlleva al uso de las mismas ecuaciones para dicotiledóneas o a que simplemente se ignoren estas plantas en los inventarios forestales y en las evaluaciones de biomasa [6,61]. Para el cálculo de los componentes aéreos, además del diámetro y la altura de los árboles, es común el uso de canastas o trampas de colección de hojarasca que miden 1 x 0,5 m o 1 m², tamaño en las cuales no caben la mayoría de las hojas de las palmas [39,62], y cuya contribución en almacenamiento de biomasa y por ende en la productividad primaria neta (PPN) podría ser significativa.

Por ejemplo, Sousa et al. [34] encontraron en su estudio en la Amazonia central que las palmas aportan entre el 1% y el 5% de la cantidad total de biomasa aérea viva por hectárea. Mientras Muscarella et al.[63] estimó a partir de los inventarios de tierra firme mejor representados en el neotrópico, que se puede estar subestimando al menos un 15% del valor real de biomasa al no considerarse las palmas o utilizarse metodologías no adecuadas para su cuantificación. Además, se esperaría que sea mayor la contribución de biomasa en otros entornos como bosques inundables y pantanosos donde las palmas, en el caso de *M.flexuosa* pueden formar poblaciones casi monoespecíficas, los Moretales [64]. Para tener una idea según los resultados del primer inventario nacional forestal del Ecuador [65] se estima que los Moretales como un estrato boscoso ocupan una extensión de 466068.87 ha y capturan 31124079.14 Mg/ha de carbono total lo que equivale a 114110211.40 Mg/ha de eqCO₂, resultando que al menos 15%, es decir 17116531.71 eqCO₂ se estaría subestimado por las palmas en la extensión de moretal reportado.

Goodman et al. [59] generaron una ecuación que se aplica a palmas arbóreas utilizando el modelo propuesto por Brown [51], donde la biomasa podría estimarse utilizando la altura y diámetro como si las palmas fueran cilindros (D²H), multiplicado la densidad de la madera que es variable según la especie y condiciones ambientales [51]. Sin embargo, esta ecuación requiere mejorar la inclusión del “término faltante”, la producción de hojas y otras estructuras reproductivas, que como se explicó antes

pueden contribuir significativamente en la producción de biomasa y por lo tanto en los cálculos de carbono.

Por otro lado, la dinámica de las palmas puede estar fuertemente relacionada con condiciones ambientales y climáticas que no han sido bien estudiadas [34,66]. Precisando de estudios que permitan entender mejor el ciclo del carbono relacionado a bosques inundables, su relación con la variabilidad climática y características de las especies clave que habitan estos ecosistemas, como la producción de hojas en palmas.

1.3 Justificación de la investigación

En Ecuador, el Inventario Nacional Forestal estima que los moretales ocupan una superficie aproximada de 466068.87 ha o 4.47% del total de los bosques amazónicos del país [67]. Los bosques amazónicos en general se encuentran amenazados por la presión negativa que ejercen diferentes actividades como la construcción de obras de infraestructura o vías, la explotación minera e hidrocarburífera y la expansión de la frontera agrícola [59,66–69], actividades que fragmentan el bosque y contribuyen con su degradación de forma acelerada [71]. En la provincia de Napo, por ejemplo, estas actividades se asocian a las altas tasas de deforestación que entre 1990 - 2000 fue de 0,47%, y entre 2000 y 2008 aumentó a 0,83% [72].

Por tanto, es fundamental conocer los datos asociados a la dinámica de productividad, biomasa e incidencia de las condiciones climáticas debido a que nos aporta con indicadores que pueden ayudar en la evaluación y cuantificación de las reservas de carbono forestal y los cambios en la cubierta vegetal frente al cambio global [73]. Así mismo, es imperativo otorgar un valor apropiado a los Moretales y no solo verlos como meros pantanos, para ello es necesario considerar su aporte significativo con servicios ecosistémicos entre ellos los de regulación y almacenamiento de agua, fijación de carbono y mantenimiento de la biodiversidad [16,25,31].

1.4 Preguntas de investigación

Con el fin de promover la gestión integrada de los bosques inundables amazónicos, conocer los servicios ecosistémicos que ofertan, y tener herramientas para su

restauración, conservación y aprovechamiento productivo, se propone responder a las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuál es la cantidad de biomasa almacenada en un moretal de Napo, Ecuador?
- ¿Cuál es la capacidad de producción de biomasa de las palmas de *M. flexuosa* en un moretal de Napo, Ecuador?
- ¿Qué tan significativo es el aporte de biomasa de las hojas (el término faltante) de *M. flexuosa* en la captura de carbono en un moretal de Napo, Ecuador en el tiempo?
- ¿Están el nivel de agua y variables climáticas como precipitación, temperatura, humedad y radiación solar relacionadas con la dinámica de hojas y carbono en un moretal de Napo, Ecuador?

1.5 Hipótesis

- I. La especie *M. flexuosa* captura una cantidad mayor o igual al 5% del total de carbono almacenado en biomasa aérea en una hectárea de moretal monitoreado.
- II. El carbono almacenado en biomasa aérea por *M. flexuosa* calculado con modelos alométricos provoca una subestimación de al menos 5% al no considerar la producción de hojas.
- III. Existe una correlación significativa entre la tasa de renovación de hojas y el nivel freático y otras variables climáticas como la precipitación, temperatura, humedad y radiación. Mientras menor sea la disponibilidad de agua en suelos normalmente saturados y mayor el aumento de la temperatura significará una mayor mortalidad y menores tasas de renovación de hojas con la consiguiente pérdida de biomasa.

1.6 Objetivos de la investigación

1.6.1 General

Evaluar la captura de carbono almacenado en forma de biomasa aérea por *M. flexuosa* en una hectárea de bosque inundable de la Amazonia ecuatoriana, y su relación con variables climáticas que permitan entender su respuesta ante cambios ambientales.

1.6.2 Específicos

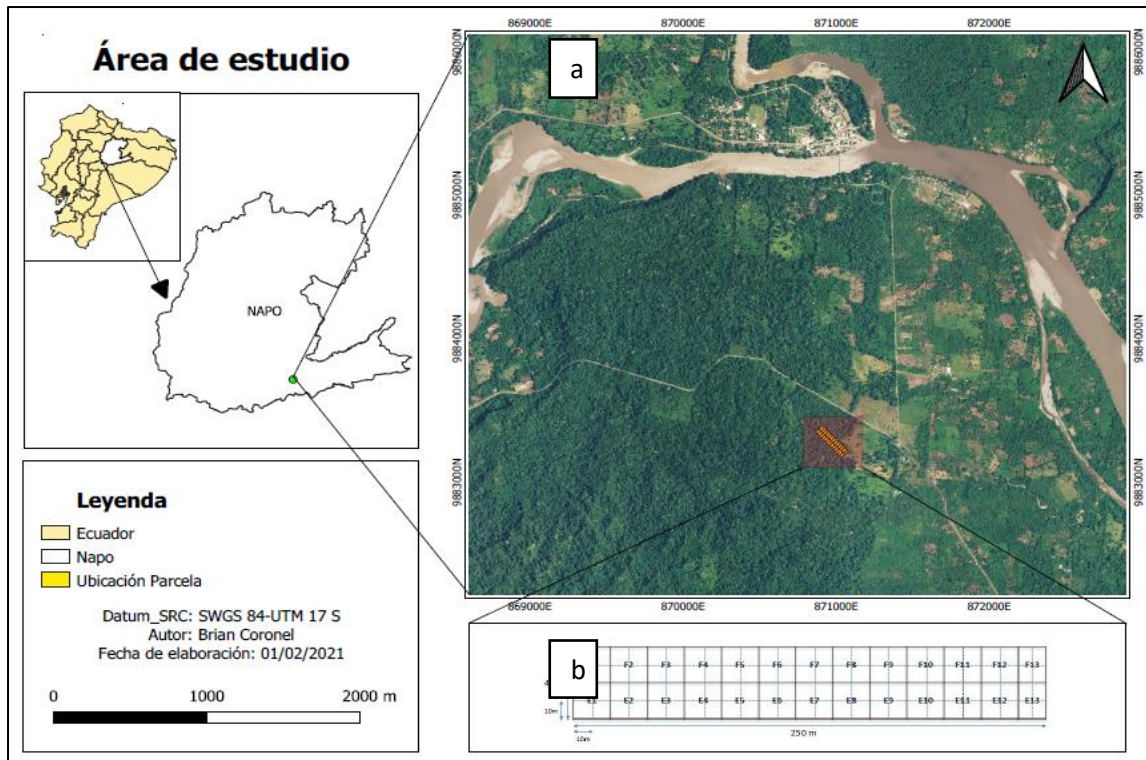
- Estimar la biomasa aérea y carbono de un moretal localizado en Napo, Tena Amazonia occidental.
- Cuantificar la tasa de producción de hojas de *M. flexuosa* y su aporte en biomasa y carbono dentro del moretal.
- Relacionar el nivel de agua dentro del moretal y las variables climáticas como precipitación, temperatura, humedad y radiación solar con dinámica de biomasa y carbono de *M. flexuosa* para comprender su importancia en el ciclo del carbono y la incidencia frente a los cambios antropogénicos.

CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO

2.1 Área de estudio

El estudio se llevó cabo en una parcela de monitoreo de una hectárea previamente establecida [74], ubicada en la parroquia Misahuallí perteneciente al cantón Tena, provincia de Napo en la Amazonia Ecuatoriana (Figura 1a). La parcela de 250 m x 40 m está configurada en su establecimiento por dos subparcelas (E y F) de 250 m x 20 m, cada una se compone a su vez de 13 cuadrantes de aproximadamente 20 m x 20 m divididos en cuatro subcuadrantes de 10 m x 10 m (Figura 1**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**b).

La parcela se encuentra sobre una terraza alta de origen aluvial con suelo mal drenado, que se ve parcialmente inundada producto de las precipitaciones constantes



superiores a 100 mm/mes y una media de 4000 mm/año, siendo una lluvia no estacional con leves picos en junio y noviembre. La temperatura anual media es de 22.8 °C y la humedad relativa se registra sobre el 85 %, caracterizándose como una zona húmeda tropical [75].

Figura 1. Mapa del área de estudio. (a) Ubicación de la parcela de monitoreo en la parroquia Pto. Misahuallí, provincia de Napo. (b) El área de la parcela es de 1 ha (250m x 40m), dividida dos subparcelas (E y F) de 250 m x 20 m y 13 cuadrantes de 20 m x 20 m divididos en cuatro subcuadrantes de 10 m x 10 m.

2.2 Población y muestra

La población estuvo constituida por todas las especies arbóreas, incluidas palmas, que fueron encontradas en la parcela de estudio con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 10 cm. Para determinar el DAP se utilizó la metodología propuesta en el manual de Rainfor para muestreos de parcelas permanentes [39], donde el punto de medición del diámetro (DAP) fue demarcado con pintura amarilla alrededor del tronco midiendo con una cinta métrica desde la base hasta 1.3 metros de altura en todos los individuos, salvo excepciones como por ejemplo aquellos que tenía bifurcaciones o raíces en forma de zancos en estos casos se tomó las consideraciones de Rainfor. El diámetro (D) se midió usando una cinta diamétrica y la altura total (H) se

estimó utilizando un hipsómetro. Todos los individuos se marcaron con una placa de aluminio e identificaron con un código. La información recopilada en cada censo se ingresó en una base de datos siguiendo las recomendaciones de Rainfor [39].

Adicionalmente, se midieron todos los individuos de *M. flexuosa* encontrados dentro de la parcela con una altura igual o mayor a un metro de altura, tuvieran o no tallo formado al momento de realizar el estudio. Para aquellos individuos que tenía una altura mínima de 1.30 metros, se marcaron con hilo y placa, se midió su altura total (H) y el diámetro con una cinta diamétrica a la altura del pecho. Se establecieron tres clases de desarrollo o estadios para los individuos marcados: latizales (L) con altura entre uno y tres metros, juveniles (J) con alturas comprendidas entre los tres y 14 metros y adultos (A) todos aquellos que tenían estructuras reproductivas.

2.3 Estimación de biomasa área y carbono

La estimación de biomasa aérea dentro del moretal fue realizada mediante ecuaciones alométricas existentes, construidas a partir de ecosistemas similares al del área de estudio. En el caso de los árboles se utilizó la ecuación propuesta por Chave et al.[52] para bosques tropicales muy húmedos realizada a partir de estudios que recopila información del Neotrópico. En el caso de palmas se utilizó las ecuaciones específicas para cada especie propuestas por Goodman et al.[59] las cuales fueron construidas de estudios, en el caso de *M. flexuosa* y *M. aculeata* realizados en bosques inundables de la Reserva Nacional Pacaya-Samiria en el departamento de Loreto, Perú y demás especies de palmas en bosques de tierra firme del departamento de Madre de Dios, Perú (Tabla 1).

Además, para *M. flexuosa* se estimó la biomasa en función de tres ecuaciones alométricas: la propuesta por Álvarez (1993), citado por Yepes et al.[50] para palmas de bosques inundables realizada para la Amazonia colombiana y dos de Goodman et al.[59], una para palmas en general y otra específica para *M. flexuosa*, como vimos anteriormente realizada en la Amazonia peruana de los departamentos de Loreto y Madres de Dios. Estas estimaciones se realizaron con el fin de evidenciar las diferencias que ocurren en la estimación de biomasa al usar diferentes ecuaciones alométricas. Los

resultados fueron comparados según su coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2) y el error estándar de estimación o RSE, de ajuste a los datos medidos.

Las ecuaciones utilizadas se resumen en la Tabla 1. Se utilizaron en estas ecuaciones los datos de diámetro y altura medidos durante el primer censo del 2016. En el caso de las ecuaciones que utilizan densidad de la madera, estos valores se obtuvieron de la base de datos de Zanne et al. [76] para cada especie censada. Cuando no se encontró el dato por especie, entonces se asignó el promedio del valor del género y si no de la familia teniendo en cuenta que para Chave et al. [52] la densidad puede considerarse por filogenia como un carácter con un nivel de conservación alto.

Tabla 1. Resumen de ecuaciones alométricas utilizadas en la estimación de biomasa de un bosque inundable dominado por *M. flexuosa* en Napo, Ecuador: área de estudio para donde se generó la ecuación, especies incluidas, modelo alométrico, y autor(es). BA es biomasa aérea (kg), D es diámetro (cm), H es altura (m), ρ es la densidad (g/cm^3) y dmf es fracción de masa seca (kg) donde para *M. flexuosa* es 0.367 [59].

Área	Especie	Modelo	Autor
Bosque tropical muy húmedo, neotrópico	Arbóreas	$BA = \rho * \exp(1.239 + 1.980 * \ln(D) + \dots + 0.207 * (\ln(D))^2 - 0.0281 * (\ln(D))^3)$	Chave et al. [52]
Bosques de tierra firme en Madre de Dios, Perú	<i>Socratea exorrhiza</i>	$\ln(BA) = -3.7965 + 1.0029 * \ln(D^2 * H_{\text{stem}})$	Goodman et al. [59]a)
Bosques de tierra firme en Madre de Dios, Perú	<i>Astrocaryum murumuru</i>	$\ln(BA) = 21.302 * \ln(H_{\text{stem}})$	Goodman et al. [59]b)
Bosques de tierra firme en Madre de Dios, Perú	<i>Euterpe precatória</i>	$\ln(BA) = -108.81 + 13.589 * \ln(H_{\text{stem}})$	Goodman et al. [59]c)
Bosque inundables, Loreto Perú	<i>Mauritia flexuosa</i>	$\ln(BA) = 2.4647 + 1.3777 * \ln(H_{\text{stem}})$	Goodman et al. [59]d)
Bosque inundables (<i>M. flexuosa</i> y <i>M. aculeata</i>) en Loreto y bosques de tierra firme en Madre de Dios, Perú	9 especies de palmas arbóreas	$BA^{0.25} = 0.5551 * (dmf * D^2 * H_{\text{stem}})^{0.25}$	Goodman et al. [59]e)
Bosque inundables, Araracuara, Amazonia Colombiana	Palmas arbóreas	$\ln(BA) = -3,956 + 3,106 * \ln(D)$	Álvarez (1993), citado por Yepes et al. [50]

Una vez calculada la biomasa de árboles y palmas con las ecuaciones de la (Tabla 1) se estimó el carbono utilizando la siguiente ecuación:

$$C = BA * 0.5 \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde, C es el carbono total en (Mg) y BA es la biomasa aérea calculada en (Mg). La biomasa es multiplicada por un factor de 0.5 considerando que la materia seca contiene en promedio 50% de carbono [77].

2.4 Cuantificación de dióxido de carbono

Para calcular la cantidad estimada de dióxido de carbono que fue capturado por el moretal, se multiplicó el carbono obtenido de la (Ecuación 1) por el cociente del peso molecular del CO_2 entre el peso atómico del carbono, como lo sugiere el IPCC [77] en la (Ecuación 2):

$$eqCO_2 = C * k \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde, $eqCO_2$ es el equivalente de CO_2 absorbido en (Mg), C es el carbono total calculado en (Mg) y $k = \frac{44}{12} = 3.6663$ es el factor resultante del peso molecular del CO_2 al dividirlo por el peso atómico del carbono C .

2.5 Dinámica de hojas de *M. flexuosa*

Con el fin de determinar la tasa de renovación de las hojas de las palmas de *M. flexuosa* se depuró y analizó la base de datos generada en este mismo moretal por Tello [74,78] y Peñuela [74,78]. La base contiene información del monitoreo mensual realizado entre febrero 2017 y enero del 2020, de hojas vivas observadas (HV) y el número de hojas muertas observadas (HM) para cada uno de los individuos marcados. Se monitorearon 375 palmas (adultas, juveniles y latizales), cabe señalar que por la dificultad de observación solamente tres palmas adultas fueron monitoreadas consistentemente mes a mes.

La tasa de renovación de las hojas (HN) se calculó a partir de la ecuación propuesta (Ecuación 3), considerando parámetros de la dinámica de hojas en estudios realizados en otras especies [79,80].

$$HN_t = \frac{HV_t - (HV_{t-1} - HM_t)}{(\Delta t)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde, HN_t es el número de hojas nuevas en el tiempo t, HV_t es el número de hojas vivas observadas en el tiempo t, HV_{t-1} es el número de hojas vivas observadas en el tiempo anterior t-1, HM_t es el número de hojas muertas observadas en el tiempo t y Δt es la diferencia de tiempo. Los errores debido al observador o falta de observaciones que generaron datos faltantes, fueron corregidos y en el caso que no ser posible se asumió que (HN) fue cero para ese mes.

2.6 Estimación de biomasa y carbono en hojas de *M. flexuosa*

Para estimar la biomasa y carbono en hojas de *M. flexuosa* primero se realizó la cosecha de 33 hojas en 33 individuos, atendiendo las clases de tamaño descritas para *M. flexuosa* en la sección 2.2 de la siguiente forma:

- 14 hojas de 14 palmas latizales menores o iguales a tres metros de altura.
- 14 hojas de 14 palmas juveniles entre tres y 14 metros de altura.
- Cinco hojas de cinco palmas adultas mayores o iguales a 14 metros de altura.

Las hojas se cortaron desde la base del peciolo, se midió el peciolo hasta el raquis con una cinta métrica, se calculó el área de la lámina de la hoja usando el software image J y luego se promedió por cada clase de tamaño. Las hojas se separaron en peciolo y lámina y se pesaron en fresco independientemente. Para obtener el peso seco, las muestras se secaron en una estufa en la Universidad Regional Amazónica por cuatro días, tiempo en el que las muestras adquirieron un peso constante. Finalmente, se obtuvo un promedio del peso de hojas por clase de desarrollo, y se calculó la biomasa de las hojas por clase para toda la parcela empleando la ecuación:

$$BH = N^{\circ}_{ind} * \overline{PH} * \overline{HV} \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde, BH es biomasa en hojas (Kg/ha), N°_{ind} es el número de individuos por clase de desarrollo, \overline{PH} es el promedio de peso de hoja por clase en (kg) y \overline{HV} es el promedio de hojas vivas observadas por clase para la parcela. La biomasa de hojas total de la parcela resulta de la suma de BH por cada clase.

A partir de la biomasa en hojas total (BH) y la estimación de biomasa aérea total producida (BA) utilizando la ecuación de Goodman et al. [59]d) como mejor estimador de BA para *M. flexuosa*, se calculó la biomasa aérea total nuevamente (BA_{tot}) como (Ecuación 5) y el carbono total (C_{tot}) como (Ecuación 6) similar a lo realizado en la sección 2.3.

$$BA_{tot} = BH + BA \quad (\text{Ecuación 5})$$

donde, BA_{tot} es la biomasa total producida por *M. flexuosa* (Mg/ha), BH es la biomasa total en hojas por hectárea (Mg/ha) y BA es la biomasa de los tallos por hectárea (Mg/ha).

$$C_{tot} = BA_{tot} * 0.5 \quad (\text{Ecuación 6})$$

donde, C_{tot} es el carbono total generado por *M. flexuosa* (Mg/ha), BA_{tot} es la biomasa total producida por *M. flexuosa* (Mg/ha).

2.7 Variaciones interanuales de la biomasa y carbono en hojas de *M. flexuosa*

Se utilizó los resultados de la dinámica de hojas (sección 2.5) correspondiente al número de hojas muertas y vivas para encontrar la ganancia o pérdida mensual de biomasa y carbono de este componente a lo largo de los tres años del periodo de estudio. Para ello, se encontró la tasa de producción de hojas (Ecuación 3) para cada clase o estadio de desarrollo. Los resultados se multiplicaron por el peso promedio de las hojas según cada clase, en la misma vía que se encontró la biomasa en la sección 2.6 con la (Ecuación 4), y de igual forma con el carbono (Ecuación 6) al multiplicar por 0.5 como factor recomendado por IPCC [77].

2.8 Condiciones climáticas y relaciones con dinámica de hojas de *M. flexuosa*

Con el fin de conocer si existen correlaciones entre la variabilidad climática y la dinámica en hojas de *M. flexuosa*, se procedió a recopilar información de variables de precipitación, temperatura, humedad y radiación solar global para el periodo de estudio

(febrero de 2017 a enero de 2020) con excepción del nivel freático que solo pudo ser monitoreado entre junio 2020 a marzo de 2021 (Tabla 2).

La información de precipitación se extrajo de la misión de satélite “Global Precipitation Measurement- GPM” (GPM_3IMERGM; Huffman et al. [81]), la cual registra mejor la precipitación de la zona de estudio. Para las variables de temperatura, humedad y radiación solar global se utilizó la información disponible de la estación automática M5147 ubicada a 550 m s.n.m perteneciente a la Universidad Regional Amazónica Ikiam (<http://meteorologia.ikiam.edu.ec:3838/meteoviewer/>), que se encuentra a 40 km en línea recta al área de estudio. Como proxy de disponibilidad de agua y variación del nivel freático superficial se instaló un piezómetro marca vanEssen Instruments a una profundidad referencial de 1.5 m en la parcela de monitoreo permanente.

Dado que el análisis se realizó en una ventana de tiempo de tres años de monitoreo y con el fin de determinar la relación del clima y la dinámica de las hojas, se procedió con la cuantificación de la relación entre las variables climáticas y la dinámica de hojas para cada clase aplicando un análisis de correlaciones cruzadas. Los resultados se presentaron en Correlogramas donde se puede observar la influencia de retardo o desfase (lag) entre las series temporales que conforman los resultados de las variables analizadas, para nuestro caso se aplicó un lag máximo de cinco meses.

El límite de confianza tanto inferior como superior para evaluar la significancia de los coeficientes de correlación obtenidos está en base al 95% y las variables independientes se conformaron por la serie de datos climáticos y la dependiente por los resultados de la serie de dinámica de hojas. La escala de interpretación de las correlaciones se observa en la Tabla 3.

Tabla 2. Resumen de variables de clima utilizadas en este estudio. Se presentan las cinco variables precipitación, temperatura, radiación solar, humedad relativa y nivel de agua, tratamiento, unidades, temporalidad y fuente de datos.

Variables	Tratamiento	Unidades	Temporalidad	Fuente
Precipitación	Precipitación acumulada mensual	mm	febrero 2017-enero 2020	GPM
	Precipitación media intermensual	mm	febrero 2017-enero 2021	GPM
Temperatura	Temperatura media mensual	°C	febrero 2017-enero 2022	Estación Meteorológica Ikiam-M5147
	Temperatura media intermensual	°C	febrero 2017-enero 2023	Estación Meteorológica Ikiam-M5147
	Temperatura máxima mensual	°C	febrero 2017-enero 2023	Estación Meteorológica Ikiam-M5147
	Temperatura mínima mensual	°C	febrero 2017-enero 2024	Estación Meteorológica Ikiam-M5147
Radiación Solar	Radiación Solar Global media mensual	W/m ²	febrero 2017-enero 2026	Estación Meteorológica Ikiam-M5147
	Radiación Solar Global máxima mensual	W/m ²	febrero 2017-enero 2027	Estación Meteorológica Ikiam-M5147
	Radiación Solar Global mínima mensual	W/m ²	febrero 2017-enero 2028	Estación Meteorológica Ikiam-M5147
Humedad Relativa	Humedad relativa media mensual	%	febrero 2017-enero 2029	Estación Meteorológica Ikiam-M5147
	Humedad relativa media intermensual	%	febrero 2017-enero 2030	Estación Meteorológica Ikiam-M5147
Nivel de agua	Nivel de agua mensual	cm	junio 2020-marzo 2020	Piezómetro vanEssen instruments

Tabla 3. Escala de interpretación de correlaciones.

Valor coeficiente de correlación	Interpretación
0 – 0.25	Entre nula a escasa
0.26-0.50	Débil a moderadamente baja
0.51-0.75	Entre moderadamente alta a fuerte
0.76-1.00	Entre fuerte a perfecta

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

3.1 Población y muestra

En la parcela de estudio se encontraron 440 individuos con DAP ≥ 10 cm distribuidos en 14 familias (Tabla 4), a excepción de 10 individuos que no pudieron identificarse adecuadamente. Cerca del 49.55% (218), pertenecen a la familia Arecaceae (Figura 2) de los cuales 116 son *M. flexuosa* (adultas) y el resto a otras especies de palmas como *Euterpe precatoria*, *Socratea exorrhiza* y *Astrocaryum sp.*

Tabla 4. Familias de plantas encontradas en una parcela de moretal en Napo, Ecuador. Número de individuos (N), porcentajes de individuos (%), diámetro promedio (DBH \pm DE) y altura promedio (H \pm DE) por familia.

Familia	N	Porcentaje de individuos (%)	DBH (cm) \pm DE	H (m) \pm DE
Arecaceae	218	49.55	31.94 \pm 4.72	14.9 \pm 15.60
Fabaceae	96	21.82	26.50 \pm 13.85	12.59 \pm 6.90
Myristicaceae	32	7.27	20.60 \pm 12.18	14.98 \pm 9.31
Euphorbiaceae	22	5	22.34 \pm 11.95	12.39 \pm 5.54
Clusiaceae	16	3.64	13.19 \pm 1.97	7.16 \pm 3.65
Urticaceae	15	3.41	18.99 \pm 6.90	11.27 \pm 3.58
Indeterminada	10	2.27	19.93 \pm 12.57	12.73 \pm 8.70
Melastomataceae	7	1.59	12.35 \pm 1.59	8.78 \pm 3.12
Polygonaceae	6	1.36	11.51 \pm 1.03	9.50 \pm 1.22
Malvaceae	5	1.14	24.03 \pm 16.84	10.00 \pm 9.19
Combretaceae	4	0.91	11.75 \pm 1.45	8.75 \pm 6.29
Moraceae	4	0.91	18.79 \pm 6.96	9.25 \pm 4.57
Araliaceae	2	0.45	12.38 \pm 0.59	8 \pm 5.66
Staphyleaceae	2	0.45	12.72 \pm 0.65	9.75 \pm 7.42
Myrtaceae	1	0.23	9.61 \pm 0.00	10.00 \pm 0.00
Total	440	100	17.78 \pm 6.22	10.67 \pm 6.05

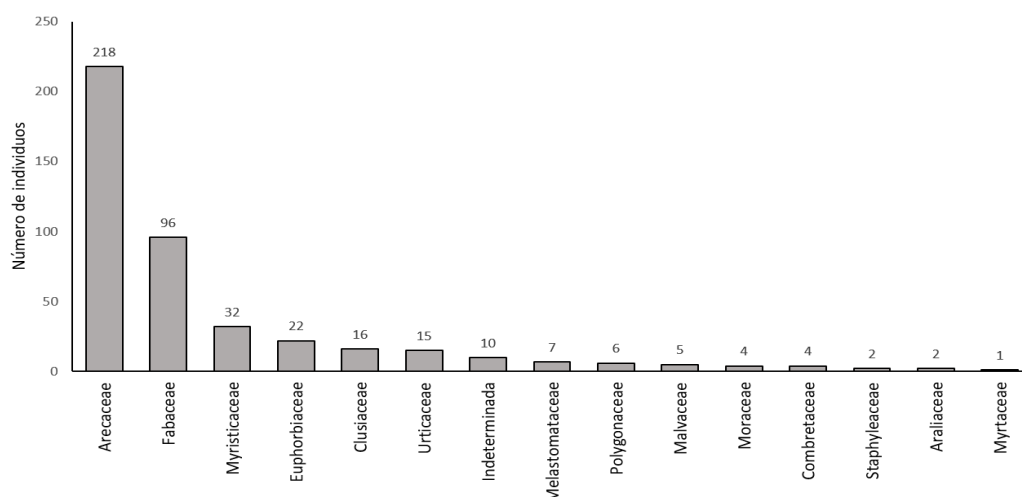


Figura 2. Distribución del número de individuos por familia marcados y monitoreados en la parcela de estudio.

Se registraron 375 individuos de *M. flexuosa*. El 30.93% fueron palmas adultas, el 42.13% juveniles y el 26.93% latizales (Tabla 5). Las palmas adultas presentaron alturas superiores a los 14 hasta los 30 metros, siendo este último valor el correspondiente a los individuos más altos registrados en la parcela. En cuanto a los juveniles, estos registraron alturas mayores a tres y menores a 14 metros. El mayor número de palmas juveniles tuvieron alturas entre los cuatro y cinco metros. Finalmente, los latizales registran alturas entre un metro e iguales o menores a tres metros, el mayor número de individuos medidos presentaron alturas de dos a tres metros.

Tabla 5. Resumen de número de individuos (N) por tipo de clases, diámetro a la altura de pecho promedio (DBH± DE), altura promedio (H±DE).

Especie	Clase	N	DBH (cm) ± DE	H (m) ± DE
<i>Mauritia flexuosa</i>	Adultos	116	46.08 ± 5.00	17.59 ± 3.69
<i>Mauritia flexuosa</i>	Juveniles	158	-	4.54 ± 1.30
<i>Mauritia flexuosa</i>	Latizales	101	-	2.36 ± 0.52

3.2 Estimación de biomasa área y carbono

Se encontró que el total de biomasa para la parcela de estudio fue de 183.55 Mg/ha y el carbono total generado fue de 91.77 MgC/ha. Las familias Fabaceae y

Arecaceae aportaron con la mayor cantidad de biomasa y carbono, mientras que Myrtaceae, Staphyleaceae, Araliaceae fueron las que menos aportaron al total (Tabla 6).

Tabla 6. Biomasa y Carbono en (Mg/ha) \pm DE calculado por familia para la parcela de estudio.

Familia	Biomasa (Mg/ha) \pm DE	Carbono (MgC/ha) \pm DE
Fabaceae	81.37 \pm 1.08	40.69 \pm 0.54
Arecaceae	75.98 \pm 0.31	37.99 \pm 0.16
Euphorbiaceae	8.71 \pm 0.54	4.36 \pm 0.27
Myristicaceae	8.26 \pm 0.43	4.13 \pm 0.22
indeterminada	3.40 \pm 0.46	1.70 \pm 0.23
Urticaceae	1.82 \pm 0.15	0.91 \pm 0.08
Malvaceae	1.39 \pm 0.44	0.70 \pm 0.22
Clusiaceae	1.09 \pm 0.03	0.54 \pm 0.01
Moraceae	0.50 \pm 0.11	0.25 \pm 0.06
Melastomataceae	0.34 \pm 0.01	0.17 \pm 0.01
Combretaceae	0.25 \pm 0.02	0.12 \pm 0.01
Polygonaceae	0.25 \pm 0.01	0.12 \pm 0.00
Araliaceae	0.08 \pm 0.00	0.04 \pm 0.00
Staphyleaceae	0.07 \pm 0.00	0.04 \pm 0.00
Myrtaceae	0.04 \pm 0.00	0.02 \pm 0.00
Total	183.55 \pm 0.63	91.77 \pm 0.32

En la Figura 3 se observa la contribución por hábito de crecimiento (árbol o palma) al total de la biomasa aérea y el carbono en la parcela. Los árboles contribuyeron con el 58.61% y las palmas con el 41.39% del total de biomasa y carbono almacenado en la parcela. Del porcentaje aportado por palmas, el 38.36% está representado por *M. flexuosa*, siendo el restante 3.03% la contribución de las demás palmas. En términos absolutos de biomasa aérea y carbono almacenado *M. flexuosa* generó 70.42 y 35.21 Mg/ha respectivamente. Las otras palmas contribuyeron con 5.56 Mg/ha de biomasa aérea y 2.78 MgC/ha de carbono almacenado.

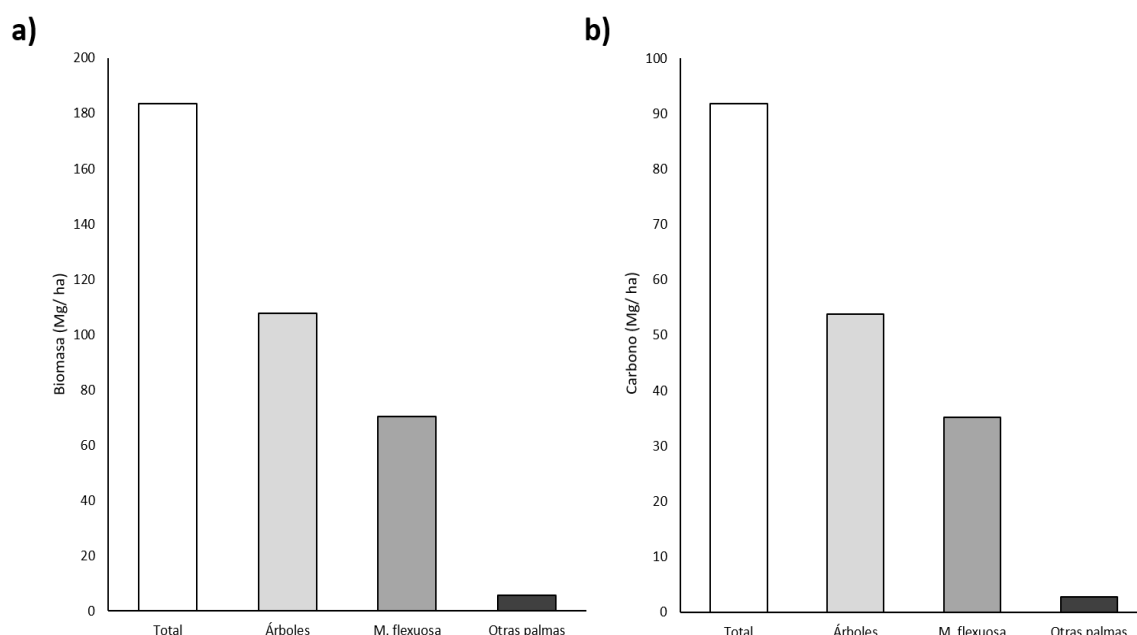


Figura 3. Comparación de biomasa aérea y carbono almacenado en el área de estudio según habito de crecimiento (árboles o palmas). a) Contribución de biomasa aérea (Mg/ha). b) Contribución de carbono (MgC/ha).

La Tabla 7 muestra los coeficientes r , R^2 y RSE de las ecuaciones alométricas consideradas para el cálculo de biomasa aérea en *M. flexuosa*. La ecuación generada por Goodman et al. [59]d donde solo considera como variables la altura de la palma (Tabla 1) fue la que mejor se ajustó en la estimación de biomasa aérea presentando el mayor coeficiente $R^2=0.9982$ y el menor error estándar de estimación $RSE=7.7479$. Mientras que la ecuación propuesta por Álvarez (1993), citado por Yepes et al.[50] que solo considera el diámetro como variable explicativa fue la que más difirió en los valores de ajuste $R^2=0.9774$ y $RSE= 143.7333$.

Tabla 7. Coeficientes r , R^2 y RSE de las ecuaciones alométricas consideradas para el cálculo de biomasa aérea en *M. flexuosa*.

Modelo alométrico	Biomasa aérea (Mg/ha)	Parámetros estimados del modelo de regresión lineal múltiple ajustado				r	R^2	RSE
		Constante (a)	Altura (bx1)	DAP (cx2)	dmf (dx3)			
Goodman et al.[59]d)	70.42	-0.260	0.0450	-	-	0.9991	0.9982	7.7479
Goodman et al.[59]e)	148.97	-2563.109	70.110	57.209	0.000	0.9844	0.9690	62.6689
Álvarez (1993), citado por Yepes et al.[50]	332.66	-5755.608	-	188.211	-	0.9886	0.9774	143.7333

Aplicando las diferentes ecuaciones alométricas (Tabla 1) para el cálculo de la biomasa aérea y carbono en *M. flexuosa*, encontramos que los resultados difieren considerablemente. La Figura 4a muestra como la ecuación específica de Goodman et al.[59]d) aplicada a *M. flexuosa* estimó la menor biomasa aérea en 70.42 Mg/ha, mientras que la ecuación de Goodman et al.[59]e) utilizada para palmas en general permitió estimar la biomasa en 148.97 Mg/ha y la ecuación de Álvarez (1993), citado por Yepes et al.[50] estimó los valores más altos de biomasa aérea de 332.66 Mg/h, teniendo en cuenta que esta última ecuación fue generada para palmas de bosques inundables de la Amazonia. Estas discrepancias repercuten sobre las estimaciones de carbono mostrado en la Figura 4b.

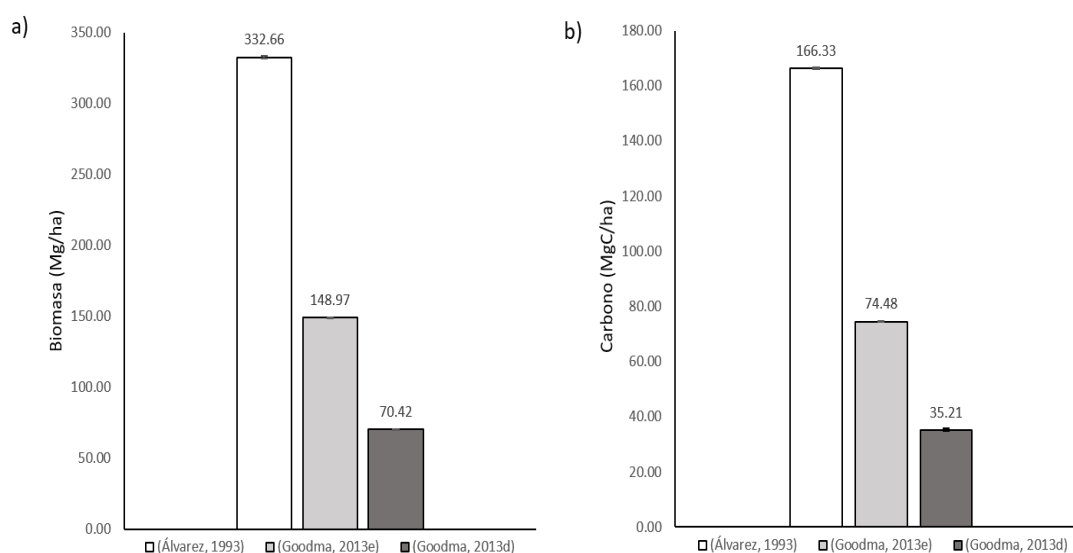


Figura 4. Resultados comparativos de a) Biomasa (Mg/ha) y b) Carbono (Mg/ha) producto de la aplicación de diferentes ecuaciones alométricas. El color de la barra indica la ecuación alométrica utilizada; en blanco Álvarez (1993), citado por Yepes et al. [50] para palmas de bosques inundados, gris Goodman et al. [59]e) para palmas en general y en gris oscuro Goodman et al. [59]d) específica para *M. flexuosa*.

3.3 Cuantificación de dióxido de carbono

La cuantificación de equivalente de CO₂ total secuestrado en la parcela fue de 336.50 Mg/ha, en la Tabla 8 se observan los resultados por familia. La familia Fabaceae fue la que mayor secuestro de carbono resultó con 149.18 eqCO₂ Mg/ha, seguido de la familia Arecaceae con 139.29 eqCO₂ Mg/ha.

Los porcentajes de la estimación de secuestro de carbono en eqCO₂ de *M. flexuosa*, diferenciado de otras palmas y árboles, fue el mismo del carbono. *M. flexuosa* secuestró 129.10 Mg/ha eqCO₂. Las otras palmas contribuyeron con 10.20 Mg/ha y los árboles con 197.21 Mg/ha eqCO₂ respectivamente (Figura 5).

Tabla 8. Equivalente de CO₂ (Mg/ha) ± DE calculado por familia para una parcela de bosque inundable, dominado por *M. flexuosa* en Napo, Ecuador.

Familia	eqCO ₂ (Mg/ha) ± DE
Fabaceae	149.18 ± 1.98
Arecaceae	139.29 ± 0.58
Euphorbiaceae	15.97 ± 1.00
Myristicaceae	15.14 ± 0.80
Indeterminada	6.22 ± 0.85
Urticaceae	3.34 ± 0.28
Malvaceae	2.55 ± 0.81
Clusiaceae	2.00 ± 0.05
Moraceae	0.91 ± 0.21
Melastomataceae	0.62 ± 0.03
Combretaceae	0.45 ± 0.03
Polygonaceae	0.46 ± 0.02
Araliaceae	0.15 ± 0.01
Staphyleaceae	0.13 ± 0.01
Myrtaceae	0.08 ± 0.00
Total	336.50 ± 1.16

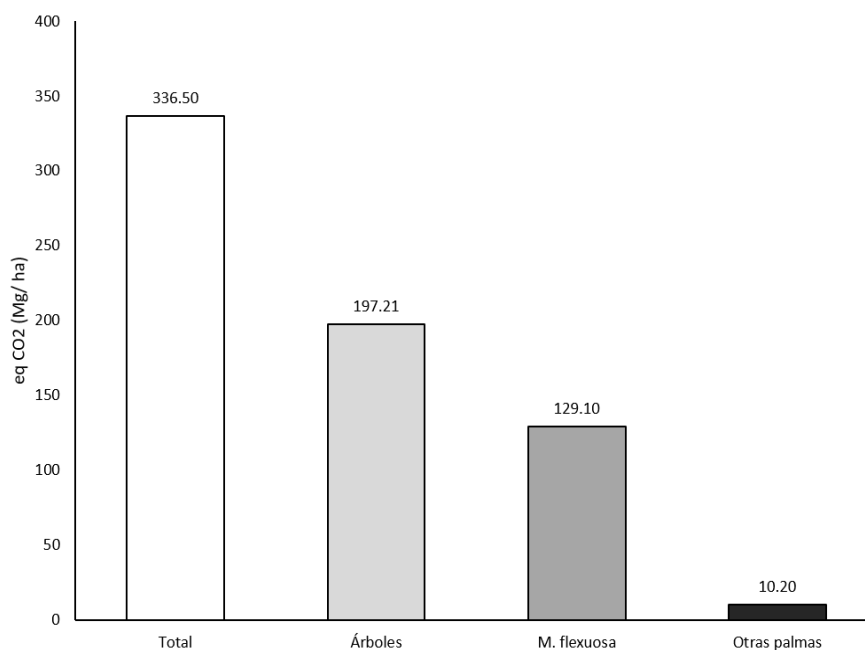


Figura 5. Contribución al total de equivalente de CO₂ secuestrado, estimado (Mg/ha) para la parcela de estudio según el tipo de individuos (árboles o palmas), diferenciando a *M. flexuosa* de otras palmas.

3.4 Dinámica de hojas de *M. flexuosa*

En la Figura 6 se presenta el número total de hojas vivas observadas (HV) por mes en la parcela de estudio a lo largo de un periodo de monitoreo de tres años para cada clase de desarrollo. Las palmas adultas presentaron un mayor número de HV (Figura 6a) respecto a los juveniles y latizales. En promedio durante los tres años de monitoreo una palma adulta presenta 12 HV/individuo/ mes, mientras que para toda la hectárea (116 individuos ≥ 10 cm DAP), el promedio acumulado mensual fue de 1337 HV/ha.

Teniendo en cuenta el número total de HV a lo largo del tiempo de monitoreo se pudo observar que los meses de mayo, junio y julio hubo valores superiores a la media, es decir una leve tendencia a aumentar el número de HV. Mientras que entre los meses de febrero, marzo y abril hubo valores debajo del promedio.

En cuanto a los Juveniles y Latizales (Figura 6a y b) éstos presentaron menor cantidad de HV que los adultos, pero mostraron un comportamiento similar en número de HV. Durante los tres años de monitoreo tanto palmas juveniles como latizales presentaron en promedio cuatro HV/individuo por mes, mientras que para toda la hectárea se registró en promedio para 158 juveniles y 101 latizales monitoreados, 636 y 327 HV/ha por mes, respectivamente.

El comportamiento similar que presentan juveniles y latizales en número de HV, también se evidenció en su variación en el tiempo donde en general el número de HV durante los tres años de monitoreo tuvo una variación promedio constante en ambos estadios. Se pudo observar que los meses donde existe un leve incremento tanto en juveniles como latizales ocurre son mayo y junio mientras entre enero y marzo y julio se registró una leve disminución de HV.

Respecto a los cambios en HV en relación al mes anterior visualizado en la tabla de la Figura 6, para los adultos tiende a ver aumentos, y disminuciones. Las disminuciones se evidencian de forma clara durante los meses de diciembre a febrero del primer año, excepto en ciertos meses donde se mantiene constante el cambio. Si comparamos las tendencias de los juveniles y latizales la variabilidad es similar (alta) pero los cambios que suelen experimentar aumentos o disminuciones con respecto al mes anterior son

pequeños y por tanto hay una tendencia a mantenerse en el promedio de 636 y 327 HV/ha por mes para juveniles y latizales respectivamente.

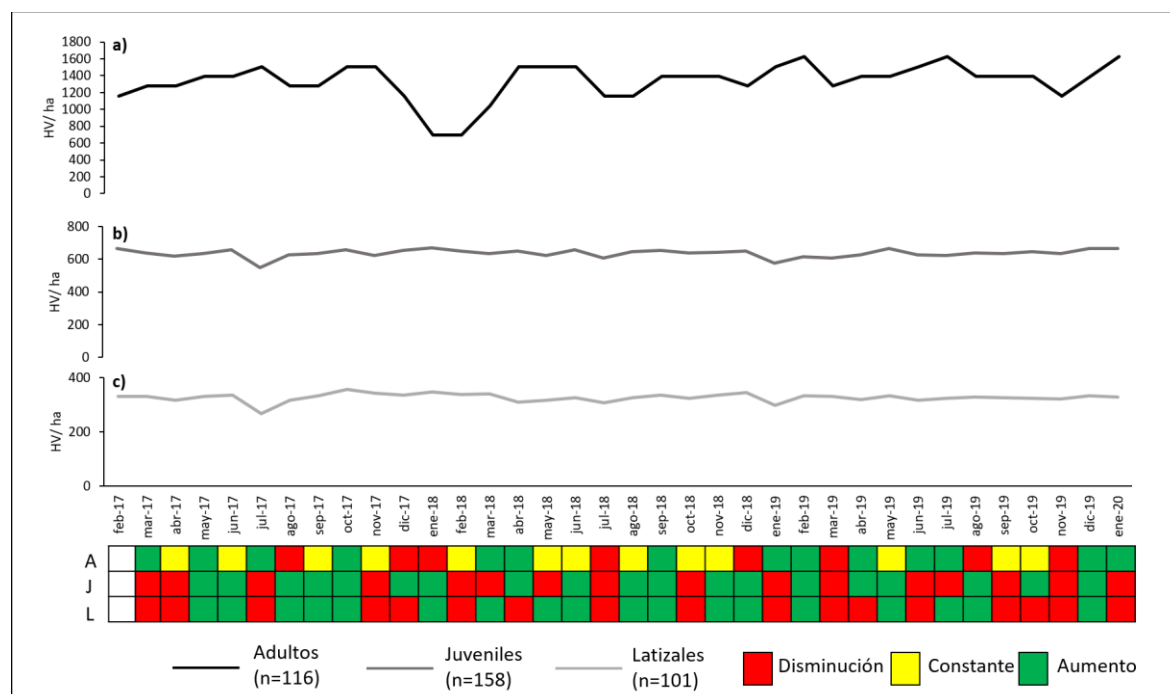


Figura 6. Número de hojas muertas observadas (HV) mensualmente a lo largo de tres años de monitoreo para cada clase de desarrollo: a) Adultos (A), b) Juveniles (B), c) Latizales (C) en una parcela de 1 ha en Napo, Ecuador. Los colores de la tabla indican el cambio con respecto al mes anterior (verde aumento, amarillo constante, rojo disminución).

El número total de hojas muertas observadas (HM) mensualmente se puede observar en la Figura 7 al igual que en el caso de HV, las palmas adultas presentaron un mayor número de HM (Figura 7a) comparado a los juveniles y latizales. En promedio durante los tres años de monitoreo una palma adulta presentó seis HM/individuo por mes, mientras que para toda la hectárea se registró un promedio acumulado por mes de 454 HM/ha en los 116 individuos monitoreados.

Teniendo en cuenta el número total de HM a lo largo del tiempo de monitoreo se pudo observar una alta variabilidad donde ciertos años existe un número mayor de HM que otros, pero no es posible observar una tendencia clara con respecto a los meses por año en los que se observa más o menos HM.

Por su parte los Juveniles y Latizales (Figura 7a y b) presentaron menor cantidad de HM, pero muestran un comportamiento similar. Durante los tres años de monitoreo tanto palmas juveniles como latizales para nuestra área de estudio presentaron en promedio de una HM/individuo por mes, mientras que para toda la hectárea se registró para los 158 juveniles y 101 latizales monitoreados 126 y 55 HM/ha en promedio por mes respectivamente.

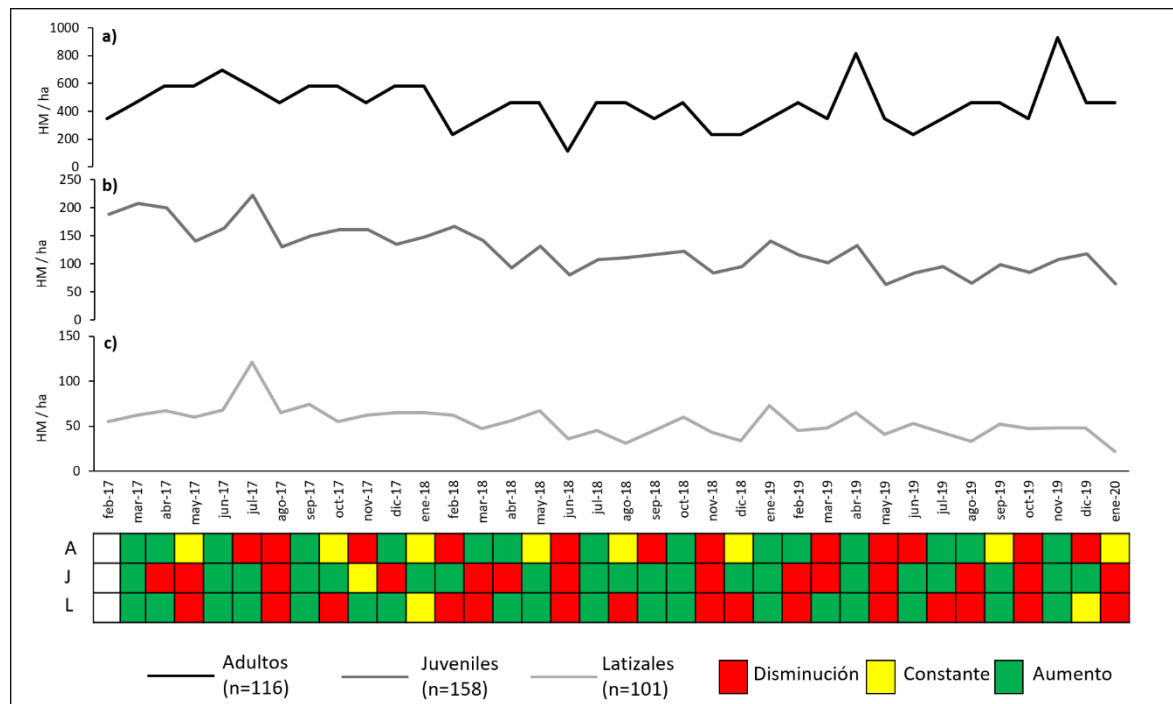


Figura 7. Número de hojas muertas observadas (HM) mensualmente a lo largo de tres años de monitoreo para cada clase de desarrollo: a) Adultos (A), b) Juveniles (B), c) Latizales (C) en una parcela de 1 ha en Napo, Ecuador. Los colores de la tabla indican el cambio con respecto al mes anterior (verde aumento, amarillo constante, rojo disminución).

El comportamiento similar que presentaron juveniles y latizales en número de HM, también se evidenció en su variación en el tiempo, donde en general el número de HM durante los tres años de monitoreo tuvo una variación alta en ambos estadios. Sin embargo, se pudo observar que en los meses del primer año existió un leve incremento en juveniles como latizales con un pico en julio de 2017, respecto a los otros años donde va disminuyendo, evidenciando que el número de HM tiene una leve disminución en los meses de agosto de 2018 y 2019.

Respecto a los cambios en HM respecto al mes anterior visualizado en la tabla de la Figura 7, para los adultos, juveniles y latizales, el aumento y disminución tiene una variabilidad alta con cambios que coinciden en ciertos meses, pero no muestran una tendencia clara si en un mes u otro de cada año existe más o menos HM.

En la Figura 8 se presenta el número total de hojas nuevas (HN) producidas mensualmente en la parcela de estudio a lo largo del periodo de monitoreo de tres años para cada clase. Se estimó HN usando la Ecuación 3.

Las palmas adultas presentaron un mayor número de HN (Figura 8a) respecto a los juveniles y latizales. En promedio durante los tres años de monitoreo una palma adulta presentó una variación de cuatro HN/individuo por mes, mientras que para toda la hectárea se registró un promedio acumulado por mes de 458 HN/ha los 116 individuos marcados.

Teniendo en cuenta el número total de HN a lo largo del tiempo de monitoreo se pudo observar que entre los meses de marzo, abril y mayo de cada año tiende a existir un aumento en el número de HN con valores superiores a la media y una tendencia positiva. Mientras entre los meses de junio y agosto y noviembre y diciembre el HN tendió a disminuir. Sin embargo, considerando que el monitoreo fue apenas de tres años las tendencias encontradas podrían ser no significativas.

Los Juveniles y Latizales (Figura 8a y b) presentaron menor cantidad de HN. Durante los tres años de monitoreo tanto palmas juveniles como latizales para nuestra área de estudio presentaron en promedio una hoja nueva observada por mes, mientras que para toda la hectárea se registró en promedio acumulado por mes de 135 y 63 HN/ha para los 158 juveniles y 101 latizales respectivamente.

Al igual que con las HV y HM en los juveniles y latizales las HN presentaron un comportamiento similar, sin embargo, el aumento o disminución con respecto a la producción de HN es muy variables, siendo mínimo en ciertos años, lo que no permite mostrar una tendencia a más de poder observarse ciertos picos en el mes de agosto 2017, mayo de 2018 y febrero y diciembre de 2019.

Respecto a los cambios en HN respecto al mes anterior visualizado en la tabla de la Figura 8, para los adultos el aumento y disminución son altamente variables, mientras si comparamos las tendencias de los juveniles y latizales la variabilidad es similar (alta) aunque los aumentos y disminuciones que experimenta son leves en ciertos meses, casi constantes.

En la sección de Anexo 1 se puede visualizar el número de HV/ha, HM/ha y HN/ha para cada mes por clase durante los tres años de monitoreo

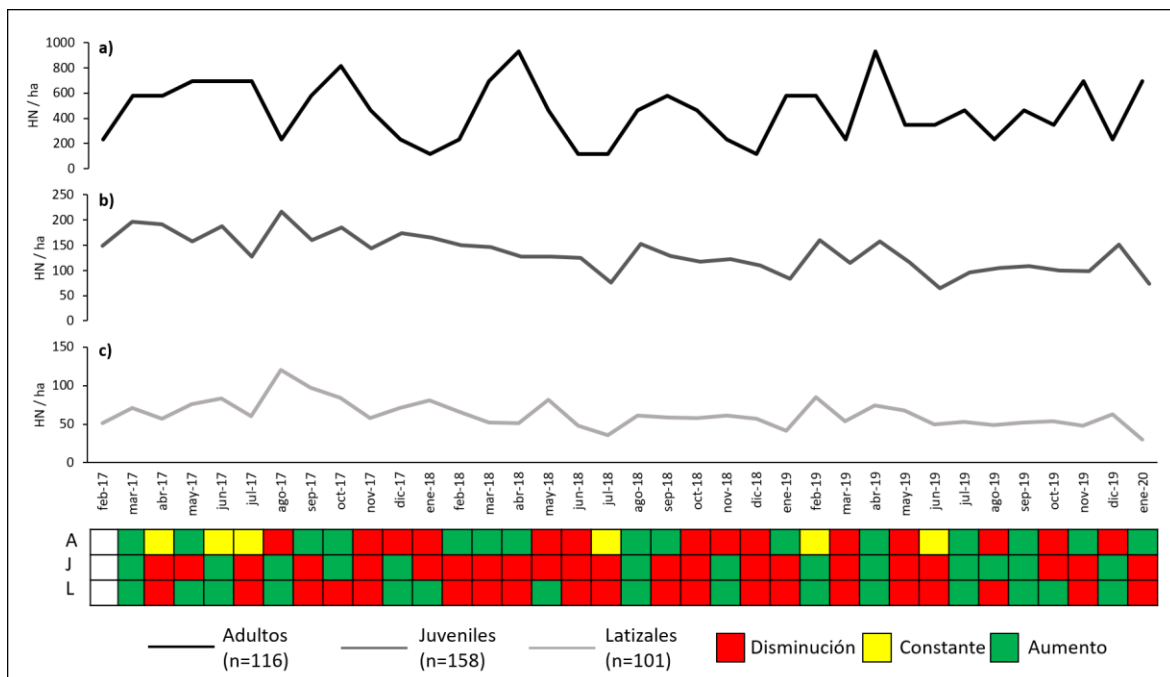


Figura 8. Número de hojas muertas observadas (HN) mensualmente a lo largo de tres años de monitoreo para cada clase de desarrollo: a) Adultos (A), b) Juveniles (B), c) Latizales (C) en una parcela de 1 ha en Napo, Ecuador. Los colores de la tabla indican el cambio con respecto al mes anterior (verde aumento, amarillo constante, rojo disminución).

3.5 Estimación de biomasa y carbono en hojas de *M. flexuosa*

Los resultados de la Tabla 9 se muestran el peso promedio (Ldm), el área foliar y el contenido de agua de las hojas de *M. flexuosa* en los distintos estados de desarrollo.

Tabla 9. Media y desviación estándar de: masa de hojas (Ldm), longitud de peciolo (m), área foliar de la lámina (m²) y contenido total de agua en hojas (kg) para las diferentes clases o estadios de la palma *M. flexuosa*.

Especie	Clase	n	Ldm (kg) ± DE	Lp (m) ± DE	Área foliar (m ²) ± DE	Contenido de agua (kg) ± DE
<i>M. flexuosa</i>	Adultos	5	6.00 ± 2.51	5.25 ± 0.50	6.19 ± 0.86	9.97 ± 3.55
<i>M. flexuosa</i>	Juveniles	14	2.04 ± 1.86	5.99 ± 1.16	2.75 ± 1.61	6.61 ± 2.39
<i>M. flexuosa</i>	Latizales	14	0.45 ± 0.23	3.16 ± 0.42	1.21 ± 0.48	1.3 ± 0.54

Con los resultados del peso en seco de las hojas (Tabla 9) y el promedio de hojas por estado de desarrollo (Sección 3.4), se estimó el contenido de biomasa y carbono contenido en las hojas para todos los individuos monitoreados en la parcela. El resumen de los resultados totales obtenidos se muestra en la Tabla 10.

Los resultados de la Tabla 10, indican que una palma adulta con 12 hojas vivas en promedio, contiene en promedio 0.072 Mg de biomasa. Si se extrapola la información a los 116 individuos adultos encontrados en una hectárea se genera un total de biomasa de 8.40 Mg/ha y 4.20 MgC/ha. En este mismo sentido una palma juvenil con cuatro hojas vivas en promedio genera 0.008 Mg de biomasa, siendo el total de contribución de las 158 juveniles encontrados de 1.35 Mg/ha de biomasa en hojas y 0.67 Mg/ha de carbono en hojas.

Finalmente, un latizal con cuatro hojas vivas en promedio, contiene 0.0018 Mg de biomasa, y para los 101 individuos censados sería un total de biomasa aérea de 0.16 Mg/ha y 0.08 MgC/ha. En cuanto al tallo solo las palmas adultas presentaron desarrollo del mismo y este se estimó previamente utilizando la ecuación de Goodman et al. [59]d en 70.42 Mg/ha de biomasa y 35.21 Mg/ha de carbono almacenado (Sección 3.2).

Tabla 10. Biomasa aérea (Mg/ha) ± DE y carbono (Mg/ha) ± DE estimado para tallo y hojas de los individuos *M. flexuosa*.

Clase	N	Biomasa Tallo (Mg/ha) ± DE	Biomasa Hojas (Mg/ha) ± DE	Biomasa Total (Mg/ha) ± DE	Carbono Tallo (Mg/ha) ± DE	Carbono Hojas (Mg/ha) ± DE	Carbono Total (Mg/ha) ± DE
Adultos	116	70.42 ± 0.18	8.40 ± 0.01	78.82 ± 0.30	35.21 ± 0.09	4.20 ± 0.01	39.41 ± 0.15
Juveniles	158	-	1.35 ± 0.00	1.35 ± 0.00	-	0.67 ± 0.00	0.67 ± 0.00
Latizales	101	-	0.16 ± 0.00	0.16 ± 0.00	-	0.08 ± 0.00	0.08 ± 0.00
Total	375	70.42 ± 0.18	9.91 ± 0.03	80.33 ± 0.27	35.21 ± 0.09	4.95 ± 0.02	40.16 ± 0.13

En total en un moretal las palmas de *M. flexuosa* aportan en biomasa área con 80.33 Mg/ha y 40.16 Mg/ha de carbono. En la Figura 9 se puede observar el aporte en biomasa y por tanto en carbono que realizan las hojas, que no suelen ser consideradas en las estimaciones subestimando el valor real. En total las hojas aportan en 12.34 % de biomasa y carbono con respecto al total. Siendo las hojas adultas las que aportan más con 10.46%, seguido de los juveniles con 1.68% y los latizales de 0.20 %, el restante 87.66% lo aporta los tallos de las palmas adultas.

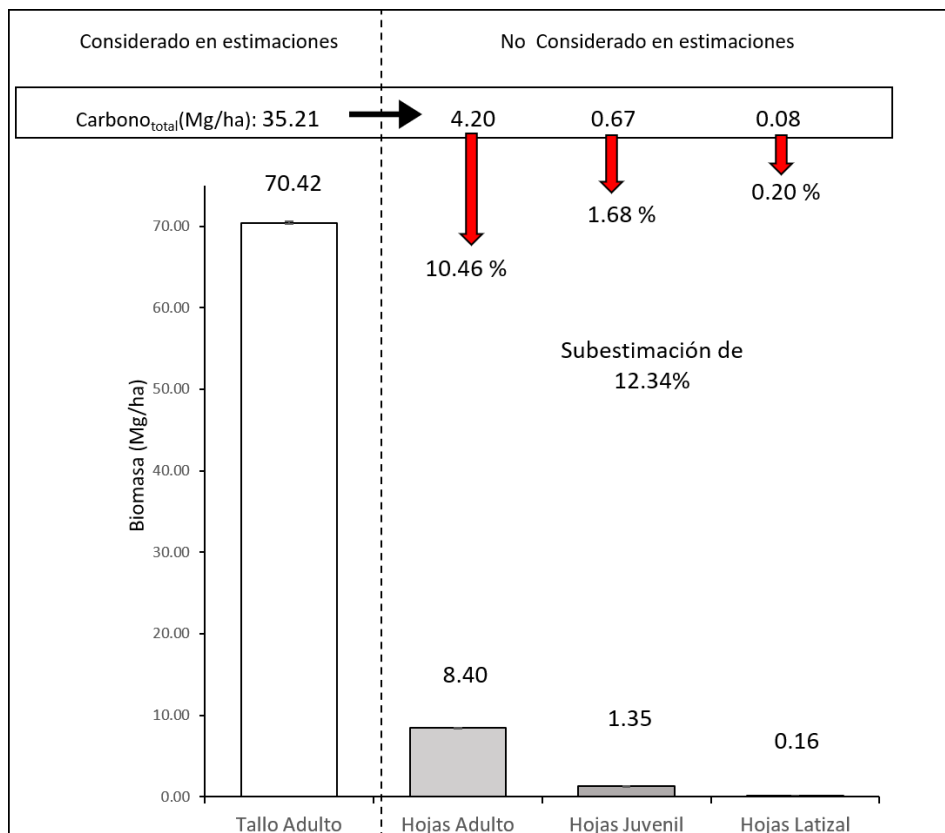


Figura 9. Biomasa aérea y carbono almacenado en (Mg/ha) por componentes generalmente estimados en *M. flexuosa* (tallo) y no consideradas en las estimaciones (hojas adultas, hojas

juveniles, hojas latizales) para la parcela de estudio. Las flechas rojas indican el aporte de las hojas en porcentaje de biomasa y carbono.

3.6 Variaciones interanuales de la biomasa y carbono en hojas de *M. flexuosa*

A partir de la estimación de producción de hojas nuevas (sección 3.4) se encontró la biomasa y carbono que genera anualmente HN. En la *Tabla 11* y *Tabla 12* se presentan los resultados para biomasa y carbono almacenado respectivamente. En general anualmente se produce en promedio por HN 35.14 Mg/ha/año en biomasa y 17.57 Mg/ha/año de carbono. De los tres años de monitoreo el año 2017 fue el que más se acumuló biomasa con 39.03 Mg/ha/año y el que menos fue el 2018 con 30.62 Mg/ha/año. En el mismo sentido ocurrió con el carbono dado que son correspondientes.

Tabla 11. Producción de biomasa anual en Mg/ha/año de hojas nuevas (HN) de *M. flexuosa* en una parcela de 1-ha de bosque inundable en Napo, Ecuador.

Mes	Año				Media
	2017	2018	2019	2020	
Enero	-	1.07	3.67	4.34	3.03
Febrero	1.72	1.73	3.84	-	2.43
Marzo	3.91	4.50	1.65	-	3.35
Abril	3.90	5.85	5.92	-	5.22
Mayo	4.53	3.08	2.36	-	3.32
Junio	4.60	0.97	2.24	-	2.60
Julio	4.46	0.87	3.00	-	2.78
Agosto	1.89	3.12	1.63	-	2.21
Septiembre	3.85	3.77	3.03	-	3.55
Octubre	5.29	3.05	2.32	-	3.55
Noviembre	3.10	1.67	4.40	-	3.06
Diciembre	1.78	0.95	1.73	-	1.48
Biomasa Total de HN	39.03	30.62	35.79	4.34	35.14

Tabla 12. Carbono anual almacenado en Mg/ha de hojas nuevas (HN) de *M. flexuosa* en una parcela de 1-ha de bosque inundable en Napo, Ecuador.

Mes	Año				Media
	2017	2018	2019	2020	
Enero	-	0.53	1.83	2.17	1.51288
Febrero	0.86	0.86	1.92	-	1.21521
Marzo	1.96	2.25	0.83	-	1.68
Abril	1.95	2.93	2.96	-	2.61217
Mayo	2.27	1.54	1.18	-	1.66129
Junio	2.30	0.49	1.12	-	1.30176
Julio	2.23	0.43	1.50	-	1.38918
Agosto	0.94	1.56	0.81	-	1.10607
Septiembre	1.93	1.88	1.51	-	1.77458
Octubre	2.64	1.52	1.16	-	1.77538
Noviembre	1.55	0.83	2.20	-	1.52829
Diciembre	0.89	0.47	0.86	-	0.74
Carbono Total de HN	19.51	15.31	17.89	2.17	17.57

3.7 Condiciones climáticas y relaciones con dinámica de hojas de *M. flexuosa*

En forma general los resultados de las correlaciones entre las variables de clima y la dinámica de hojas fueron débiles a moderadas (Tabla 3). Las variables que presentaron los mejores coeficientes fueron temperatura promedio, temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación. Estas correlaciones mejoraron en cierta medida cuando se implementó un tiempo de retardo como se muestra más adelante.

De la Figura 10 a la Figura 13 muestran los resultados de las correlaciones cruzadas entre los resultados de dinámica de hojas (hojas vivas, hojas muertas y hojas nuevas) como variable dependiente y los resultados de clima (precipitación mensual, temperatura promedio, temperatura máxima, temperatura mínima) como variables independientes en correlogramas. Los resultados de las demás variables se encuentran en el Anexo 2.

Tabla 13. Resultados de coeficientes de correlaciones de Spearman entre clima y dinámica de hojas de *M. flexuosa* en una parcela de 1-ha de bosque inundable de Napo, Ecuador. En negrita correlaciones significativas ($p < 0.05$).

Clase	Precipitación	Temperatura promedio	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Humedad relativa media	Humedad relativa máxima	Humedad relativa mínima	Radiación global media	Radiación global máxima	Radiación global mínima
HV-Latizales	-0.12	0.44	0.43	0.44	-0.09	-0.11	-0.11	0.19	0.21	0.18
HV-Juveniles	0.00	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.07	0.05	0.07	0.04
HV-Adultos	0.09	-0.08	-0.08	-0.08	0.14	0.13	0.15	-0.24	-0.23	-0.25
HM-Latizales	0.28	0.21	0.22	0.21	-0.10	-0.10	-0.11	0.20	0.18	0.20
HM-Juveniles	0.04	0.26	0.26	0.26	-0.16	-0.15	-0.17	0.26	0.25	0.27
HM-Adultos	0.14	0.24	0.24	0.24	-0.24	-0.22	-0.26	0.38	0.39	0.37
HN-Latizales	0.23	0.32	0.33	0.32	-0.15	-0.16	-0.16	0.21	0.19	0.21
HN-Juveniles	0.14	0.30	0.30	0.30	-0.13	-0.12	-0.14	0.31	0.31	0.33
HN-Adultos	0.10	0.28	0.29	0.28	-0.13	-0.10	-0.12	0.21	0.20	0.20

No hubo correlaciones significativas entre precipitación y la dinámica de hojas mediante correlación cruzada, Figura 10. Sin embargo, se puede ver que los valores de correlación fueron mejores después de dos a cuatro meses de retardo. De forma particular la mejor correlación se encontró con las hojas vivas de los latizales (0.32), para las hojas muertas de adultos (-0.27) y con las hojas nuevas de adultos una correlación significativa (-0.39). De forma general la relación es directa y tiende a cambiar en el mes cuarto de retardo.

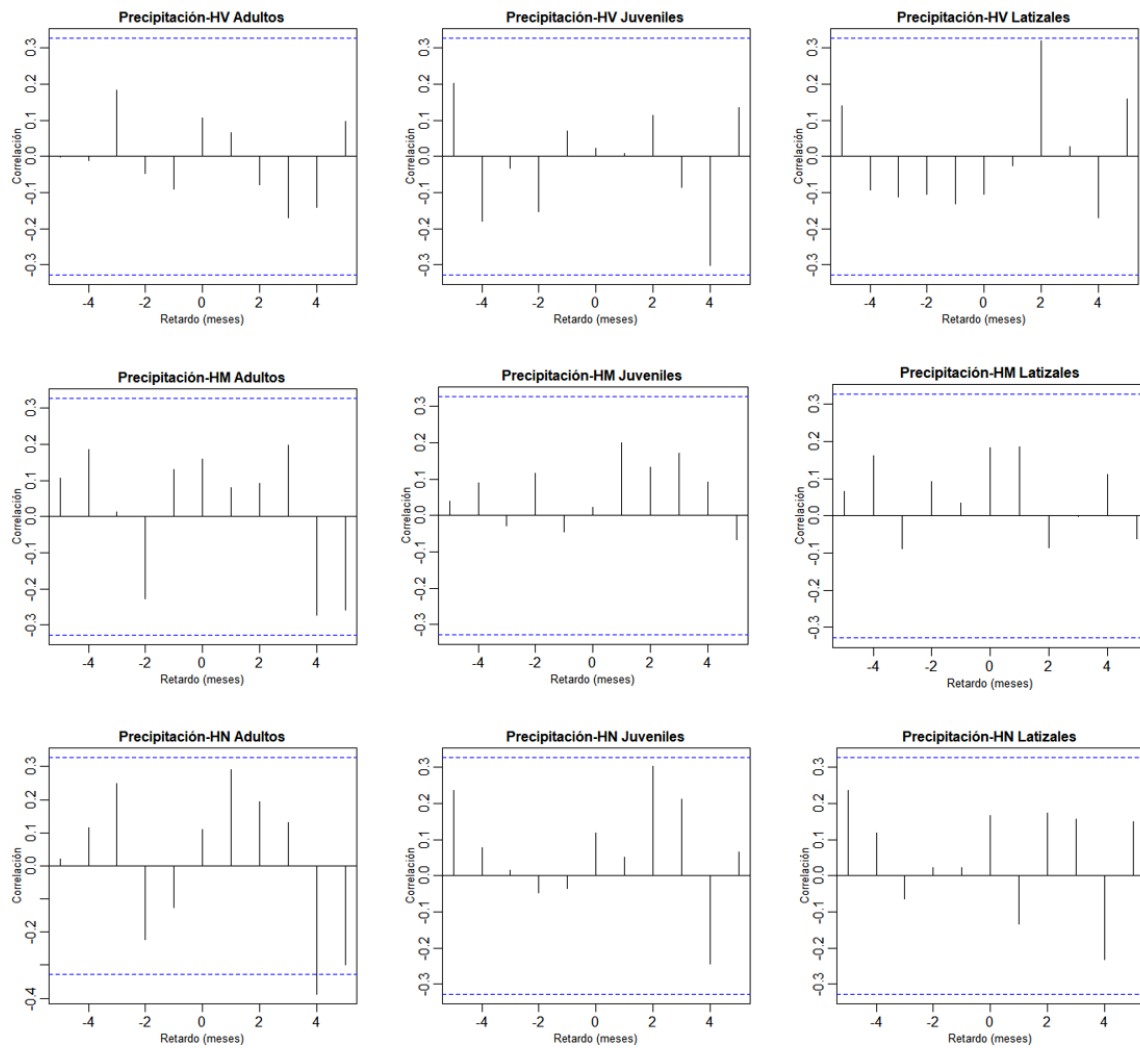


Figura 10. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre precipitación mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$)

En cuanto a los resultados de las correlaciones entre temperatura promedio y la dinámica de hojas mediante correlación cruzada, podemos observar en la Figura 11 que existe una correlación significativa entre temperatura media y HV adultos de 0.52 desplazado cinco meses, así como con HV latizales de 0.50 en el valor central. También se observa una relación significativa entre temperatura media y HN en latizales en el valor central de 0.50 En los demás estadios las correlaciones son moderadas y no significativas.

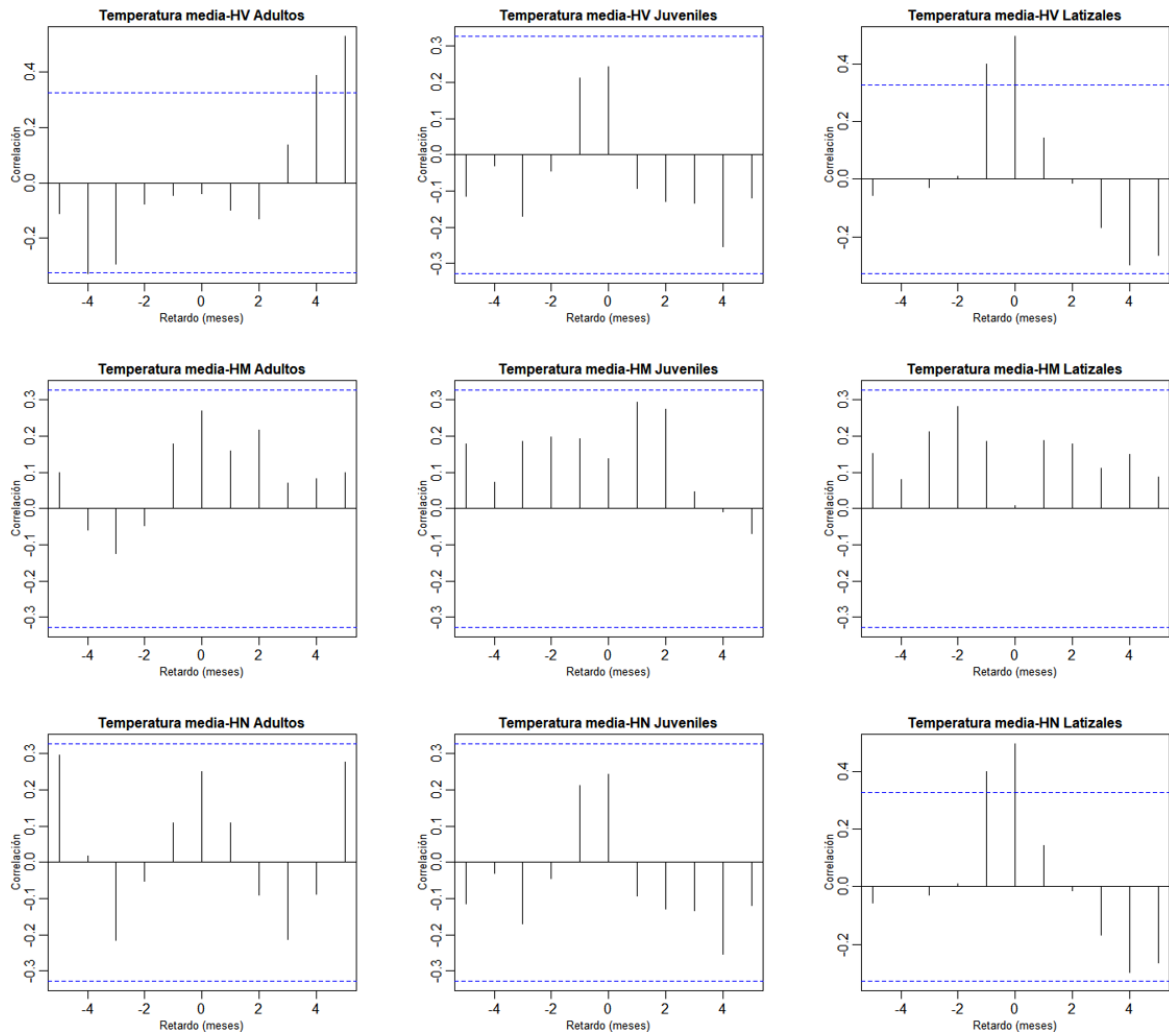


Figura 11. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre temperatura media mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$)

Por su parte las correlaciones entre temperatura máxima y la dinámica de hojas mediante correlación cruzada, podemos observar en la Figura 12 que existe una correlación significativa entre temperatura máxima y HV adultos de 0.53 desplazado cinco meses, así como con HV latizales de 0.50 en el valor central. También se observa una significativa entre temperatura máxima y HN en juveniles en el valor central de 0.33. En los demás estadios las correlaciones son moderadas y no significativas y tienden a mejorar con un retardo de dos meses.

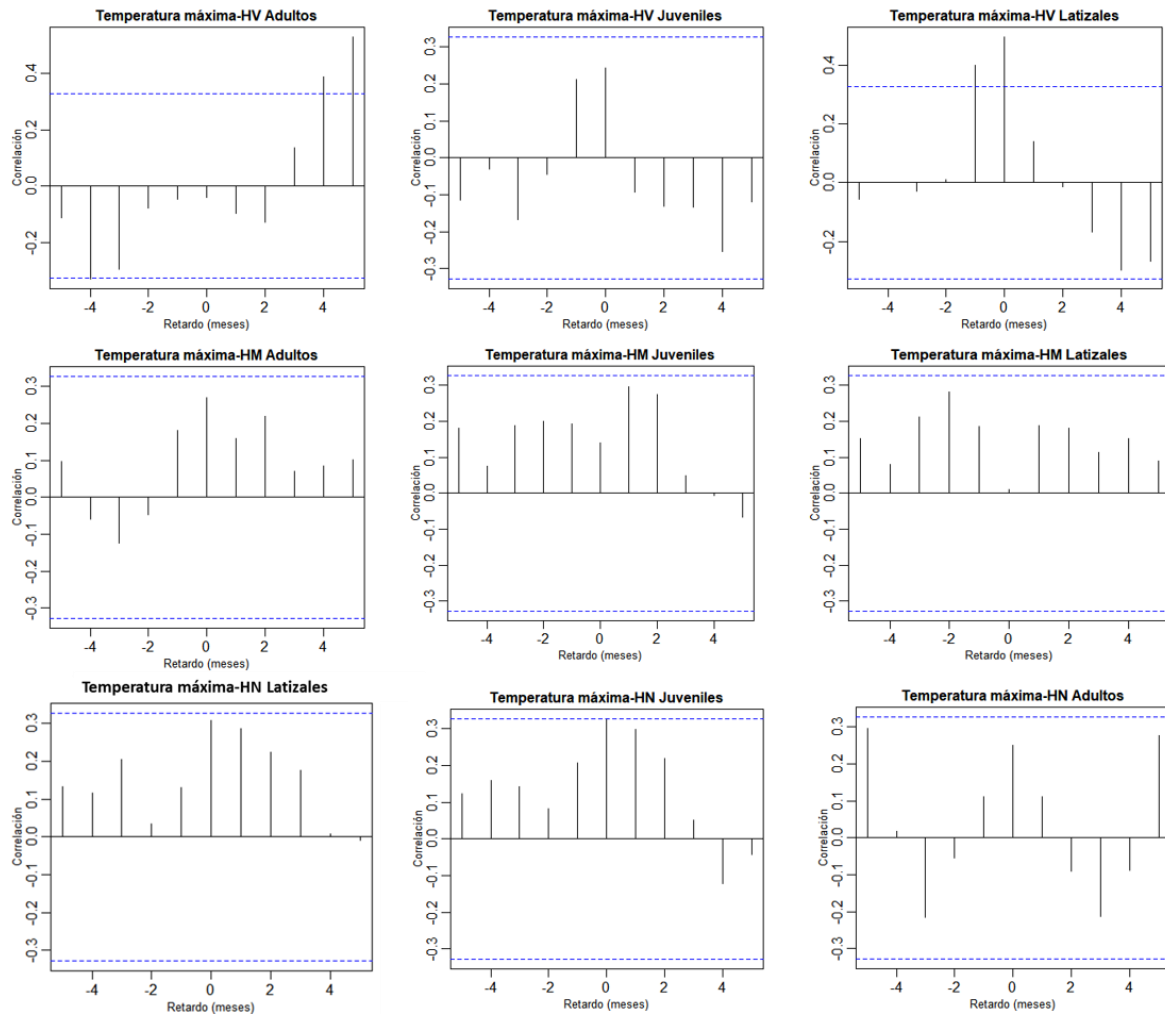


Figura 12. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Temperatura máxima mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$).

Las correlaciones entre temperatura mínima y la dinámica de hojas mediante correlación cruzada, dieron como resultado la Figura 13. Existe una correlación significativa entre temperatura mínima de 0.53 en el 5to mes y de 0.50 en el valor central para HV-adultas y HV-Latizales respectivamente. En los demás estadios las correlaciones son moderadas y no significativas.

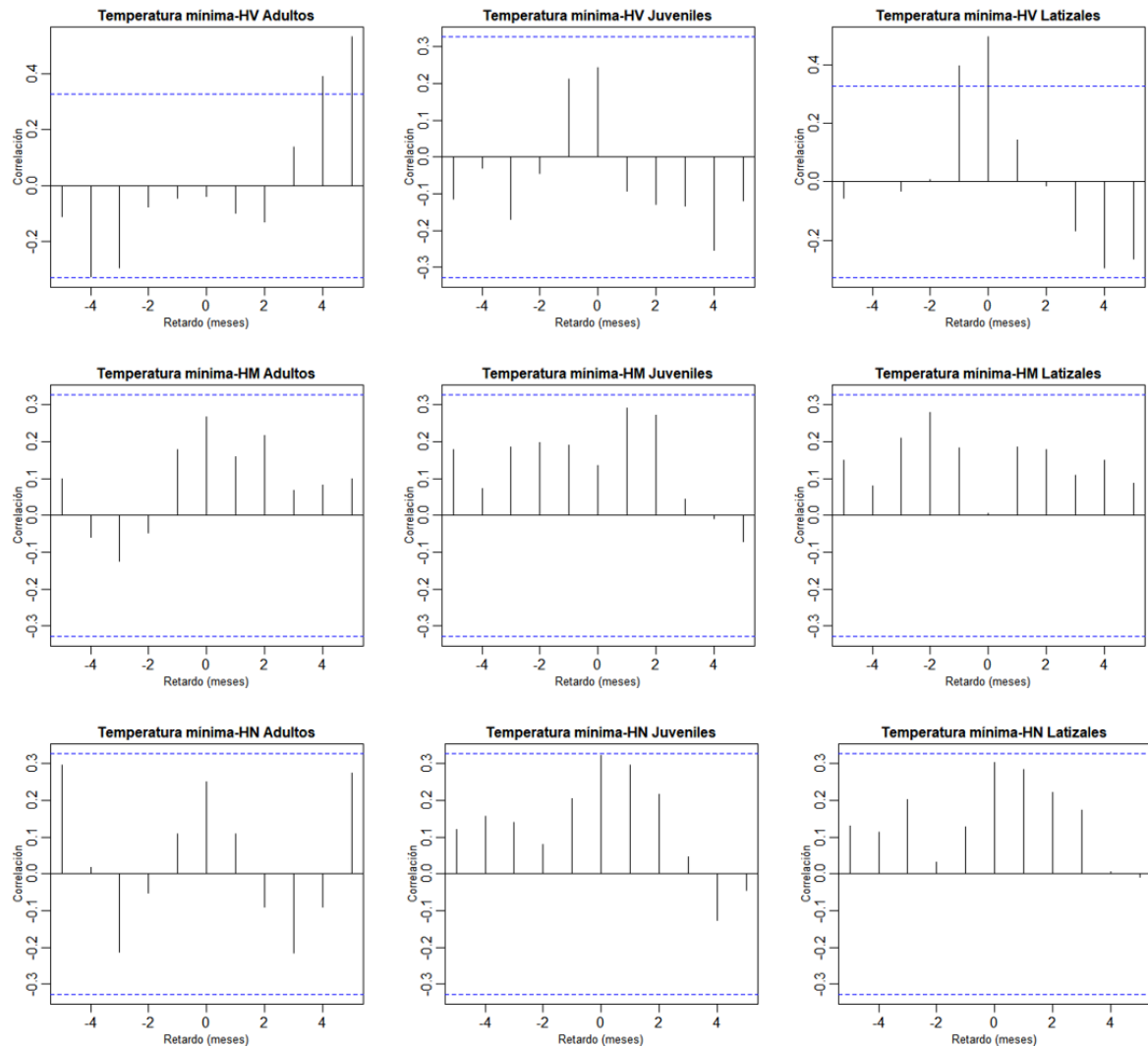


Figura 13. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Temperatura mínima mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$)

En cuanto al nivel de agua superficial la Figura 14 muestra los resultados del monitoreo de 10 meses (jun-2020 a mar-2021). Se observa una correlación entre la precipitación y las variaciones del nivel a paso diario. En promedio el nivel de la lámina superficial de agua fue de 45.48 cm, donde el nivel mínimo se presentó durante el mes de septiembre con 36.86 cm con una precipitación de 0.37 mm y el nivel máximo se registró a inicios del mes de diciembre con un valor de 53.52 cm producto de una precipitación de 13.04 mm. Durante los 10 meses de monitoreo la diferencia de nivel de la lámina de agua entre la máxima y mínima fue de 16.66 cm.

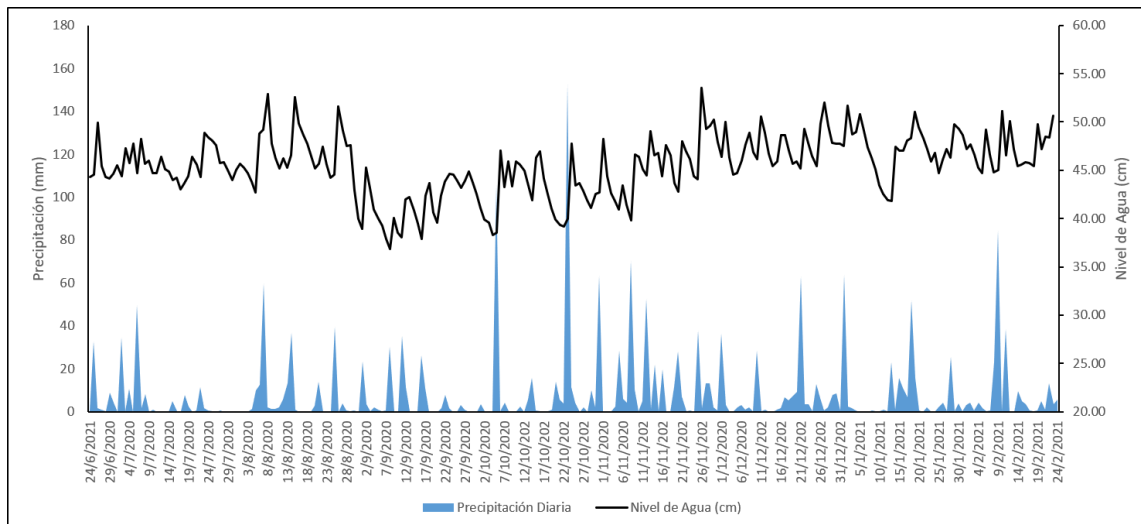


Figura 14. Precipitación diaria y nivel de agua superficial promedio diario en el periodo de junio de 2020 a marzo de 2021.

CAPÍTULO IV: INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permiten responder a las diferentes preguntas de investigación e hipótesis planteadas, a la vez de contribuir con información sobre el carbono almacenado en biomasa aérea por un ecosistema de moretal y en especial evaluar la participación en la dinámica de carbono de la especie *M. flexuosa*. Conocimiento que puede ser importante al momento de reducir la incertidumbre sobre el rol de especies de este tipo en el ciclo y balance global del carbono [82], permitiendo mejorar la información disponible para la implementación de proyectos de restauración o Reducción de Emisiones por Deforestación y/o Degradación de los bosques-REDD [77].

En este sentido la primera hipótesis que hace referencia a la capacidad de *M. flexuosa* de capturar una cantidad mayor o igual al 5% del total de carbono almacenado en biomasa aérea en una hectárea de moretal monitoreado, se puede aceptar porque nuestros resultados indican que, del total de biomasa y carbono almacenado en nuestra parcela de estudio, el 38.36% está representado por *M. flexuosa* superando ese 5% encontrado en estudios como los de Sousa et al.[34]. En términos absolutos *M. flexuosa* generó 70.42 y 35.21 Mg/ha de biomasa aérea y el carbono almacenado respectivamente. Estos resultados implican que *M. flexuosa* es una palma importante en

la captura de carbono dentro del ecosistemas de moretal y por tanto se debe proporcionar un valor de secuestro de carbono adecuado.

La estimación de la biomasa en este estudio se estimó usando ecuaciones alométricas construidas por otros autores bajo condiciones diferentes, como sustrato, clima y topografía, resultando como una limitante de este estudio. Lo óptimo sería generar propias ecuaciones alométricas con base a los ecosistemas más representativos de nuestro país que permita disminuir el error y comprender mejor cuanto esta generado de biomasa y por ende de carbono ante la limitada información a nivel regional y local del Ecuador.

Ahora bien, si observamos nuestros resultado totales de biomasa de 183.55 Mg/ha y en términos de captura de carbono de 91.77 MgC/ha para el moretal, difieren levemente a los encontrados por otros autores (Tabla 14) como Freitas et al. [83], Honorio Coronado et al.[84] y Hergoualch'h et al. [85]. Se Puede observar, por ejemplo que si analizamos en términos absolutos los resultados de Hergoualch'h et al. [85] con 580 indiv./ha presenta 224 Mg/ha de biomasa y 108 MgC/ha en comparación con nuestros resultados donde teniendo 440 indiv./ha los valores de biomasa y carbono antes presentados son menores. Esto mismo ocurre si hacemos la comparación con Freitas et al. [83] y Honorio Coronado et al.[84] (Tabla 14).

Sin embargo, cuando analizamos nuestros datos medidos de biomasa y carbono por cada 100 individuos encontrados en el moretal la situación se vuelve inversa y nuestros resultados exhiben una mayor captura de biomasa y carbono de 41.72 Mg/ha y 20.86 respectivamente, en comparación a lo encontrado por los demás estudios (Tabla 14). Lo mismo ocurre si el análisis lo centramos alrededor de los individuos de *M. flexuosa* (Anexo 2), donde en el moretal de estudio *M. flexuosa* resulta dominante con 116 individuos adultos por hectárea y aporta por cada 100 indiv./ha la cantidad de 67.94 Mg/ha de biomasa y 33.97 MgC/ha respectivamente. Resultados mayores a los obtenidos por Freitas et al. [83] con 63.87 Mg/ha de biomasa y 40.16 MgC/ha y Honorio Coronado et al.[84] con 37.65 Mg/ha de biomasa y un estimado de carbono de 18.83 Mg/ha por cada 100 individuos.

Tabla 14. Biomasa aérea total Mg/ha y Carbono en MgC/ha según diferentes autores para ecosistemas de moretales en la Amazonia.

Lugar	Elevación (m s.n.m)	Geomorfología o tipo de moretal	# de indiv./ha	Biomasa total (Mg/ha)	Biomasa por cada 100 indiv. (Mg/ha)	Carbono (MgC/ha)	Carbono por cada 100 indiv. (MgC/ha)	Fuente
Misahuallí, Napo-Ecuador	400	Plano de inundación	440	183.55	41,72	91.77	20.86	Este estudio
Reserva Nacional Pacaya-Perú	210	Llanura aluvial/moretal denso	519	215.1	41.45	95.27	18.36	Freitas et al. [83]
Loreto-Perú	130	Llanura aluvial	580	224	38.62	108	18.62	Hergoualch'h et al. [85]
Jenaro herrera, Loreto-Perú	110	Llanura aluvial	522	196.6	37.66	-	-	Honorio Coronado et al.[84]

Las diferencias entre los valores encontrados tanto en la (Tabla 14) como en (Anexo 2) correspondiente a *M. flexuosa*, puede ser resultado de las diferentes metodologías usadas para estimar biomasa y carbono, el nivel de perturbación o degradación del ecosistema y la composición florísticas. En el primer caso las metodologías empleadas actualmente para estimar tanto biomasa como carbono presentan limitantes, como la dificultad de implementar mediciones directas obligando a emplear los modelos alométricos como las mejores herramientas de estimación [50]. Sin embargo, estos modelos en muchas ocasiones omiten las dinámicas y formas en las que especies y ecosistemas participan en la realidad del ciclo del carbono subestimando o sobrestimando los resultados de biomasa [82].

El anterior punto se conecta con la siguiente causa, entendiendo que el nivel de perturbación o degradación del ecosistema influye en la dinámica del ecosistema, ya sea por el uso del suelo o fenómenos como el efecto de borde y la fragmentación de los bosques [86]. Por ejemplo nuestra área de estudio se ha visto afectada por un acelerado cambio del uso del suelo producto de la deforestación, donde se ha visto una transformación del ecosistema nativo para dar paso a pastizales y formas de cultivo

poco sostenibles como cultivo de arroz o la apertura de vías [87]. Cambios que no solo hoy en día, sino a futuro pueden afectar drásticamente la capacidad que tienen los moretales para secuestrar y acumular carbono debido a la disminución poblacional de *M. flexuosa*.

En cuanto a la composición florísticas, los estudios de Freitas et al. [83], Honorio Coronado et al.[84] y Hergoualch'h et al. [85] resalta como un hecho clave en la variación de biomasa, la dominancia de *M. flexuosa* en el caso de los ecosistemas de moretal. La dominancia de *M. flexuosa* frente a otro tipo de plantas se cree que es gracias a su capacidad de adaptarse a condiciones específicas de gradientes ambientales como la geomorfología, condiciones climáticas o disponibilidad de nutrientes en el suelo [12,88]. Por ejemplo, se ha evidenciado que *M. flexuosa* es una especie dominante en suelos mal drenados, esta dominancia disminuye a medida que mejora el drenaje permitiendo la aparición de otras especies. Los estadios de sucesión natural en *M. flexuosa* pueden verse afectados con la aparición de nuevas especies. Al cambiar la estructura de la vegetación la tasa de acumulación de biomasa y captura de carbono en el ecosistema, sobre todo en planicies de inundación tiende a disminuir [89].

Entender la dominancia de *M. flexuosa* es importante cuando se observa su abundancia a nivel de la cuenca amazónica [27]. Como especie clave de los moretales, donde al estar dominados por palmas como *M. flexuosa* su diversidad es baja en comparación con otros bosques amazónicos [84,90]. Por ello resulta importante conocer cuánto está aportando las palmas de *M. flexuosa* en términos de biomasa en este tipo de ecosistemas, dado que su no inclusión en las estimaciones de biomasa o realizarlo aplicando ecuaciones no ajustadas a estas especies estarían sub- o sobreestimando su aporte en la captura de carbono [63].

En cuanto a la segunda hipótesis referente a si el carbono almacenado en biomasa aérea por *M. flexuosa* calculado con modelos alométricos provoca una subestimación de al menos 5% al no considerar la producción de hojas es aceptada. Nuestros resultados muestran que las hojas capturan el 12.34% del total de biomasa área y carbono estimado para todos los individuos de *M. flexuosa* de nuestra área de estudio que fue de 80.33 Mg/ha y 40.16 MgC/ha respectivamente. Este porcentaje es elevado y muestra la

importancia de incluir las hojas de las palmas junto a los modelos alométricos usados o a las metodologías estándares como el de recolección de hojarasca [59,60]. Lo que implica que las hojas de palmas hasta la actualidad sigan siendo considerado como un término faltante [49] y sin lugar a duda evidencia que las estimaciones de biomasa en palmas aún tienen grandes incertidumbres [63], y se requiere de mejorar las metodologías para incluir este tipo de componentes entorno a su capacidad de capturar biomasa y por ende en la productividad primaria neta (PPN).

En cuanto a la dinámica de hojas según el crecimiento de la palma *M. flexuosa* vimos que en los primeros estados de desarrollo, latizal y juvenil se forman y mueren constantemente, contribuyendo a la dinámica del carbono [25,28,91]. Sin embargo, aún no existen ecuaciones alométricas que permitan estimar su aporte en biomasa. Nuestros resultados sugieren que el promedio de hojas vivas en un individuo adultos es de 12 hojas, mientras los juveniles y latizales fue de cuatro hojas respectivamente. Estudios previos sobre hojas de *M. flexuosa* han descrito que la producción anual de hojas nuevas en una palma adulta es de tres, tardando al menos cuatro meses para producir una hoja [91–93], este dato varía con el resultado obtenido en este estudio donde determinamos que la producción mensual de hojas nuevas en palmas adultas fue de cuatro hojas y una hoja en el caso de juveniles y latizales.

Esta diferencia puede deberse a la metodología en la toma de datos y tratamiento, ya que el control de número de hojas se hizo realizando visitas mensuales, pero no existió un marcaje adecuado o una cosecha de las hojas como se lo ha hecho en un estudio similar realizado por Isaza et al. [92] debido a las dificultades que presentaba en campo. Esto último se debía realizar con el objetivo de no confundir las hojas nuevas y muertas en los monitoreos de cada mes y repetir los valores en el conteo de hojas. Por ello nuestros resultados están solo con base a lo observando (número de hojas vivas y muertas) presentes cada mes sin diferenciar adecuadamente. La diferencia también pudo ser ocasionada por utilizar la ecuación para el cálculo de hojas nuevas que fue tomada a partir de análisis de senescencia de hojas de plantas [79,80] y adaptada a los datos observados disponibles durante el monitoreo, lo que puede generar cierta incertidumbre. En todo caso es posible pensar que una palma produzca una hoja cada cuatro meses [91], pero a nivel de parcela para el total de individuos la producción de

hojas es continua y no todas las palmas produzcan hojas a la vez. Por tanto, era de esperarse que nuestros valores promedios arrojen los valores promedios de cuatro hojas para adultos y una hoja en el caso de juveniles y latizales.

Sin embargo, hay que destacar que al conocer cuantas hojas vivas hay, cuantas están muertas y cuantas nuevas se generan nos permite entender el flujo de carbono dentro del moretal, donde las hojas podrían aportar de forma considerable en la PPN [41,42,94]. Esto se evidencia en nuestros resultados anuales donde a partir de HN obtuvimos 39.03 Mg/ha de biomasa el primer año, 30.62 Mg/ha el segundo año y 35.79 Mg/ha el tercer año.

Por otro lado, el no tomar en cuenta las hojas genera una incertidumbre en los cálculos de biomasa para palmas, sino también el usar uno u otro modelo alométrico. Las estimaciones de biomasa para *M. flexuosa*, mismos que nacen del uso de tres ecuaciones diferentes generadas para palmas (Tabla 1) exhibieron diferencias significativas entre sí, con resultados de 322.66, 148.97 y 70.42 Mg/ha respectivamente (Figura 4). Las diferencias se deben por las variables usadas por los modelos alométricos, ya que de ellos dependen la estimación adecuada de la biomasa [50,52]. En el caso de la ecuación de Álvarez (1993), citado por Yepes et al. [50] que fue la que más estimación de biomasa dio con un valor de 322.66 Mg/ha utiliza las mediciones de diámetro de las palmas para hacer las estimaciones de biomasa aérea. Mientras que de las ecuaciones propuestas por Goodman et al. [59], la ecuación que utilizó el diámetro, altura y fracción de masa seca (dfm) generó un valor más alto de 148.97 Mg/ha en comparación con los 70.42 Mg/ha de biomasa aérea que estima la ecuación específica para *M. flexuosa*, donde solo se estima utilizando la altura de la palma.

Dado que anatómica y fisiológicamente para *M. flexuosa* no existe un crecimiento secundario del tallo, tampoco existe una relación directa entre altura y diámetro, siendo esta la principal diferencia entre las tres ecuaciones alométricas y por tanto la relación entre el diámetro y la altura no son predictores equivalentes para estimar la biomasa como ocurre en el caso de los árboles [59,95]. Por esto la ecuación alométrica basada en altura empleada por Goodman et al. [59] resulta ser la mejor para estimar la biomasa de *M. flexuosa*. A menudo se realiza la comparación de modelos, donde los mejores o

ideales son los que reflejan el menor valor de RSE y mayor R^2 ajustado a los datos observados [53], en nuestro caso esto se cumple con la ecuación específica de Goodman et al.[59] para *M. flexuosa* (Tabla 1), con valores de RSE= 7.74 y $R^2=0.99$ (Tabla 7).

Finalmente, la última hipótesis sobre si existe de una correlación significativa entre la tasa de renovación de hojas y el nivel freático y otras variables climáticas como la precipitación, temperatura, humedad y radiación fue rechazada. Mientras menor sea la disponibilidad de agua en suelos normalmente saturados y mayor el aumento de la temperatura significara una mayor mortalidad y menores tasas de renovación de hojas con la consiguiente pérdida de biomasa. Los resultados no mostraron correlaciones significativas entre las variables climáticas y la dinámica de hojas a acepción de la precipitación mensual, temperatura promedio, temperatura máxima, temperatura mínima y HN-Latizales y temperatura promedio, temperatura máxima, temperatura mínima y HV-Latizales (Tabla 13).

Sin embargo, el análisis en el tiempo a través de correlaciones cruzadas con un de lag=5 meses mejoro estos los valores, mostrando que la dinámica de las hojas está en algo ligado a las condiciones hidrometereológicas, es decir variabilidad climática y la disponibilidad de agua. Por ejemplo, los resultados de las correlaciones entre temperatura promedio y la dinámica de hojas mediante correlación cruzada (Figura 11) mostraron que existe una correlación significativa entre temperatura media y HV adultos de 0.52 desplazado cinco meses, así como con HV latizales de 0.50 en el valor central. También se observa una relación significativa entre temperatura media y HN en latizales en el valor central de 0.50 En los demás estadios las correlaciones son moderadas y no significativas.

Estos resultados tienen poca consistencia con los resultados encontrados por Urrego et al. [66], donde componentes como las hojas se han correlacionado con la precipitación, niveles de inundación y temperatura. Creemos que tener correlaciones no significantes se debe a el uso de datos meteorológicos proporcionados por la estación más cercana Ikiam M5147, que no representan la realidad de la variación climática en el área de estudio y que efectivamente las condiciones de variabilidad del clima sobre la parcela de estudio no tienen suficiente amplitud como para inducir cambios en la

dinámica de las hojas, la cual presenta una relativa estabilidad al producir promedios de cuatro hojas para adultos y una hoja en el caso de juveniles y latizales. Pese a que se ha visto en bosques tropicales similares con respecto a la hojarasca una fuerte correlación con la precipitación y las condiciones de nutrientes del suelo [10,11]. Una parte importante que este estudio no abarca es determinar la cantidad de carbono capturada por debajo del suelo que puede representar hasta 70% más carbono que la parte aérea, debido en parte a las condiciones de anegamiento que favorecen la descomposición lenta de la materia orgánica generarse una superficie anóxica [25,96].

Por su parte, encontramos que hay una disponibilidad de agua constante todo el año donde existe una variación de nivel del agua superficial o freático medido de 48.45 cm sobre el nivel del suelo, en la zona más profunda de la parcela. Esto es debido a los suelos y el mal drenaje de los mismos [25], sumado a que la región no presenta una estacionalidad definida en las precipitaciones por lo que siempre hay exceso hídrico y las tasas de evapotranspiración no superarían las de precipitación [87], facilitando la acumulación de agua durante todo el año. Sousa et al. [34] indican que los bosques como los de palmas que crecen sobre capas freáticas poco profundas, serían más resistentes a las sequías por tener una disponibilidad de agua ininterrumpida. La retención de agua denominada efecto memoria del suelo reduce los efectos negativos que tienen las sequías extremas sobre la vegetación. El efecto memoria implica que las plantas dependen más del agua retenida sobre las capas freáticas, disponibles todo el año, que del agua de [19,35,97]. Esto último tendría una implicación en la retroalimentación del ciclo del carbono, contribuyendo a explicar porque la dinámica de hojas que encontramos es muy estable y no presenta correlaciones significativas con las variables del clima.

Existe evidencia como eventos de inundaciones que favorecen la producción del número de hojas en *M. flexuosa*. Considerando que esta palma actúa requiere abundante agua, la disponibilidad de agua extra favorece el aumento en las tasas fotosintéticas para crear un equilibrio. Esto facilita la producción de carbono y otros carbohidratos destinados por ejemplo a las estructuras reproductivas donde si se ha visto una marcada fenología regulada por las condiciones del clima [35]. Esto hace que la disponibilidad de agua sea un factor clave para el desarrollo pleno de esta planta a todo

nivel [88], yendo acorde con lo encontrado para otros bosques amazónicos, donde se ha demostrado que la forma en la que ocurre el metabolismo del carbono en las hojas puede ayudar a definir la variación florística en gradientes de disponibilidad de agua en la Amazonia [98].

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Este es el primer estudio de cálculo de carbono centrado en *M. flexuosa* en un moretal cerca al piedemonte (400 m s.n.m.), en el Ecuador. Nuestros resultados muestran un aporte significativo de 6% más de biomasa y almacenamiento de carbono por individuos, valores cercanos a los reportados en moretales similares de la Amazonia baja de Perú, a pesar de tener muchos menos individuos lo que destaca la importancia de realizar cálculos a nivel local.

Igualmente resalta la importancia de estandarizar metodologías de manera que permitan una comparación de la eficiencia de este tipo de ecosistemas en el secuestro de carbono, ya que el uso de diferentes ecuaciones o modelos alométricos puede generar diferencias de más del 100 %. Comparamos tres modelos donde el propuesto por Goodman et al.[59] para *M. flexuosa* fue el que mejor se ajustó a nuestros datos presentado los mejores valores de R^2 y menor RSE. Esta ecuación estimó la producción de biomasa de *M. flexuosa* en 70.42 Mg/ha y 35.21 MgC/ha respecto a la captura de carbono.

Por otra parte, las palmas aportaron con 41.39% de biomasa y carbono siendo *M. flexuosa* con 38.36% y otras palmas 3.03%, lo que implica que *M. flexuosa* es una especie clave en la captura de carbono en este ecosistema. Además, se encontró que las hojas aportan con 12.34% adicional al total de 70.42 Mg/ha y 35.21 MgC/ha biomasa y carbono respectivamente, encontrado usando la ecuación de Goodman et al.[59] para *M. flexuosa*. Por tanto, actualmente los cálculos que no consideran hojas evidentemente están subestimando este componente al no estar incorporado en los modelos alométricos generados para palmas.

Nuestros resultados muestran una producción en biomasa de hojas nuevas de 39,03 Mg/ha en el 2017, 30.62 Mg/ha/año en el 2018 y 35.79 Mg/ha/año en el año 2019. Siendo la producción de hojas el producto del recambio de hojas en el tiempo, éstas contribuirían de forma significativa en la PPN. Por ello la utilización de modelos alométricos para palmas más la consideración del número de hojas promedio serían las mejores componentes predictivas que se ajustan en el cálculo de biomasa y carbono para *M. flexuosa*.

Finalmente, encontramos correlaciones significativas en relación a la dinámica de hojas nuevas y vivas para latizales y precipitación mensual, temperatura promedio, temperatura máxima, temperatura mínima. Al aplicar un tiempo de retardo de 2 a 4 meses en los análisis estas mejoraron, siendo la precipitación y temperatura las variables climáticas que mejor presentaron coeficientes de correlación. Creemos que la disponibilidad de agua continua (nivel freático superficial de agua promedio de 48.45 cm) contrarrestaría fuertemente los efectos de clima local y la planta haría uso en su mayoría del agua superficial disponible a través del efecto de memoria del suelo, mientras eventuales sequías extremas no hagan desaparecer la lámina de agua.

Es así como queda evidenciado que los moretales son un ecosistema clave en la generación de servicios ambientales como la captura de carbono y el almacenamiento de agua, además de brindar alimento y ser hábitat de una amplia biodiversidad. Este estudio contribuye con información del flujo de biomasa y carbono entre componentes de *M. flexuosa*, los cuales puede ayudar a entender la dinámica de carbono en humedales amazónicos y valorizar suficientemente este tipo de ecosistemas amenazados actualmente por el cambio global. Siendo considerados como importantes sumideros de carbono y una oportunidad para su conservación y restauración en términos de mercados de Carbono, aprovechamientos de productos no maderables y conservación de la biodiversidad asociada.

4.2 Recomendaciones

1. Se recomienda que las metodologías de monitoreo sean optimizadas y ajustadas para disminuir el error en las estimaciones de biomasa y carbono. Estos ajustes

incluyen el desarrollo de ecuaciones alométricas específicas para palmas, la consideración de componentes como hojas y la toma de datos en campo de forma adecuada.

2. Realizar estudios comparativos con otras parcelas que se encuentren en similares condiciones, con el fin de evaluar si la dinámica de carbono difiere de un lugar a otro.
3. Incluir en el monitoreo de estos ecosistemas, el registro de datos climatológicos y nivel de agua superficial y freático, datos esenciales para caracterizar un ecosistema acuático como los moretales y reconocer mejor su rol en el balance de carbono.
4. Incentivar que las autoridades ambientales realicen una actualización del catastro georreferenciado del área de ocupación de moretales en el país, para promover su conservación y protección como ecosistema de importancia hídrica y de sumidero de carbono.
5. Promover el uso de prácticas agroecológicas para el manejo responsable de los moretales y evitar el aumento en su degradación como ecosistema.

REFERENCIAS

1. Charity, S., Dudley, N., Oliveira D y SS (editores). Amazonía Viva: Un enfoque regional para la conservación en la Amazonía [Internet]. Brasilia y Quito; 2016. Available: http://awsassets.panda.org/downloads/amazon__spanish.pdf
2. Esquivel-Muelbert A, Baker TR, Dexter KG, Lewis SL, Brienen RJW, Feldpausch TR, et al. Compositional response of Amazon forests to climate change. *Glob Chang Biol*. 2019;25: 39–56. doi:10.1111/gcb.14413
3. Vourlitis GL, Priante Filho N, Hayashi MMS, Nogueira JDS, Caseiro FT, Campelo JH. Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil. *Water Resour Res*. 2002;38: 30-1-30–11. doi:10.1029/2000wr000122
4. Physical T, Basis S. CLIMATE CHANGE 2013 Climate Change 2013 Edited by [Internet]. Researchgate.Net. 2013. Available: https://www.researchgate.net/profile/Abha_Chhabra2/publication/271702872_Carbon_and_Other_Biogeochemical_Cycles/links/54cf9ce80cf24601c094a45e/Carbon-and-Other-Biogeochemical-Cycles.pdf
5. Pan Y, Birdsey RA, Phillips OL, Jackson RB. The structure, distribution, and biomass of the world's forests. *Annu Rev Ecol Evol Syst*. 2013;44: 593–622. doi:10.1146/annurev-ecolsys-110512-135914
6. Phillips OL, Lewis SL, Baker TR, Chao KJ, Higuchi N. The changing Amazon forest. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2008;363: 1819–1827. doi:10.1098/rstb.2007.0033
7. Phillips OL, Higuchi N, Vieira S, Baker TR, Chao KJ, Lewis SL. Changes in Amazonian forest biomass, dynamics, and composition, 1980-2002. *Geophys Monogr Ser*. 2009;186: 373–387. doi:10.1029/2008GM000739
8. Phillips OL, Vásquez R MA& BT. 20 años de cambios en los bosques del sur-oeste de la Amazonía. *Q'EUÑA, Soc Botánica del Cusco*. 2007;1.: 29-36.
9. Taylor PG, Cleveland CC, Wieder WR, Sullivan BW, Doughty CE, Dobrowski SZ, et al. Temperature and rainfall interact to control carbon cycling in tropical forests. *Ecol Lett*. 2017;20: 779–788. doi:10.1111/ele.12765

10. Jiménez EM, Moreno FH, Peñuela MC, Patiño S, Lloyd J. Fine root dynamics for forests on contrasting soils in the Colombian Amazon. *Biogeosciences*. 2009;6: 2809–2827. doi:10.5194/bg-6-2809-2009
11. Jiménez EM, Peñuela-Mora MC, Moreno F, Sierra CA. Spatial and temporal variation of forest net primary productivity components on contrasting soils in northwestern Amazon. *Ecosphere*. 2020;11. doi:10.1002/ecs2.3233
12. Li J, Luo Y, Natali S, Schuur EAG, Xia J, Kowalczyk E, et al. Edaphic controls on ecosystem-level carbon allocation in two contrasting Amazon forests. *J Geophys Res Biogeosciences*. 2014;119: 1129–1146. doi:10.1002/2014JG002653. Received
13. Malhi Y, Metcalfe DB, Doughty CE, Luiz EO, Rifai SW, Oliveras I, et al. The Global Ecosystems Monitoring network : Monitoring ecosystem productivity and carbon cycling across the tropics. 2021;253. doi:10.1016/j.biocon.2020.108889
14. Malhi Y, Wood D, Baker TR, Wright J, Phillips OL, Cochrane T, et al. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Glob Chang Biol*. 2006;12: 1107–1138. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01120.x
15. Quesada CA, Lloyd J, Schwarz M, Baker TR, Phillips OL, Patiño S, et al. Regional and large-scale patterns in Amazon forest structure and function are mediated by variations in soil physical and chemical properties. *Biogeosciences Discuss*. 2009;6: 3993–4057. doi:10.5194/bgd-6-3993-2009
16. RENÉ LÓPEZ CAMACHO & NELLY RODRIGUEZ ERASO. BOSQUES INUNDABLES DE LA AMAZONÍA: AMBIENTES ACUÁTICOS ESTRATÉGICOS. 2015.
17. Junk WJ. Wetlands of tropical South America. *Wetl world Invent Ecol Manag Vol I*. 1993; 679–739. doi:10.1007/978-94-015-8212-4_14
18. Junk WJ, Piedade MTF, Lourival R, Wittmann F, Kandus P, Lacerda LD, et al. Brazilian wetlands: Their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquat Conserv Mar Freshw Ecosyst*. 2014;24: 5–22. doi:10.1002/aqc.2386
19. Fan Y, Miguez-Macho G. Potential groundwater contribution to Amazon evapotranspiration. *Hydrol Earth Syst Sci*. 2010;14: 2039–2056. doi:10.5194/hess-

- 14-2039-2010
20. Junk WJ, Bayley PB, Sparks RE. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1989. doi:10.1016/j.matchemphys.2012.10.032
 21. Trujillo G JM, Torres M MA, Santana C E. La palma de Moriche (*Mauritia flexuosa* L.f.) un ecosistema estrategico. *Orinoquia*. 2011;15: 62–70. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v15n1/v15n1a07.pdf>
 22. Kahn F. Palms as key swamp forest resources in Amazonia. *For Ecol Manage*. 1991;38: 133–142. doi:10.1016/0378-1127(91)90139-M
 23. Prance GT. Notes on the vegetation of Amazonia III. The Terminology of Amazonian forest types subject to inundation. *Brittonia*. 1979;31: 26–38.
 24. Lasso CA, Colonnello G, Moraes R. M. Serie Recursos Hidrobiológicos Y Pesqueros Continentales De Colombia. Lasso, Carlos A. (Editores). 2016.
 25. Lasso CA (Carlos A, Rial B. A, González Boscán VC. Morichales y cananguchales de la Orinoquia y Amazonia : Colombia-Venezuela. Parte I [Internet]. reponame:Repositorio Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2013. Available: <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31423>
 26. Rull V, Montoya E. *Mauritia flexuosa* palm swamp communities : Natural or human-made ? A palynological study of the Gran Sabana region ... *Quat Sci Rev*. 2014;99: 17–33. doi:10.1016/j.quascirev.2014.06.007
 27. Ter Steege H, Pitman NCA, Sabatier D, Baraloto C, Salomão RP, Guevara JE, et al. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. *Science (80-)*. 2013;342. doi:10.1126/science.1243092
 28. Koolen HHF, da Silva FMA, da Silva VSV, Paz WHP, Bataglioni GA. Buriti fruit— *Mauritia flexuosa* [Internet]. *Exotic Fruits*. Elsevier Inc.; 2018. doi:10.1016/b978-0-12-803138-4.00004-6
 29. Kahn F, Mejia K, Moussa F, Gomez D. *Mauritia flexuosa* (Palmae), La mas acuatica de las palmeras Amazonicas. *Las Plantas Vaculares en las aguas Cont Peru*. 1993;

- 287–322.
30. van der Hoek Y, Solas SÁ, Peñuela MC. The palm *Mauritia flexuosa*, a keystone plant resource on multiple fronts. *Biodivers Conserv*. 2019;28: 539–551. doi:10.1007/s10531-018-01686-4
 31. Virapongse A, Endress BA, Gilmore MP, Horn C, Romulo C. Ecology, livelihoods, and management of the *Mauritia flexuosa* palm in South America. *Glob Ecol Conserv*. 2017;10: 70–92. doi:10.1016/j.gecco.2016.12.005
 32. Jiménez-Muñoz JC, Mattar C, Barichivich J, Santamaría-Artigas A, Takahashi K, Malhi Y, et al. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016. *Sci Rep*. 2016;6: 1–7. doi:10.1038/srep33130
 33. Anderson LO, Neto GR, Cunha AP, Fonseca MG, De Moura YM, Dalagnol R, et al. Vulnerability of Amazonian forests to repeated droughts. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2018;373. doi:10.1098/rstb.2017.0411
 34. Sousa TR, Schiatti J, Coelho de Souza F, Esquivel-Muelbert A, Ribeiro IO, Emílio T, et al. Palms and trees resist extreme drought in Amazon forests with shallow water tables. *J Ecol*. 2020;108: 2070–2082. doi:10.1111/1365-2745.13377
 35. Esteban, E JL, V. Castilho, C., Melgaço, KL y Costa F. The other side of droughts: Wet extremes and topography as buffers of drought negative effects in an Amazonian forest. 55: 0–2. doi:10.1111/nph.17005
 36. Schöngart J, Wittmann F, Worbes M. Biomass and Net Primary Production of Central Amazonian Floodplain Forests. 2010. doi:10.1007/978-90-481-8725-6
 37. Lambers H, Chapin FS, Pons TL. Plant physiological ecology: Second edition. *Plant Physiological Ecology: Second Edition*. 2008. doi:10.1007/978-0-387-78341-3
 38. Baraloto C, Rabaud S, Molto Q, Blanc L, Fortunel C, Hérault B, et al. Disentangling stand and environmental correlates of aboveground biomass in Amazonian forests. *Glob Chang Biol*. 2011;17: 2677–2688. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02432.x
 39. Honorio EN, Baker TR. Manual Del Monitoreo Del Ciclo Del Carbomo En Bosques

- Amazonicos. Inst Investig la Amaz Peru / Univ Leeds. 2010;1: 54.
40. Fauset S, Gloor M, Fyllas NM, Phillips OL, Asner GP, Baker TR, et al. Individual-based modeling of amazon forests suggests that climate controls productivity while traits control demography. *Front Earth Sci.* 2019;7. doi:10.3389/feart.2019.00083
 41. Vilanova E, Ramírez-Angulo H, Torres-Lezama A, Aymard G, Gámez L, Durán C, et al. Environmental drivers of forest structure and stem turnover across Venezuelan tropical forests. *PLoS One.* 2018;13: 1–27. doi:10.1371/journal.pone.0198489
 42. Clark DA, Brown S, Kicklighter DW, Chambers JQ, Thomlinson JR, Ni J. Measuring net primary production in forests: Concepts and field methods. *Ecol Appl.* 2001;11: 356–370. doi:10.1890/1051-0761(2001)011[0356:MNPPIF]2.0.CO;2
 43. Sala OE, Austin AT. Methods of Estimating Aboveground Net Primary Productivity. *Methods Ecosyst Sci.* 2000; 31–43. doi:10.1007/978-1-4612-1224-9_3
 44. Phillips OL, Baker TR, Arroyo L, Higuchi N, Killeen TJ, Laurance WF, et al. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976–2001. *Philos Trans R Soc B Biol Sci.* 2004;359: 381–407. doi:10.1098/rstb.2003.1438
 45. Keeling HC, Phillips OL. The global relationship between forest productivity and biomass. *Glob Ecol Biogeogr.* 2007;16: 618–631. doi:10.1111/j.1466-8238.2007.00314.x
 46. Rödiger E, Cuntz M, Rammig A, Fischer R, Taubert F, Huth A. The importance of forest structure for carbon fluxes of the Amazon rainforest. *Environ Res Lett.* 2018;13. doi:10.1088/1748-9326/aabc61
 47. Malhi Y, Doughty CE, Goldsmith GR, Metcalfe DB, Girardin CAJ, Marthews TR, et al. The linkages between photosynthesis, productivity, growth and biomass in lowland Amazonian forests. *Glob Chang Biol.* 2015;21: 2283–2295. doi:10.1111/gcb.12859
 48. Hofhansl F, Schnecker J, Singer G, Wanek W. New insights into mechanisms driving carbon allocation in tropical forests. *New Phytol.* 2015;205: 137–146. doi:10.1111/nph.13007

49. Malhi Y, Aragão LEOC, Metcalfe DB, Paiva R, Quesada CA, Almeida S, et al. Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. *Glob Chang Biol*. 2009;15: 1255–1274. doi:10.1111/j.1365-2486.2008.01780.x
50. Yepes A.P., Navarrete D.A., Duque A.J., Phillips J.F., Cabrera K.R., Álvarez, E., García, M.C., Ordoñez MF. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia [Internet]. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-Colombia; 2011. Available: <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>
51. Brown S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a Primer. *FAO For Pap*. 1997;134: 13–33.
52. Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 2005;145: 87–99. doi:10.1007/s00442-005-0100-x
53. Picard, Nicolas ; Saint-André, Laurent ; Henry M. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles [Internet]. 2012. Available: <http://www.fao.org/docrep/018/i3058s/i3058s.pdf>
54. Rich PM, Helenurm K, Kearns D, Morse SR, Palmer MW, Short L. Height and Stem Diameter Relationships for Dicotyledonous Trees and Arborescent Palms of Costa Rican Tropical Wet Forest. *Bull Torrey Bot Club*. 1986;113: 241. doi:10.2307/2996362
55. Tomlinson P. The uniqueness of palms. *Bot J Linn Soc*. 2006; 5–14. doi:10.5840/newscholas19326472
56. Baker TR, Phillips OL, Malhi Y, Almeida S, Arroyo L, Di Fiore A, et al. Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2004;359: 353–365. doi:10.1098/rstb.2003.1422
57. Norman, J & Anderson M. Soil–Plant–Atmosphere Continuum. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. 2011. pp. 805–810. doi:10.1007/978-90-481-3585-1_141
58. Phillips OL, Aragão LEOC, Lewis SL, Fisher JB, Lloyd J, López-González G, et al.

- Drought sensitivity of the amazon rainforest. *Science* (80-). 2009;323: 1344–1347. doi:10.1126/science.1164033
59. Goodman RC, Phillips OL, Del Castillo Torres D, Freitas L, Cortese ST, Monteagudo A, et al. Amazon palm biomass and allometry. *For Ecol Manage.* 2013;310: 994–1004. doi:10.1016/j.foreco.2013.09.045
 60. Goodman, R.C., Phillips, O.L., Baker TR. The importance of crown dimensions to improve tropical tree biomass estimates. *Ecol Appl.* 2013; doi:10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004
 61. Malhi Y, Baker TR, Phillips OL, Almeida S, Alvarez E, Arroyo L, et al. The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. *Glob Chang Biol.* 2004;10: 563–591. doi:10.1111/j.1529-8817.2003.00778.x
 62. Chave J, Navarrete D, Almeida S, Álvarez E, Aragão LEOC, Bonal D, et al. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences.* 2010;7: 43–55. doi:10.5194/bg-7-43-2010
 63. Muscarella R, Emilio T, Phillips OL, Lewis SL, Slik F, Baker WJ, et al. The global abundance of tree palms. *Glob Ecol Biogeogr.* 2020;29: 1495–1514. doi:10.1111/geb.13123
 64. Lähteenoja O, Ruokolainen K, Schulman L, Oinonen M. Amazonian peatlands: An ignored C sink and potential source. *Glob Chang Biol.* 2009;15: 2311–2320. doi:10.1111/j.1365-2486.2009.01920.x
 65. Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). Estadísticas del Patrimonio Natural del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. 2018.
 66. Urrego LE, Galeano A, Peñuela C, Sánchez M, Toro E. Climate-related phenology of *Mauritia flexuosa* in the Colombian Amazon. *Plant Ecol.* 2016;217: 1207–1218. doi:10.1007/s11258-016-0647-0
 67. Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). Manual de campo. Evaluacion Nacional Forestal (ENF). 2012; 88.
 68. Bilsborrow RE, Barbieri AF, Pan W. Changes in population and land use over time in the Ecuadorian Amazon. *Acta Amaz.* 2004;34: 635–647. doi:10.1590/s0044-

59672004000400015

69. Finer M, Jenkins CN, Pimm SL, Keane B, Ross C. Oil and gas projects in the Western Amazon: Threats to wilderness, biodiversity, and indigenous peoples. *PLoS One*. 2008;3. doi:10.1371/journal.pone.0002932
70. Mena CF, Lasso F, Martinez P, Sampedro C. Modeling road building, deforestation and carbon emissions due deforestation in the Ecuadorian Amazon: the potential impact of oil frontier growth. *J Land Use Sci*. 2017;12: 477–492. doi:10.1080/1747423X.2017.1404648
71. Torres B, Vasseur L, López R, Lozano P, García Y, Arteaga Y, et al. Structure and above ground biomass along an elevation small-scale gradient: case study in an Evergreen Andean Amazon forest, Ecuador. *Agrofor Syst*. 2020;94: 1235–1245. doi:10.1007/s10457-018-00342-8
72. (MAE) M del A del E. Línea base de deforestación del Ecuador continental. 2013;
73. Malhi Y, Grace J. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends Ecol Evol*. 2000;15: 332–337. doi:10.1016/S0169-5347(00)01906-6
74. Peñuela MC, Urrego LE, Tello M. ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD DE DOS BOSQUES DE *Mauritia flexuosa* (MORETALES) DE DIFERENTE HIDROLOGÍA EN LA AMAZONÍA ECUATORIANA. *La Botánica en Latinoamérica, Realidad y Desarrollo Virtual: Resúmenes del XII Congreso Latinoamericano de Botánica*. 2nda ed. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi y Universidad Central del Ecuador; 2019. p. 438.
75. Ikiam Hydrometeorological Service. Meteorological and Hydrological stations network: Meteoviewer, version 3.4. Universidad Regional Amazónica Ikiam. Accessed January, 2021. <http://hidrometeorologia.ikiam.edu.ec/meteoviewer/> [Internet]. 2021.
76. Chave J, Coomes D, Jansen S, Lewis SL, Swenson NG, Zanne AE. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecol Lett*. 2009;12: 351–366. doi:10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x
77. IPCC, Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, Krug T, Kruger D, et al. Intergovernmental

- Panel on Climate Change Good Practice Guidance for Land Use , Land-Use Change and Forestry Edited by. 2003.
78. Tello M. Demografía de un Palma Hiperclave: Modelamiento poblacional de mauritia flexuosa en una parcela en Tena, Amazonía Ecuatoriana. (en publicación).
 79. Kikuzawa K, Lechowicz MJ. Ecology of Leaf Longevity. Ecological Research Monographs. 2011.
 80. Navas ML, Ducout B, Roumet C, Richarte J, Garnier J, Garnier E. Leaf life span, dynamics and construction cost of species from Mediterranean old-fields differing in successional status. *New Phytol.* 2003;159: 213–228. doi:10.1046/j.1469-8137.2003.00790.x
 81. Aeronautics N, Earth G, Data S. Administration Information and README Document for the GPM Data. 2014;
 82. HOUGHTON RA, LAWRENCE KT, HACKLER J., SANDRA BR. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon : a comparison of estimates. *Glob Chang Biol.* 2001;7: 731–746.
 83. Freitas L, Otárola E, del Castillo D, Linares C, Martínez P, Malca G. Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, Loreto - Perú [Internet]. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. 2006. Available: <http://repositorio.iiap.gob.pe/handle/IIAP/228>
 84. Honorio E, Vega J, Corrales M. Diversidad, estructura y carbono de los bosques aluviales del noreste. *Folia Amaz.* 2015;24: 55–70.
 85. Hergoualc'h K, Gutiérrez-Vélez VH, Menton M, Verchot L V. Characterizing degradation of palm swamp peatlands from space and on the ground: An exploratory study in the Peruvian Amazon. *For Ecol Manage.* 2017;393: 63–73. doi:10.1016/j.foreco.2017.03.016
 86. Nascimento H, Laurance WF. Biomass dynamics in Amazonian forest fragments. *Ecol Appl.* 2004;14.

87. GADM Tena. Actualización PDOT-PUGS-2020-2023. 2019; 699.
88. Urrego C. LE. Cananguchales y manglares: humedales forestales de las zonas bajas tropicales, tan semejantes como contrastantes. *Rev la Acad Colomb Ciencias Exactas, Físicas y Nat.* 2018;42: 80. doi:10.18257/raccefyn.553
89. Roucoux KH, Lawson IT, Jones TD, Baker TR, Coronado ENH, Gosling WD, et al. Vegetation development in an Amazonian peatland. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol.* 2013;374: 242–255. doi:10.1016/j.palaeo.2013.01.023
90. Pitman NCA, Andino JEG, Aulestia M, Cerón CE, Neill DA, Palacios W, et al. Distribution and abundance of tree species in swamp forests of Amazonian ecuador. *Ecography (Cop).* 2014;37: 902–915. doi:10.1111/ecog.00774
91. Isaza C, Bernal R, Galeano G, Martorell C. Demography of *Euterpe precatoria* and *Mauritia flexuosa* in the Amazon: application of integral projection models for their harvest. *Biotropica.* 2017;49: 653–664. doi:10.1111/btp.12424
92. Bonesso M, Belloni I, Benedetti I. Harvesting Effects and Population Ecology of the Buriti Palm (*Mauritia flexuosa* L. f., Arecaceae) in the Jalapão Region, Central Brazil. *Econ Bot.* 2008;62: 171–181. Available:
file:///C:/Users/Talita/AppData/Local/Mendeley Ltd./Mendeley Desktop/Downloaded/Campinas-unicamp - 2008 - Harvesting Effects and Population Ecology of the Buriti Palm (Mauritia.pdf
93. Bernal R, Galeano G. *Cosechar sin destruir, Aprovechamiento sostenible de palmas colombianas.* 1st ed. Bogotá; 2013.
94. Alvarez E, Duque A, Saldarriaga J, Cabrera K, de las Salas G, del Valle I, et al. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *For Ecol Manage.* 2012;267: 297–308. doi:10.1016/j.foreco.2011.12.013
95. Avalos G, Gei M, Ríos LD, Otárola MF, Cambroner M, Alvarez-Vergnani C, et al. Scaling of stem diameter and height allometry in 14 neotropical palm species of different forest strata. *Oecologia.* 2019;190: 757–767. doi:10.1007/s00442-019-04452-7

96. Zamora-Abrego JG, Ruiz-Martínez E, Urrego-Giraldo LE, Galeano-González YA, Acevedo-Quintero JF, Peñuela-Mora MC. Morichales, canaguales y otros palmares inundables de Suramérica. Serie recursos hidrobiológicos y pesqueros continentales de Colombia. 2016.
97. Fan Y, Miguez-Macho G, Jobbágy EG, Jackson RB, Otero-Casal C. Hydrologic regulation of plant rooting depth. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2017;114: 10572–10577. doi:10.1073/pnas.1712381114
98. Signori-Müller C, Oliveira RS, Barros F de V, Tavares JV, Gilpin M, Diniz FC, et al. Non-structural carbohydrates mediate seasonal water stress across Amazon forests. *Nat Commun*. 2021;12: 1–9. doi:10.1038/s41467-021-22378-8

Anexo 1. Resultados de la dinámica de hojas por estadios para todos los individuos de *M. flexuosa* de una hectárea durante 3 años de monitoreo

Tabla 15. Resultado de la dinámica de hojas vivas, muertas y nuevas por estadios para todos los individuos de *M. flexuosa* de una hectárea durante 3 años de monitoreo. HV/ha, HM/ha y HN/ha son número de observaciones para cada caso por hectárea.

Mes	HV/ha			HM/ha			HN/ha		
	Latizales	Juveniles	Adultos	Latizales	Juveniles	Adultos	Latizales	Juveniles	Adultos
feb-17	332	667	1160	55	188	348	51	149	232
mar-17	331	639	1276	62	207	464	71	196	580
abr-17	318	617	1276	67	199	580	57	192	580
may-17	331	635	1392	60	140	580	76	158	696
jun-17	337	657	1392	68	163	696	83	188	696
jul-17	267	548	1508	121	222	580	60	128	696
ago-17	318	626	1276	65	130	464	120	216	232
sep-17	333	635	1276	74	150	580	97	160	580
oct-17	357	659	1508	55	161	580	84	185	812
nov-17	343	624	1508	62	161	464	58	144	464
dic-17	336	654	1160	65	135	580	71	174	232
ene-18	347	668	696	65	148	580	81	165	116
feb-18	338	650	696	62	167	232	66	150	232
mar-18	340	635	1044	47	142	348	52	146	696
abr-18	310	650	1508	56	93	464	51	128	928
may-18	318	623	1508	67	131	464	82	127	464
jun-18	328	657	1508	36	80	116	48	125	116
jul-18	309	606	1160	45	107	464	36	76	116
ago-18	326	645	1160	31	111	464	61	152	464
sep-18	336	653	1392	45	117	348	59	129	580
oct-18	325	638	1392	60	122	464	58	117	464
nov-18	337	642	1392	43	84	232	61	122	232
dic-18	345	648	1276	34	95	232	57	110	116
ene-19	298	576	1508	73	140	348	41	83	580
feb-19	334	616	1624	45	115	464	85	160	580
mar-19	331	608	1276	48	102	348	54	115	232
abr-19	319	626	1392	65	132	812	74	158	928
may-19	333	667	1392	41	63	348	68	116	348
jun-19	318	625	1508	53	84	232	50	64	348
jul-19	324	621	1624	43	95	348	53	96	464
ago-19	330	637	1392	33	66	464	49	105	232
sep-19	327	636	1392	52	98	464	52	108	464
oct-19	325	646	1392	47	85	348	54	100	348
nov-19	322	636	1160	48	107	928	48	98	696
dic-19	334	666	1392	48	118	464	63	151	232
ene-20	330	664	1624	22	64	464	30	74	696

Anexo 2. Resultados de Biomasa aérea total Mg/ha y Carbono en MgC/ha según diferentes autores para *M. flexuosa*

Tabla 16. Biomasa aérea total Mg/ha y Carbono en MgC/ha según diferentes autores para *M. flexuosa*.

Lugar	Elevación (m s.n.m)	Geomorfología o tipo de moretal	# de indiv./ha	Biomasa total (Mg/ha)	Biomasa por cada 100 indiv. (Mg/ha)	Carbono (MgC/ha)	Carbono por cada 100 indiv. (MgC/ha)	Fuente
Misahuallí, Napo-Ecuador	400	Plano de inundación	116*	78.82	67.94	39.41	33.97	Este estudio
Reserva Nacional Pacaya-Perú Jenaro	210	Llanura aluvial/moretal denso	280	178.85	63.87	87.03	31.08	Freitas et al. [83]
herrera, Loreto-Perú	110	Llanura aluvial	178	67.03	37.65	33.52**	18.82**	Honorio Coronado et al.[84]

*hace referencia al número total de palmas adultas. ** el valor fue estimado según IPCC [77]

Anexo 3. Correlogramas de variables climáticas vs dinámica de hojas de *M. flexuosa*

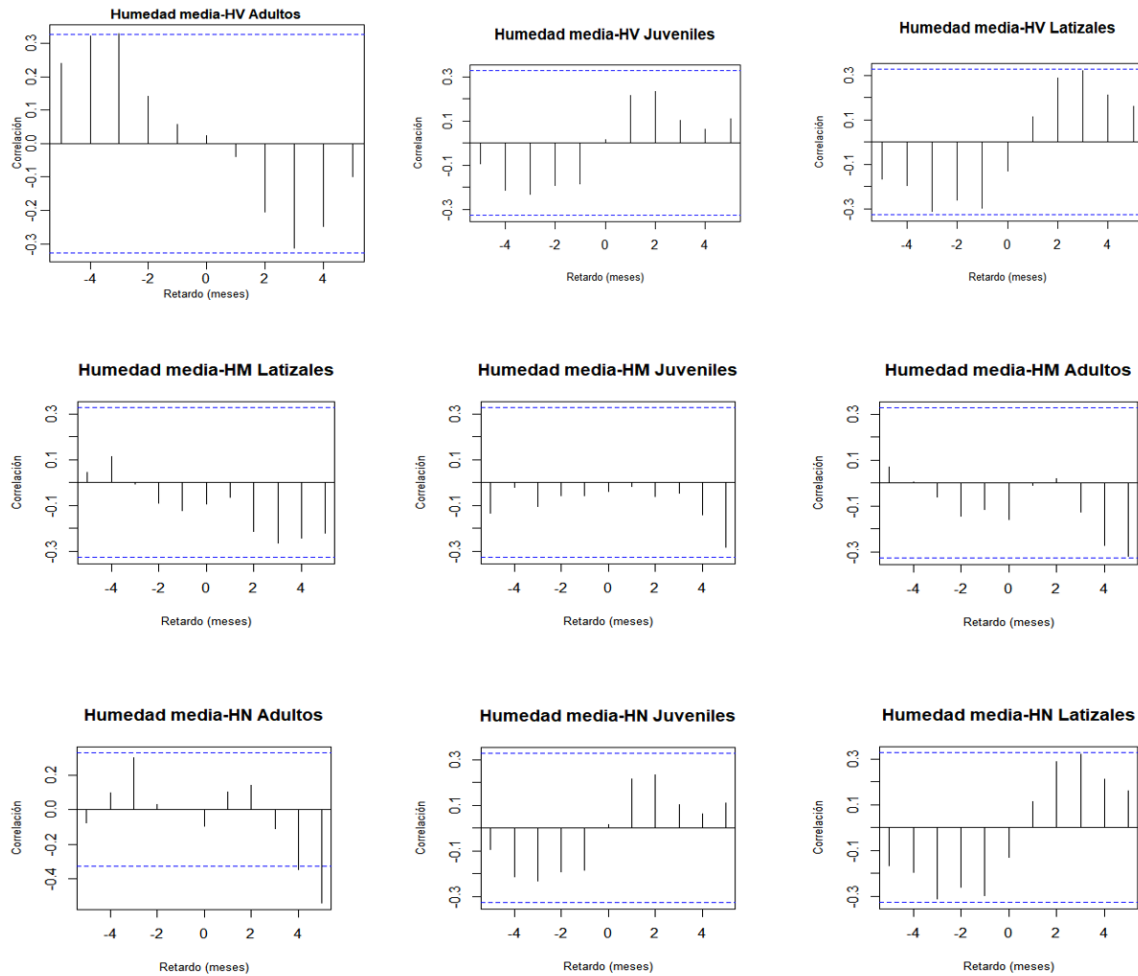


Figura 15. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Humedad media mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$)

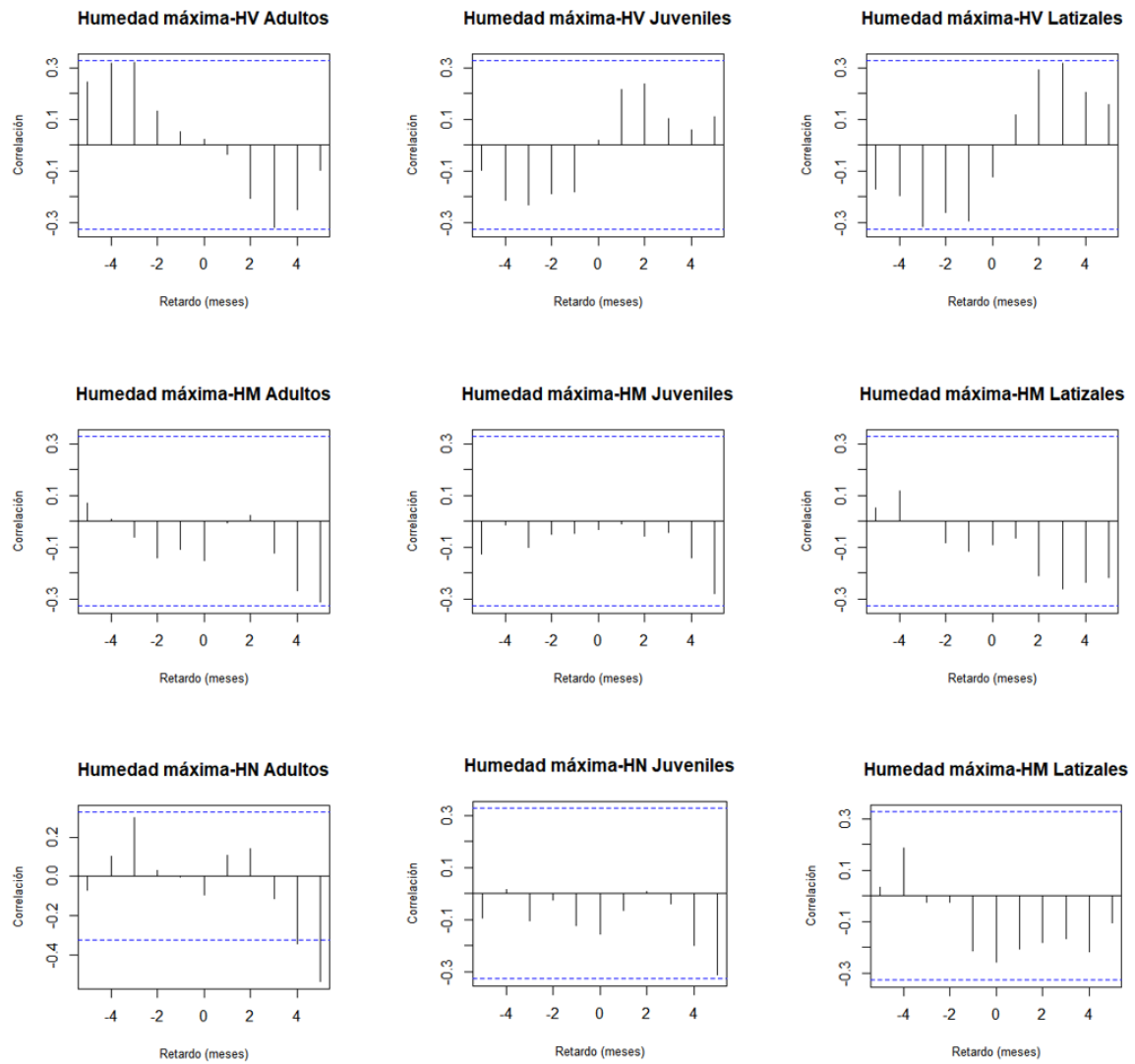


Figura 16. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Humedad máxima mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$).

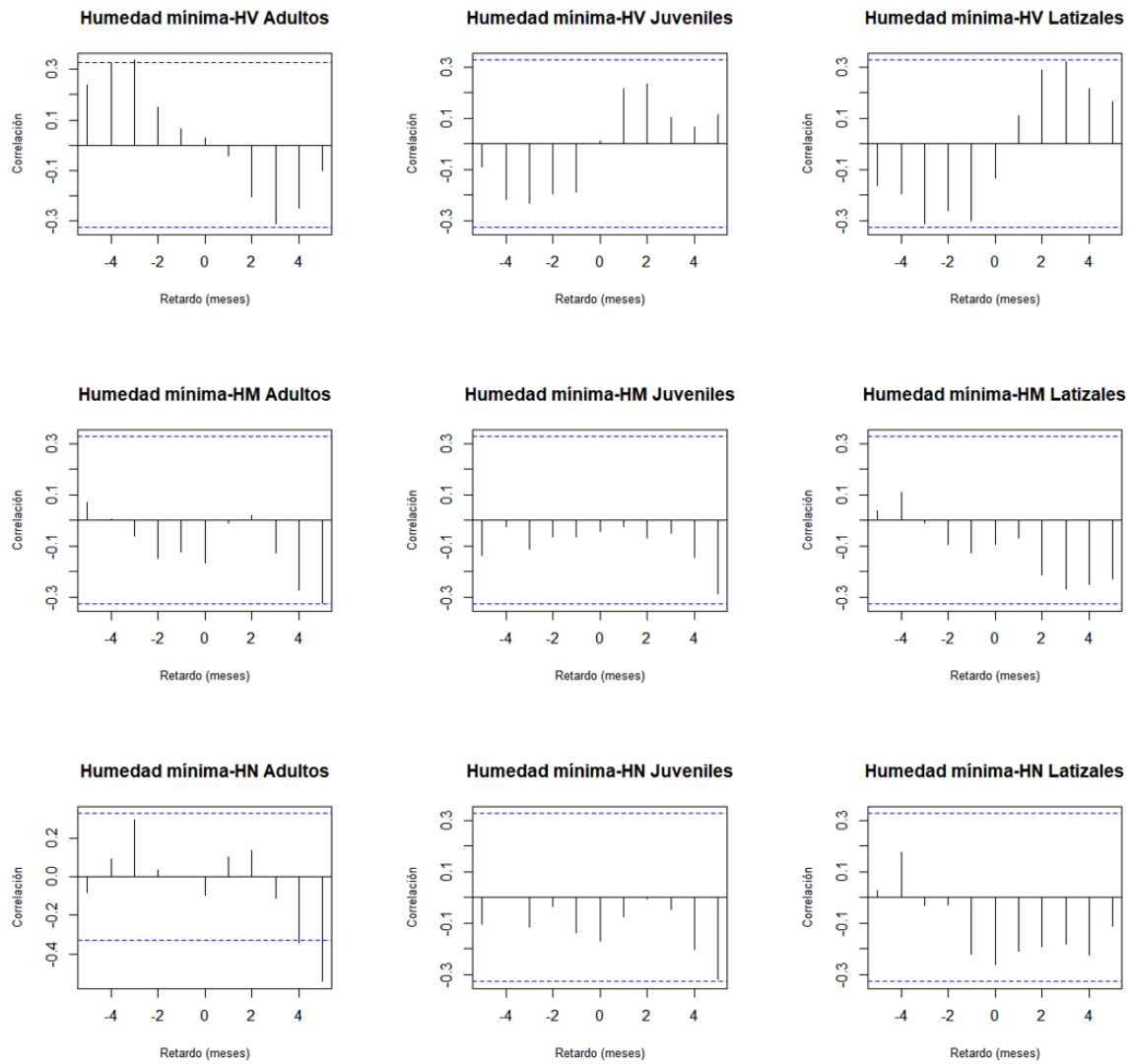


Figura 17. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Humedad mínima mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$).

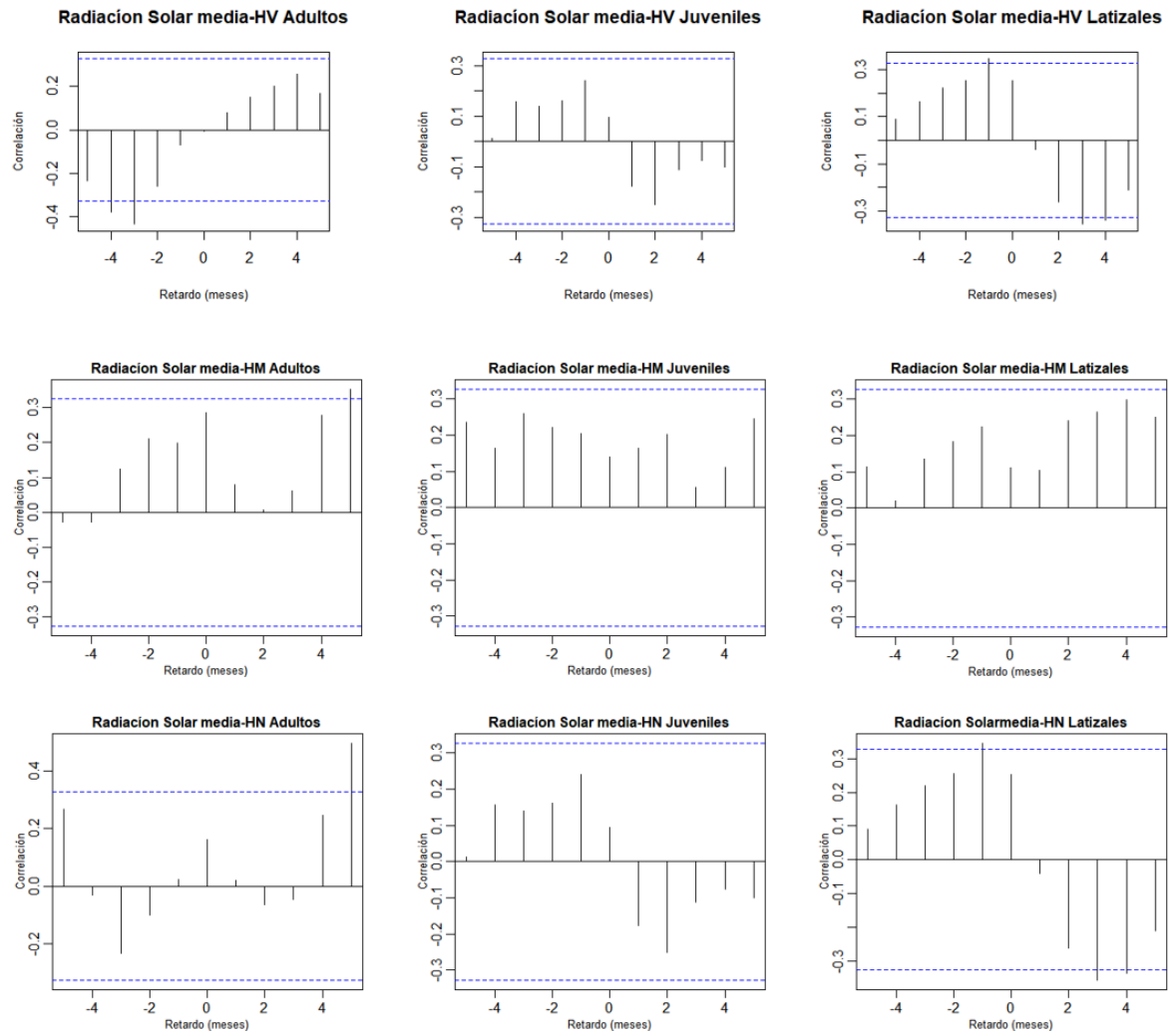


Figura 18. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Radiación Solar media mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$).

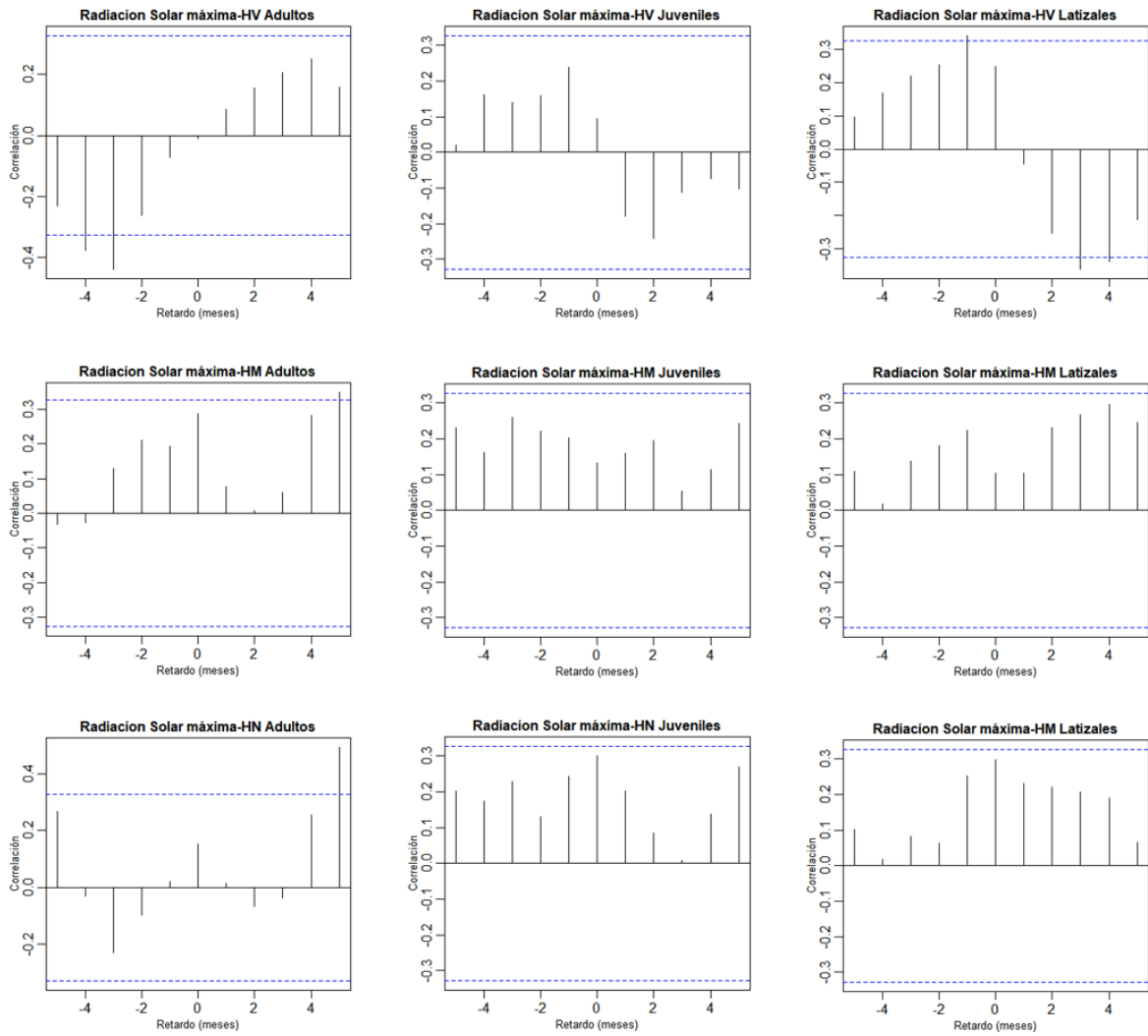


Figura 19. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Radiación Solar máxima mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$).

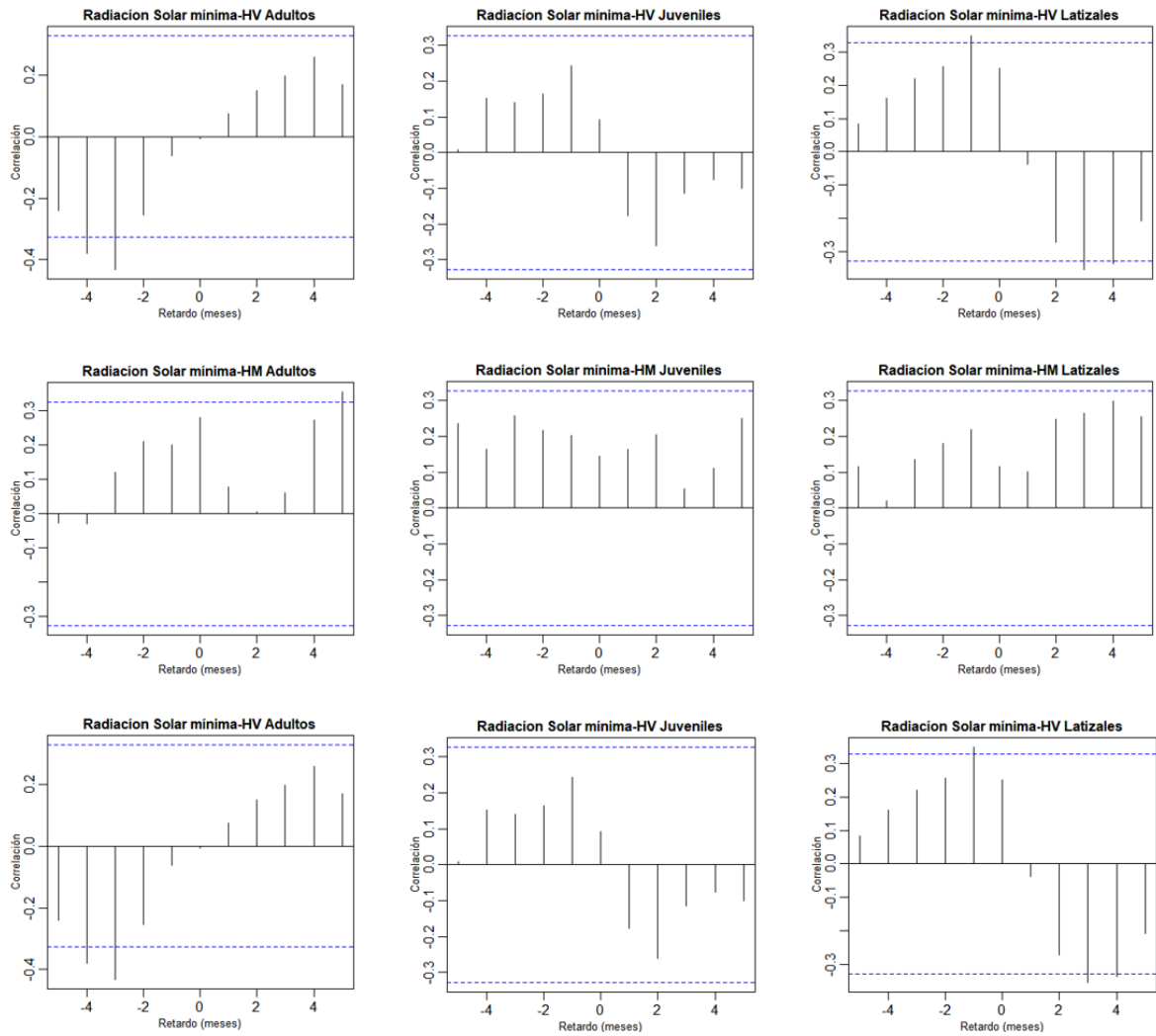


Figura 20. Correlograma cruzado con diferentes retardos o lags en (meses) entre Radiación Solar mínima mensual y Hojas Vivas (HV), Hojas Muertas (HM) y Hojas Nuevas (HN), para cada estadio (Adultos (A), Juveniles (J), Latizales (L)). Las correlaciones cruzadas sobre la línea azul punteada indican una correlación significativa ($p < 0.05$).