

Manejo y aprovechamiento de recursos

Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque con manejo de impacto reducido en la región oriental de la Amazonia brasileña

Mortality and recruitment in trees of a forest subject to reduced impact logging in the oriental region of the Brazilian Amazonia

William Montero-Flores ^{a,*}, Emil J. Hernández-Ruz ^a, Graciliano Galdino Alves-Santos ^b,
Izildinha de Souza-Miranda ^b y Henry Sánchez-Toruño ^c

^a Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Pará, Rua Coronel José Porfirio, 2515, Explanada Xingu, CEP 68.372-040, Altamira, Pará, Brasil

^b Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural da Amazônia, Ave. Tancredo Neves, 2501, CP. 917, CEP 66.077-530, Belém, Pará, Brasil

^c Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Universidad Nacional, 400 metros Noroeste, de la plaza Santa Lucía, Barba, Heredia, Costa Rica

*Autor para correspondencia: williammodendrum@gmail.com (W. Montero-Flores)

Recibido: 8 mayo 2019; aceptado: 4 enero 2020

Resumen

El manejo de bosques responde por 30% de los impactos que sufren los bosques tropicales. El estudio de la dinámica forestal permite medir el impacto de las intervenciones forestales. Por eso, en este trabajo evaluamos la dinámica forestal en términos de mortalidad y reclutamiento de árboles con DAP ≥ 32 cm, así como la mortalidad en los individuos por clase diamétrica para diámetros en 2 fitofisionomías: flora ombrófila densa (FOD) y flora ombrófila abierta con lianas (FOAL) en la región oriental de la Amazonia brasileña en 13 parcelas permanentes de monitoreo (PPM) de 50 m \times 50 m (2,500 m²) en una unidad de producción anual (UPA) sometida a manejo de impacto reducido en el período de 2014 a 2016. Determinamos que las tasas de mortalidad y reclutamiento no fueron estadísticamente significativas, aunque sí mayores para la FOD. El reclutamiento fue mayor en la FOD. La mortalidad por el manejo mostró variaciones estadísticas significativas según la clase diamétrica. Estas variaciones en la dinámica son importantes para ser tomadas en cuenta en la construcción y ejecución de los planes de manejo.

Palabras clave: Fitofisionomías; Dinámica forestal; Planes de manejo forestal; Clase diamétrica; Unidad de producción anual

Abstract

Forest management accounts for 30% of the impacts that tropical forests suffer. The study of forest dynamics allows measuring the impact of forestry interventions. For that this investigation evaluates the forest dynamic in

terms of mortality and recruitment of trees with DBH \geq 32 cm, as well as the mortality in each diameter class of 2 physiognomies: ombrophyllous dense forest (ODF) and open ombrophyllous forest with liana (OAFL), in the oriental Amazon region; through 13 permanent monitoring plots (PPM) of 50 \times 50 m (2,500 m²) located in a annual production unit (APU) under reduced impact management, during the period of 2014-2016. We determined that mortality and recruitment rates were not statistically different, although they were higher for OFD. Recruitment was higher in the OFD. The mortality due to management showed statistical variations according to the diametric class. These variations in dynamics are important to be taken into account in the construction and execution of management plans.

Keywords: Physiognomies; Forest dynamics; Forest management plans; Diameter class; Annual production unit

Introducción

El manejo de bosques como herramienta para la producción de madera es una de las principales actividades económicas de la Amazonia brasileña (Braz et al., 2017). En un estudio reciente Richardson y Peres (2016) mostraron que solo en el estado de Pará se produjeron 17.3 millones de m³ de madera en troza provenientes de 824 planes de manejo forestal abarcando un área de 124 millones de ha, ese volumen de madera es equivalente a 85% de las maderas producidas en el neotrópico. Esos mismos autores llaman la atención en que buena parte del manejo forestal en décadas pasadas no era sostenible y por ello el gobierno federal difundió el manejo de impacto reducido (MIR), con el objeto de mejorar las prácticas de manejo forestal implementadas en la Amazonia brasileña.

Según la ITTO (2000) y la FAO (2004), el manejo de impacto reducido es definido como: “el conjunto de operaciones de cosecha de maderas implementadas en bosques naturales, bien planificadas y cuidadosamente dirigidas, minimizando el impacto sobre el bosque remanente y el suelo, con miras no solamente de intentar producir maderas de una forma más sostenible, sino que también buscando la conservación de la biodiversidad, retención de carbono, resiliencia del bosque, manutención de los servicios ecosistémicos y mejores condiciones para los trabajadores” (Chaudhary et al., 2016; OIMT, 2015).

Aunque la cosecha de madera sea realizada mediante las técnicas del MIR, la literatura muestra que el manejo de bosques ocasiona impactos ecológicos en la flora remanente (Velepucha, 2013). En ese sentido, la literatura apunta que el aprovechamiento de los bosques es responsable de 30% de los impactos negativos en los árboles remanentes en la Amazonia (Silva, Gomide et al., 2018). Por otro lado, Amaral et al. (2019) analizaron la dinámica forestal en un bosque maduro de la Amazonia central durante 25 años, el cual fue sometido a diferentes intensidades de tala selectiva, llegando a la conclusión que ésta alteró significativamente la dinámica natural del bosque al aumentar las tasas de mortalidad y reclutamiento de árboles al comparar áreas con y sin tala. En esta misma línea, Trochez y Rodríguez (2018) indicaron que el manejo

tiende a aumentar la dinámica del bosque, ocasionando altas tasas de mortalidad en los períodos recientes a la extracción de la madera, mientras tanto las tasas de reclutamiento suelen aumentar en los períodos posteriores a las operaciones de manejo dependiendo del tamaño de los claros y las condiciones de luz.

Sumado a lo anterior, Bulfe et al. (2009) y Magrach et al. (2016) encontraron que las prácticas de manejo y la intensidad del volumen a cosechar suelen alterar las tasas de mortalidad y reclutamiento de los bosques tropicales. Un buen ejemplo es el dato aportado por Richardson (2015), quien reveló que para bosques de la Amazonia brasileña sometidos a manejo de impacto reducido, por cada árbol cosechado se pierden 11.7 individuos con diámetro menores a 23 cm de DAP, de modo semejante por cada m² de área basal extraída comercialmente también se pierde un 1.5 m² en el proceso. Debido a ello, Lewis et al. (2004) y Mosquera et al. (2009) añaden que los estudios de mortalidad y reclutamiento de los árboles tropicales son de gran importancia para definir estrategias de uso y conservación de los bosques.

Otro dato importante para considerar en los estudios de dinámica forestal, de acuerdo con Callegaro et al. (2015), es la alta diversidad ambiental y formaciones vegetales que presentan los ecosistemas forestales de la Amazonia. Por tal motivo, el objetivo de nuestro estudio fue evaluar el reclutamiento y mortalidad en 2 fitofisionomías sometidas a manejo de impacto reducido en un bosque de la Amazonia oriental para el período 2014-2016 en el municipio Portel, estado de Pará, Brasil.

Materiales y métodos

El área de estudio se encuentra localizada dentro de la Unidad de Manejo Forestal (UMF) Uberlandia, distribuida en los municipios de Portel, Bagre, Baião y Oeiras en el estado de Pará, Brasil. La UMF fue concesionada a la empresa Grupo LN Guerra en el 2011, para la producción de maderas de manera sostenible. El área efectiva total para manejo comprende 128,934.69 ha de bosque primario, organizada en 35 unidades de producción anual (UPAs). El estudio fue realizado en una de estas unidades

correspondiendo a la unidad de producción anual número 10 (UPA10; 3°10' - 2°46' S, 50°21' - 49°45' O) (Santos et al., 2016), la cual está compuesta por 2 fitofisionomías, la flora ombrófila densa (FOD con 68.2% (2,388.4 ha) y el área restante representa el 32.8% (1,111.6 ha) para la flora ombrófila abierta con lianas (FOAL). Esta clasificación sigue la propuesta de tipos de vegetación descritos en el manual de tipos de vegetación brasileña del IBGE (2012). La FOD es definida como aquella formación vegetal con un dosel superior denso con abundantes individuos de gran porte con copas interconectadas y un dosel bajo con pocas condiciones de iluminación. Mientras que la FOAL se caracteriza por presentar un dosel superior con pocos individuos de porte alto bien distribuidos, donde predominan condiciones de alta luminosidad llegando hasta el dosel inferior, el cual presenta muchos individuos de porte mediano con abundantes lianas leñosas.

El área de estudio se encuentra inmersa en la zona de transición entre las microrregiones de la Amazonia Central y Oriental al noreste de Pará y la microrregión del Bajo Tocantins y Tukurui (Almeida, 2010). De acuerdo con la clasificación de Köppen, el clima que predomina en la región es tropical húmedo, con una estación seca corta y una estación más húmeda y prolongada durante el año que es alimentada por el clima del bosque tropical. La precipitación anual estimada varía de 1,900 a 2,400 mm y la temperatura media puede oscilar entre 24 y 26 °C (Alvares et al., 2013).

Trabajamos con 13 parcelas permanentes de monitoreo (PPM) de 50 m × 50 m (2,500 m²) distribuidas aleatoriamente en la UPA10. Para esta UPA, usamos un banco de datos de 2 mediciones forestales para todos los individuos con DAP ≥ 32, proporcionado por la empresa Grupo LN Guerra; la primera realizada en 2014 antes de la cosecha de madera y la segunda en 2016, después de la extracción de madera.

Inicialmente organizamos los datos de las parcelas en las 2 fitofisionomías; 6 para FOAL y 7 para FOD (fig. 1). Posteriormente organizamos las variables para todos los individuos, con su respectivo DAP, especie y clase de calidad del fuste (usada para determinar el estado fitosanitario de los árboles). Ésta última definida por la metodología de la “empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária” (EMBRAPA) para la evaluación de parcelas permanentes de monitoreo (PPM) en bosques de la Amazonia brasileña (Silva et al., 2005). Adicionalmente, recolectamos ejemplares botánicos en el área de estudio de las especies registradas en el inventario forestal realizado por la Empresa Grupo LN Guerra para corroborar su identificación taxonómica y posteriormente, el material fértil fue depositado en el herbario del “Instituto Agronómico do Norte” (IAN)-EMBRAPA Amazonia Oriental, Pará, Brasil.

Cabe resaltar que el foco de la investigación era buscar evidencias que mostraran la existencia de diferencias en la mortalidad y reclutamiento forestal en la UPA10 que posee 2 fitofisionomías (FOD y FOAL), en las cuales se aplica el mismo sistema de manejo. De acuerdo con Silva, Schwartz et al. (2018), el reclutamiento es de gran importancia en la dinámica de los bosques ya que constantemente provee nuevos individuos y especies en las comunidades forestales como respuesta ante determinados disturbios o cambios ambientales causados por eventos naturales o acción antrópica. Mientras que la mortalidad arbórea corresponde a la proporción de individuos fallecidos en una población en un tiempo determinado y es uno de los mecanismos fundamentales en la dinámica de los bosques (Silva, Schwartz et al., 2017). En síntesis, para lograr el objetivo del estudio, organizamos los análisis en 3 fases: a) la tasa de mortalidad y reclutamiento para los individuos con DAP ≥ 32 cm, por parcela de acuerdo a su tipo de bosque, utilizando las fórmulas recomendadas por Giacomotti y Reynel (2018); b) contamos el número de individuos reclutas y muertos para cada tipo de bosque y c) contabilizamos el número de individuos muertos por la cosecha de madera para ambos bosques en 3 clases diamétricas para ver si había diferencia entre bosques por la extracción de madera.

Inicialmente organizamos los datos por cada fitofisionomía considerando la medición de 2014 antes de la cosecha de madera y la de 2016 después de la intervención forestal. Posteriormente, calculamos la tasa de mortalidad utilizando los individuos muertos por causa natural (código 5) y muerte por la cosecha de madera (código 6), tal como se describe en el manual de EMBRAPA para evaluación de árboles en bosques naturales de la Amazonia brasileña, para el tiempo estudiado que fue de 2 años. Posteriormente calculamos la tasa de reclutamiento, contabilizando los individuos que alcanzaron el DAP ≥ 32 cm, en el período de estudio que se estimó en 2 años. Cada una de las tasas de mortalidad y reclutamiento fueron calculadas por parcela.

Una vez que calculamos las tasas anuales de mortalidad obtenidas en las parcelas de cada tipo de bosque, las analizamos estadísticamente comparando las 2 tasas de mortalidad entre fitofisionomías y el mismo proceso para las tasas anuales de reclutamiento mediante una prueba t de muestras independientes, todo ello para determinar si había diferencias estadísticas entre las tasas de mortalidad y reclutamiento de los individuos entre cada fitofisionomía con el programa estadístico RStudio versión 3.3.3 (RStudio Team, 2018).

Realizamos un análisis descriptivo del número de individuos muertos por la actividad del manejo y reclutas para ambos bosques, con el fin de comparar descriptivamente su estado entre ambas fitofisionomías.

Finalmente, organizamos los individuos muertos por el manejo en 3 clases diamétricas y por fitofisionomías en las 13 unidades muestrales. Esto permitió realizar 2 análisis recomendados por Wong-González (2010); un Anova para ver si la mortalidad por la cosecha de madera estaba influenciada por el tipo de bosque el cual llamamos “ambiente” y la clase diamétrica. Posteriormente una prueba de Tukey de comparaciones múltiples para las clases diamétricas que fue la variable que resultó con variaciones significativas para ambos bosques. Estos análisis se llevaron a cabo con el programa estadístico RStudio versión 3.3.3 (RStudio Team, 2018).

Resultados

No se encontraron diferencias significativas en las tasas de reclutamiento anuales entre FOAL y FOD (t -Student = -1.6594, $gl = 11$, $p = 0.1252$) y se obtuvo una tasa anual media de reclutamiento igual a 0.08% y 0.31% para FOAL y FOD, respectivamente. Mientras tanto, este mismo análisis para las tasas de mortalidad, igual al caso anterior, no detectó diferencias estadísticas significativas (t -Student = -0.35051, $gl = 11$, $p = 0.7326$), con tasas medias anuales de mortalidad de 5.22% y 6.32% para FOAL y FOD, respectivamente.

Un dato importante para resaltar, es que cuando comparamos las tasas de mortalidad y reclutamiento anuales entre parcelas para ambos bosques se observa que todas las parcelas presentaron mortalidad de individuos, no obstante, en términos de reclutamiento, las parcelas de FOD registraron más individuos reclutas en comparación a la FOAL (tabla 1).

En total evaluamos 13 PPM, de éstas contabilizamos un total de 1,483 individuos en 2014 antes de la cosecha forestal para ambas fitofisionomías en un total de 3.25 ha de inventario muestral. En estas mismas para el 2016 después de la intervención forestal, registramos 1,329 individuos sobrevivientes. Se destaca que en total se obtuvieron 154 individuos muertos, de los cuales 18 correspondieron a muerte natural (9 por cada tipo de bosque), mientras que hubo un total de 132 individuos muertos por la extracción forestal entre ambos bosques. Así mismo, para cada tipo de fitofisionomía fueron muertos 79 individuos FOD en 1.75 ha de muestreo y 53 individuos lo hicieron en la FOAL en 1.5 hectáreas de inventario por esta misma actividad (tabla 2). Estos valores que expresamos por ha representan 45 individuos para el primer bosque y 35 para el segundo, estos muestran que la FOD sufrió mayor mortalidad a consecuencia de la operación forestal.

Con los resultados del Anova detectamos que la mortalidad por causa del manejo está influenciada por la clase diamétrica para la comunidad forestal estudiada, y el

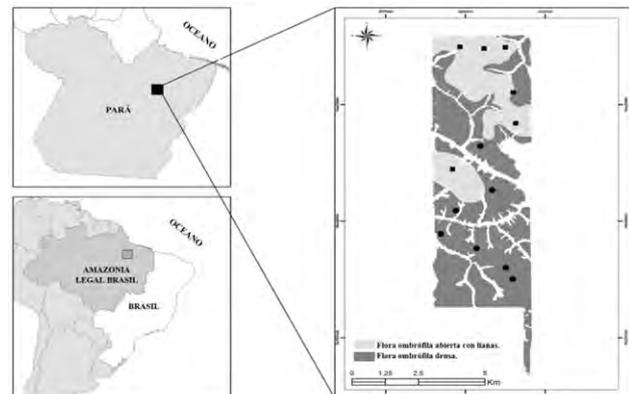


Figura 1. Ubicación de las parcelas permanentes para 2 fitofisionomías en la (UPA10) de la Unidad de Manejo Forestal (UMF) Uberlândia, Portel, Pará, Brasil.

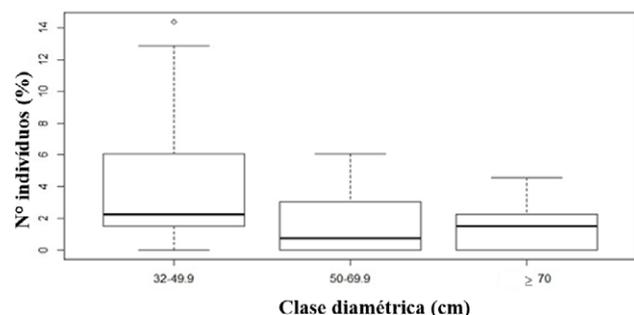


Figura 2. Individuos muertos (%) por la operación de manejo por clase diamétrica en la Unidad de Producción Anual (UPA10), Portel, Pará, Brasil.

tipo de bosque no mostró efecto significativo alguno (tabla 3). Posteriormente con las comparaciones múltiples logramos identificar que la mortalidad por la cosecha de madera presentó variaciones significativas entre los individuos de la clase diamétrica de 32 a 49.9 con los individuos de mayores diámetros (≥ 70 cm), lo mismo que los individuos de 32 a 49.9 cm con los de 50 a 69.9 cm (tabla 4; fig. 2).

Discusión

Al comparar las tasas anuales de mortalidad y de reclutamiento de ambos tipos de fitofisionomías no encontramos diferencias estadísticas significativas. Aun así, resaltamos que ambos bosques presentaron tasas de mortalidad mucho mayores que las de reclutamiento para 2 años de observación (tabla 1). Por otro lado, el número de individuos muertos y reclutas (tabla 2), son consistentes con esta tendencia descrita anteriormente. Estos resultados corresponden a lo citado por Pereira (2000) y Godinho et al. (2018), quienes añaden que en los períodos recientes

a la extracción de madera siempre vamos a observar esta tendencia para bosques tropicales.

Por otro lado, cuando comparamos las tasas de mortalidad y reclutamiento de nuestro estudio, con otros bosques sometidos a manejo de impacto reducido en la Amazonia brasileña, vemos que entre más reciente es

el período de las intervenciones forestales las tasas de mortalidad siempre son mayores que las de reclutamiento. En la medida en que aumenta el tiempo posterior a la intervención, las tasas de reclutamiento tienden a aumentar hasta alcanzar el equilibrio entre mortalidad y reclutamiento (tabla 5) (Godinho et al., 2018; Pereira, 2000).

Tabla 1

Tasa anual de mortalidad (TAM) y tasa anual de reclutamiento (TAR) para flora ombrófila abierta con lianas (FOAL) y flora ombrófila densa (FOD) de la (UPA10) de la Unidad de Manejo Forestal (UMF) Uberlândia, Portel, Pará, Brasil.

Fitofisionomía	Parcelas	Individuos 2014	Individuos 2016	TAM (%)	TAR (%)
FOAL	7	107	75	17.77	0
	9	110	104	2.8	0
	11	130	120	4	0
	12	110	108	1.38	0.47
	13	111	105	2.78	0
	14	136	129	2.64	0
Media		110.5	106.5	5.23	0.08
D.E		12.36	18.39	6.2	0.19
FOD	1	120	95	12.21	0.53
	2	100	99	0.5	0
	3	100	94	3.63	0.53
	4	110	107	1.85	0.47
	5	139	130	3.35	0
	6	115	90	12.26	0
	8	95	78	10.5	0.65
	Media		110	95	6.33
D.E		15.16	16.27	5.12	0.3

Tabla 2

Mortalidad y reclutamiento de individuos (Ind) para flora ombrófila abierta con lianas (FOAL) y flora ombrófila densa (FOD) en la UPA 10 de la Unidad Manejo Forestal Uberlândia, Portel, Pará.

Fitofisionomía	Ind.2014	Ind. muertos/manejo	Ind. sobrevivientes 2016	Ind. reclutas
FOAL	704	53	640	1
FOD	779	79	689	4
Total	1,483	132	1,329	5

Tabla 3

Análisis de varianza (Anova) para mortalidad de individuos con DAP \geq 32 cm por la cosecha de madera por fitofisionomía y clase diamétrica en una Unidad de Producción Anual (UPA10), Portel, Pará, Brasil.

Variables	GL	SC	MC	Valor F	Prob (> F)
Ambiente	1	3.72	3.72	0.184	0.676
Clase diamétrica	2	59.69	29.84	5.62	0.01**

GL = Grados de libertad, SC = suma de cuadrados, MC = media cuadrática.

Tabla 4

Prueba de Tukey de comparaciones múltiples de clases diamétricas para mortalidad de individuos con DAP \geq 32 cm por la cosecha de madera en una Unidad de Producción Anual (UPA10), Portel, Pará, Brasil.

Clases diamétricas	EEE	Valor z	Pr (> z)
(32-49.9) - (\geq 70)	2.68	2.97	0.01**
(50-69.9) - (\geq 70)	0.1266	0.13	1
(50-69.9) - (32-49.9)	-2.56	-2.84	0.01*

EEE = Error estandar estimado

La mortalidad y reclutamiento para estos mismos bosques de la Amazonia brasileña (tabla 5) mostraron que la primera decrece conforme aumenta el tiempo posterior a la intervención ($r^2 = 0.69$; fig. 3), mientras tanto, las tasas de reclutamiento mostraron un crecimiento conforme aumenta el tiempo de monitoreo posterior a la cosecha de madera ($r^2 = 0.31$; fig. 4). Comportamiento que coincide con el descrito por Sheil y May (1996) y Lewis et al. (2004) para bosques tropicales. Esos mismos autores señalan que esta tendencia sucede como respuesta del bosque ante perturbaciones, ya sean naturales o antrópicas, y donde existe una estrecha relación entre mortalidad y reclutamiento. Se advierte que hay un punto de equilibrio entre los años 6 y 8 entre las tasas de mortalidad y reclutamiento, las cuales tienden a igualarse, alcanzando valores similares y posteriormente el reclutamiento suele ser superior a la mortalidad.

Mientras tanto, estudios en bosques no manejados de la Amazonia brasileña, mostraron valores muchos menores en mortalidad y reclutamiento que los bosques manejados. Como ejemplo de estos tenemos el estudio de Casas (2009), que encontró que las tasas anuales de mortalidad y reclutamiento de 1.24% y 1.25%, respectivamente, para 4 años de estudio, para individuos con DAP \geq 10 cm en un bosque de flora densa, siendo éstas muy semejantes entre sí. Otro bosque de flora densa para esta misma región e individuos del mismo diámetro y tiempo de observación del estudio anterior, presentó tasas de mortalidad y reclutamiento de 1.13% y 2.36% (Coelho, 2011), donde el reclutamiento fue superior al doble de la mortalidad. No obstante, en otro bosque de flora ombrófila abierta de la Amazonia, Colpini (2008) encontró tasas de mortalidad y reclutamiento anual de 0.78% y 0.3%, para individuos con DAP \geq 17 cm con 6 años de observación. Estos 3 trabajos muestran que la dinámica en términos de reclutamiento y mortalidad para los bosques no manejados es menor y lo cual es apoyado por Pereira (2000).

Por otro lado, Amaral et al. (2019) indicaron que los bosques sometidos a diferentes intensidades de tala selectiva evaluados durante 25 años en la Amazonia brasileña mostraron valores de mortalidad mucho mayores que en áreas no intervenidas. Esto corresponde con lo

añadido por Trochez y Rodríguez (2018), quienes señalan que el manejo de bosques tiende a aumentar la dinámica del bosque; ocasionando altas tasas de mortalidad sobre todo en los períodos recientes a la extracción de la madera, mientras tanto las tasas de reclutamiento suelen aumentar en los períodos posteriores a las operaciones de manejo dependiendo del tamaño de los claros y las condiciones de luz.

Cabe resaltar que, con nuestra búsqueda de literatura, nos enfrentamos a 2 grandes dificultades: 1) muy pocos estudios provenientes de áreas bajo manejo en la Amazonia brasileña cuentan con datos sobre dinámica en áreas no intervenidas, lo que es una gran limitante para poder medir el impacto real de las acciones del manejo y las estrategias a seguir para la conservación del bosque, y 2) la dificultad para encontrar protocolos con metodologías estandarizadas en los inventarios forestales para la Amazonia brasileña (Gonzalez y Phillips, 2012), siendo ésto una gran limitante para realizar las comparaciones entre estudios de dinámica forestal y máxime cuando la Amazonia es una región que se caracteriza por su gran diversidad ambiental y tipos de vegetación (Callegaro et al., 2015). Varios autores (Asner et al., 2005; Richardson y Peres, 2016; Zimmerman y Kormos, 2012) han notado que la productividad y sostenibilidad de los bosques de la Amazonia brasileña pueden estar comprometidas por la poca precisión con la que se miden impactos reales, causados por los sistemas de tala selectiva practicados en los planes de manejo forestal.

Con los análisis de mortalidad y reclutamiento de individuos, pudimos ver que la FOD sufrió mayor mortalidad, al mismo tiempo fue la que mostró más individuos reclutas con respecto a la FOAL (tabla 2). Por otro lado, registramos 1 individuo en 1.5 ha de inventario, cifra equivalente a 0.67 ind/ha en FOAL, mientras que en la FOF encontramos 4 individuos, equivalentes a 2.28 ind/ha. La baja cantidad de individuos reclutas en el primer tipo de bosque puede estar influenciada por la presencia de las lianas leñosas, las cuales son comunes en el primer tipo de bosque (Gama et al., 2007; IBGE, 2012). Este efecto puede explicarse, según Martínez et al. (2016), porque las lianas competían intensivamente con los árboles afectando el incremento de éstos, reduciendo el número de sobrevivientes así como el

número de reclutas, comportamiento descrito para bosques tropicales de Panamá.

Así mismo, en un estudio realizado en bosques tropicales de Camerún (Schnitzera et al., 2004), se encontró que las lianas ocasionaban grandes impactos en las áreas de manejo forestal con la apertura del dosel, ya que éstas aumentaban y dominaban en los claros, afectando el incremento y por ende el reclutamiento de los árboles, ameritando la aplicación efectiva de tratamientos silviculturales para el control de éstas. De acuerdo con Silva, Schwartz et al. (2018), el reclutamiento es uno de los mecanismos esenciales en la dinámica de los bosques ya que constantemente provee nuevos individuos y especies en las comunidades forestales como respuesta ante determinados disturbios o cambios ambientales causados por eventos

naturales o acción antrópica. Por éso, Fredericksen y Pariona (2002) agregan que el reclutamiento es de suma importancia para estudiar y garantizar la regeneración de las especies arbóreas comerciales, así como la sostenibilidad del manejo de bosques tropicales, ya que las operaciones de esta actividad por la acumulación de residuos y compactación de suelo, la modificación de las condiciones estructurales y ambientales sobre los bosque, limitan la resiliencia de las especies comerciales. Estos argumentos sugieren que la FOAL de nuestro trabajo puede ser seriamente afectada por la extracción de madera y si no se toma en consideración esta condición en los planes de manejo, posiblemente se podrían causar daños irreversibles en su estructura, lo que amerita una mejor valoración de las prácticas de manejo aplicadas actualmente.

Tabla 5

Comparación entre la tasa anual de mortalidad (TAM%) y tasa de reclutamiento (TAR%) medias de la UPA 10 con otros bosques sometidos a manejo forestal en la Amazonia brasileña.

Localidad	Fitofisionomía	Dap (cm)	TAM (%)	TAR (%)	Condición de bosque	Monitoreo (años)	Referencia
Amazonas	FOD	≥ 15	1.47	3.2	MIR	18	Silva, Azevedo et al., 2017
Amapá	FOD	≥ 10	1.47	0.93	MIR	6	Campelo, 2017
Amazonas	FOD	≥ 5	7.53	1.64	MIR	2	Martins et al., 2007
Pará	FOD	≥ 45	5.87	2.32	MIR	5	Silva et al., 2018
Pará	FOD	≥ 45	3.18	6.3	MIR	7	Silva et al., 2018
Pará	FOD	≥ 45	1.92		MIR	10	Silva, Schwartz et al., 2017
Pará	FOD	≥ 32	6.32	0.33	MIR	2	PE
Mato Grosso	FOA	≥ 17	1.14	0.21	MIR	6	Colpini et al., 2010
Pará	FOA	≥ 32	5.2	0.077	MIR	2	PE

FOD = Flora ombrófila densa; FOA = flora ombrófila abierta; PE = presente estudio; MIR = manejo de impacto reducido.

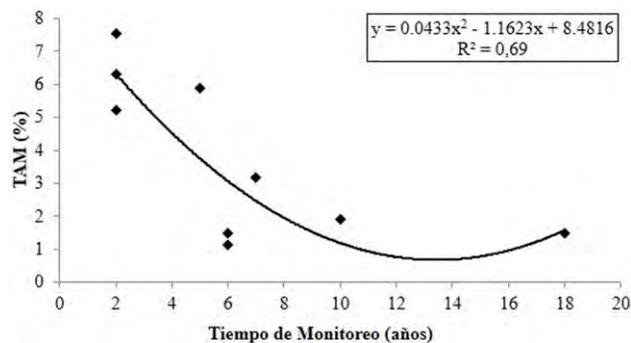


Figura 3. Tasas anuales de mortalidad (TAM) medias para diferentes bosques de flora ombrófila densa y abierta sometidos a manejo de impacto reducido en la amazonia brasileña.

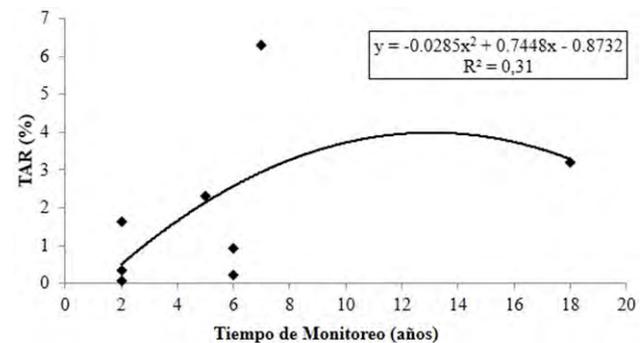


Figura 4. Tasas anuales de reclutamiento (TAR) medias para diferentes bosques de flora ombrófila densa y abierta sometidos a manejo de impacto reducido en la amazonia brasileña.

El comportamiento de la mortalidad encontrado por nuestro estudio se asemeja al reportado por Pereira (2000) para el Bosque Nacional Tapajós en la Amazonia brasileña en áreas bajo manejo, donde se registró que la mortalidad de árboles fue mayor para individuos menores a 45 cm de DAP. Una tendencia similar reportaron Bulfe et al. (2009) para bosques naturales de Argentina, quienes registraron que la mortalidad de individuos aumentaba para diámetros inferiores a 40 cm de DAP, tanto en bosques bajo manejo de impacto reducido como los manejados de manera convencional por la operación de derribo y extracción de los árboles comerciales. Así mismo, Richardson (2015) para la misma Amazonia paraense, donde se localiza nuestro estudio, registró que por cada árbol cosechado, son destruidos 11.7 ind por la tala selectiva en los planes de manejo de impacto reducido con diámetros menores a 23 cm de DAP. Por esta razón, de acuerdo con Silva, Schwartz et al. (2017), los estudios de la mortalidad son fundamentales ya que es uno de los procesos ecológicos y demográficos que predominan en la dinámica de los bosques y su comprensión es de suma importancia para implementar estrategias de manejo que aumenten los porcentajes de sobrevivencia en las áreas bajo manejo forestal. A estos argumentos le agregamos que el estudio de la mortalidad por medio de las clases diamétricas resulta ser una herramienta de gran importancia para medir con mayores detalles los impactos del manejo, ya que nuestro trabajo permitió mostrar que hay diferencias entre ambos bosques, lo cual sería valioso valorar para implementar en los modelos monitoreo de los planes de manejo de impacto reducido que se practican en la Amazonia brasileña.

Después analizar y discutir nuestros resultados vemos que la dinámica de los bosques dentro de las unidades de manejo forestal de la Amazonia brasileña debe mejorar la silvicultura de los sistemas de manejo de impacto reducido en varios aspectos: 1) organizar las unidades de producción utilizando una tipología forestal para su respectivo manejo y no estandarizado a grandes áreas con la misma receta de manejo, ya que se podría comprometer la productividad de futuros ciclos de manejo en vista a las variaciones en el reclutamiento entre ambos bosques; 2) mejorar los sistemas de monitoreo y evaluación de los bosques manejados usando las clases diamétricas como herramienta para medir con mayor precisión el impacto del manejo sobre la estructura del bosque remanente, permitiendo mejores estrategias de conservación y sostenibilidad del recurso; 3) estandarizar las métricas en los inventarios forestales para mejorar la silvicultura de los bosques bajo producción forestal, la cual sería una misión del gobierno brasileño a través de los órganos responsables de velar por el uso sostenible de los bosques; 4) monitoreo de las lianas (cuantificar su densidad a partir de cierto diámetro [por ejemplo ≥ 5 cm de DAP]) de modo que se

mida con mejor precisión la influencia sobre la dinámica de los bosques, ya que éstas como menciona la literatura, pueden aumentar los daños sobre los árboles remanentes y afectar su productividad forestal.

Lo anterior es de suma importancia para garantizar el compromiso de los sistemas de manejo de impacto reducido, como lo sugieren Trochez y Rodríguez (2018), añadiendo que es necesario recuperar las áreas afectadas por las operaciones de manejo, propiciando la regeneración de las especies comerciales extraídas en el primer ciclo de manejo y manteniendo el potencial económico y biológico de los bosques, máxime cuando el manejo de los bosques representa una de las principales actividades económicas de la Amazonia brasileña (Braz et al., 2017). Con base en esto, Angelo et al. (2014) sugieren la necesidad de un manejo forestal estratégico enfocado en un ordenamiento ecológico-económico, tal como se viene realizando con el agro, para poder organizar mejor la producción forestal y determinar con más precisión los ciclos de manejo.

Agradecimientos

A la Organización de Estados Americanos (OEA) y la Universidad Federal de Pará por medio del programa PAEC, que facilitó una beca de estudios para el primer autor. A la Empresa LN Guerra y al grupo Martins por las información y logística de campo para visitar las unidades de muestreo. También agradecemos a Alexandre Augusto Cardoso Lobato por la construcción del mapa y a Lucia Méndez por la traducción del resumen al idioma inglés. Finalmente, agradecemos al revisor anónimo y al editor de la Revista Mexicana de Biodiversidad, Fernando Álvarez, por sus contribuciones hechas al manuscrito.

Referencias

- Angelo, H., Silva, J. C., Almeida, A. N. y Pompermayer, R. S. (2014). Análise estratégica do manejo florestal na Amazônia brasileira. *Floresta*, 44, 341–348.
- Almeida, R. (2010). Amazônia, Pará e o mundo das águas do Baixo Tocantins. *Estudos Avançados*, 24, 291–298. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142010000100020>
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. y Sparovek, G. (2013). Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711–728.
- Amaral, M. R., Lima, A. J., Higuchi, F. G., Santos, J. y Higuchi, N. (2019). Dynamics of tropical forest twenty-five years after experimental logging in Central Amazon mature forest. *Forests*, 10, 1–17.
- Asner, G. P., Knapp, D. E., Broadbent, E. N., Oliveira, P. J., Keller, M. et al. (2005). Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*, 310, 480–482.
- Braz, E. M., Mattos, P. P., Verde, M. F., Basso, R. O. y Canetti, A. (2017). Otimização do ciclo de corte na Floresta Amazônica

- sob o ponto de vista econômico. (Comunicado técnico 402). PR. Brasil. EMBRAPA. Recuperado el 02 mayo de 2018, de <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1073850>
- Bulfe, N. M., Galvão, F., Filho, A. F. y Donagh, P. M. (2009). Efeitos da exploração convencional e de impacto reduzido em uma floresta estacional semidecidual na província de misiones, Nordeste da Argentina. *Floresta*, 39, 365–379. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v39i2.14563>
- Callegaro, R. M., Longhi, S. J., Andrzejewski, C. y Araujo, M. M. (2015). Regeneração natural de espécies arbóreas em diferentes comunidades de um remanescente de floresta ombrófila mista. *Ciência Rural*, 45, 1795–1801. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131098>
- Campelo, S. C. (2017). *Inventário florestal contínuo na floresta estadual do Amapá: dinâmica de espécies arbóreas e dimensão da unidade amostra (Tesis de maestría)*. Faculdade de Ciências Florestais, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, Brasil.
- Casas, F. S. (2009). *Dinâmica de uma floresta sob regime de manejo sustentável em escala empresarial na Amazônia Ocidental (Tesis de maestría)*. Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Amazonas, Brasil.
- Chaudhary, A., Burivalova, Z., Pin koh, L. y Hellweg, S. (2016). Impact of forest management on species richness: Global meta-analysis and economic trade-offs. *Scientific Reports*, 6, 23954.
- Coelho, S. F. (2011). *Dinâmica de uma floresta de terra firme na Estação Experimental de Silvicultura Tropical, Manaus, Amazonas (Tesis de maestría)*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Amazonas, Brasil.
- Colpini, C. (2008). *Dinâmica e prognose da produção de uma floresta de contato ombrófila aberta/estacional semidecidual (Tesis de maestría)*. Universidade Federal de Mato Grosso. Mato Grosso, Brasil.
- Colpini, C., Silva, V. S., Soares, T. S., Huguchi, N., Travagin, D. P. y Assumpção, J. V. (2010). Incremento, ingresso e mortalidade em uma floresta de contato ombrófila aberta/estacional em Marcelândia, Estado do Mato Grosso. *Acta Amazonica*, 40, 559–556. <http://dx.doi.org/10.1038/srep23954>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2004). Reduced impact logging in tropical forests. Recuperado el 17 de octubre de 2019, de <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/008/j4290e/J4290e.pdf>
- Fredericksen, T. S. y Pariona, W. (2002). Effect of skidder disturbance on commercial tree regeneration in logging gaps in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 171, 223–230. [https://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00767-8](https://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00767-8)
- Gama, J. R., Souza, A. L., Calegário, N. y Lana, G. C. (2007). Fitossociologia de duas fitocenoses de floresta ombrófila aberta no município de Codó, Estado do Maranhão. *Árvore*, 31, 465–477. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622007000300012>
- Giacomotti, T. J. y Reynel, R. C. (2018). Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque secundario tardío del valle de Chanchamayo, Perú. *Revista Forestal Perú*, 33, 42–51. <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1154>
- Godinho, B. T., Sousa, L. A., Rocha, A. J., Silveira, S. M., Prado, N. R., Castilho, M. G. et al. (2018). Estrutura e dinâmica de uma área manejada na Floresta Nacional do Tapajós. *Revista Agroecossistemas*, 10, 94–112. <http://dx.doi.org/10.18542/ragos.v10i2.5131>
- Gonzalez, L. y Phillips, O. L. (2012). Estudiando el Amazonas: la experiencia de la Red Amazónica de Inventarios Forestales. *Revista Ecosistemas*, 21, 118–125.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2012). *Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos*. R. J, Brasil. IBGE-Diretoria de Geociências. Recuperado el 20 agosto de 2017, de <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>
- ITTO (The International Tropical Timber Organization). (2000). State of art report on improved forest harvesting and reduced impact logging in Asia pacific region. Recuperado el 18 de octubre de 2019, de [https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2727/Technical/ppd%2019-99-1%20rev1\(F\)%20e.pdf](https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2727/Technical/ppd%2019-99-1%20rev1(F)%20e.pdf)
- Lewis, S. L., Phillips, O. L., Sheil, D., Vinceti, B., Baker, T. R., Brown, S. et al. (2004). Tropical forest tree mortality, recruitment and turnover rates: calculation, interpretation and comparison when census intervals vary. *Journal of Ecology*, 92, 929–944. <https://dx.doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00923.x>
- Magrath, A., Senior, R. A., Rogers, A., Nurdin, D., Benedick, S., Laurance, W. F. et al. (2016). Selective logging in tropical forests decreases the robustness of liana-tree interaction networks to the loss of host tree species. *Proceedings of the Royal Society B*, 283, 20153008. <https://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.3008>
- Martínez, I. L., Garcia, M., Powers, J. y Schnitzer, S. (2016). Lianas suppress seedling growth and survival of 14 tree species in a Panamanian tropical forest. *Ecology*, 97, 215–224. <https://dx.doi.org/10.1890/14-2261.1>
- Martins, T. L., Chambers, J. Q., Rodrigues, S. C., Nogueira, L. A., Colares, C. V., Santos, J. et al. (2007). Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra firme, região de Manaus-AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. *Acta Amazonica*, 37, 377–384. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672007000300009>
- Mosquera, H. Q., Ibargüen, R. R. y Palacios, Y. A. (2009). Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque pluvial tropical de Chocó, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62, 4855–4868.
- OIMT (La Organización Internacional de las Maderas Tropicales). (2015). Directrices voluntarias para la ordenación y el manejo sostenible de los bosques tropicales naturales. Serie de políticas forestales OIMT No 20. Recuperado el 17 octubre de 2019, de https://www.itto.int/direct/topics/topics_pdf_download/topics_id=4330&no=0&_lang=es&disp=inline

- Pereira, C. J. (2000). Tree recruitment and mortality over eight years after logging in a terra firme rain forest in Brazilian Amazonia; manejo integrado de florestas úmidas Neotropicales por indústrias e comunidades. En *Simpósio Internacional da IUFRO* (pp. 114-123). Belem, Pará, Brasil. EMBRAPA. Recuperado el 14 octubre de 2017, de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/173120/1/Tree-recruitment.pdf>
- Richardson, V. A. (2015). *The economic and ecological sustainability of the Amazonian timber industry (Tesis doctoral)*. University of East Anglia, Norwich, UK.
- Richardson, V. A. y Peres, C. A. (2016). Temporal decay in timber species composition and value in amazonian logging concessions. *Plos One*, *11*, e0159035. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0159035>
- RStudio Team. (2018). *Computational many-particle Physics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Lect Notes Phys. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-74686-7_18
- Santos, I. V., Balieiro, S., Matto, R., Ramos, Y., Santos, R. N. y Quadro, A. G. (2016). *Identificação, manejo e monitoramento de florestas de alto valor de conservação (HCVS) da Unidade de Manejo Florestal-UMF Uberlândia, Portel, Para, Brasil*. Informe Técnico. Belem, Brasil. Grupo LN Guerra.
- Schnitzera, S. A., Parrena, M. P. y Bongersa, F. (2004). Recruitment of lianas into logging gaps and the effects of pre-harvest climber cutting in a lowland forest in Cameroon. *Forest Ecology and Management*, *190*, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.10.008>
- Sheil, D. y May, R. M. (1996). Mortality and recruitment rate evaluations in heterogeneous Tropical Forests. *Journal of Ecology*, *84*, 91–100. <https://www.jstor.org/stable/2261703>
- Silva, D. L., Schwartz, G., Carmo, L. J. y Assis, O. F. (2018). Growth, mortality, and recruitment of tree species in an Amazonian rainforest over 13 years of reduced impact logging. *Forest Ecology and Management*, *430*, 150–156. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.024>
- Silva, D. L., Schwartz, G., Mazzeib, L., Carmo, L. J., Alves, S. G. y Assis, O. F. (2017). Mortality of stocking commercial trees after reduced impact logging in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, *401*, 1–7. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.060>
- Silva, J. N., Lopes, J. C., Oliveira, L. C., Silva, S. M., Carvalho, J. O., Costa D. H., et al. (2005). Diretrizes para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia brasileira. Belém, PA, Brasil: EMBRAPA Amazônia Oriental. Recuperado el 15 agosto de 2017, de: <http://bommanejo.cpatu.embrapa.br/arquivos/6-Silvaetal2006.pdf>
- Silva, P. H., Gomide, R. L., Carvalho, L. M. y Filho, A. C. (2018). Optimal selective logging regime and log landing location models: a case study in the Amazon forest. *Acta Amazônica*, *4*, 18–2. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201603113>
- Silva, S. M., Azevedo, C., Rodrigues, S. C., França, M. y Vasconcelos, N. E. (2017). Dinâmica e produção de uma floresta sob regime de manejo sustentável na Amazônia Central. *Floresta*, *47*, 55–63. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v47i1.43312>
- Trochez, E. E. y Rodríguez, L. D. (2018). *Efectos del aprovechamiento de madera en los bosques latifoliados tropicales con énfasis en Centroamérica*. Estudio técnico. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. Recuperado el 15 agosto de 2017, de: <https://paisajecentinela.org/NicaraguaHonduras/wp-content/uploads/2018/03/Efectos-aprovechamiento-de-madera-en-bosques.pdf>
- Velepucha, P. A. (2013). *Los efectos de intervenciones forestales y la variabilidad climática sobre la dinámica a largo plazo de bosques tropicales en el noreste de Costa Rica (Tesis de maestría)*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.
- Wong-González, E. (2010). ¿Después de análisis de varianza... qué? Ejemplos en Ciencias de alimentos. *Agronomía Mesoamericana*, *2*, 349–56. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v21n02_349.pdf
- Zimmerman, B. L. y Kormos, C. F. (2012). Prospects for sustainable logging in Tropical Forests. *BioScience*, *62*, 479–487. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.5.9>