

Ley de Acceso a la Información como instrumento para la realización de investigaciones forestales en Brasil

Diego dos Santos Vieira^{1*} Marcio Leles Romarco de Oliveira¹ Bruno Oliveira Lafetá²

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Departamento de Engenharia Florestal, Rodovia MGT 367 - KM 583, 5000, Diamantina -MG, Brasil

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), Departamento de Engenharia Florestal, Av. Primeiro de Junho, 1043, São João Evangelista - MG, Brasil

Original Article

*Corresponding author:
diegovieir4@gmail.com

Keywords:

Federal Law No. 12.527

Forest inventories

Amazon

Palavras-chave:

Ley Federal nº 12.527

Inventarios forestales

Amazonía

Received in

2023/01/10

Accepted on

2023/08/07

Published in

2023/09/30



DOI:

<http://dx.doi.org/10.34062/af.s.v10i3.14877>

RESUMEN: La Ley de Acceso a la Información (LAI) permite el acceso a cualquier información, siempre que no sea confidencial o personal. Los inventarios forestales presentados a los organismos públicos probablemente entran en el ámbito de la LAI, lo que los convierte en una solución viable a la falta de recursos financieros que subsidian la investigación forestal en la Amazonia. El objetivo fue evaluar la LAI como instrumento para realización de investigaciones forestales y, con base en ello, evaluar la estructura diamétrica y el patrón espacial de copaíba y uchi. El protocolo para solicitar el acceso al inventario forestal se realizó por medio del e-SIC. La estructura diamétrica ese calculó para una amplitud de 10 cm, mientras que el patrón espacial se obtuvo por la función K de Ripley. Los inventarios forestales están sujetos a la LAI y por tanto, no se consideran confidenciales ni personales. El período de obtención de inventarios fue de 20 a 30 días. El período, ubicación, objeto requerido y el recorte temático son aspectos fundamentales para aprobar la solicitud de acceso a los inventarios forestales. Las especies presentaron una estructura diamétrica tendiente a la normalidad. Esto sugiere un desequilibrio entre las tasas de mortalidad y de reclutamiento causado por la baja producción de semillas o condiciones edafoclimáticas desfavorables. La especie uchi presentó un patrón espacial agregado, mientras que los árboles de copaíba presentaron un patrón variable en función de la distancia. Estos patrones espaciales son resultados de los síndromes de dispersión y heterogeneidad del hábitat.

Law on Access to Information as an instrument for conducting forestry research in Brazil

ABSTRACT: The Law on Access to Information (LAI) allows access to any information, as long as it is not confidential or personal. Forest inventories submitted to public agencies probably fall within the scope of the LAI, which makes them a viable solution to the lack of financial resources that subsidize forestry research in the Amazon. The objective was to evaluate the LAI as an instrument for conducting forestry research and, based on this, to evaluate the diametrical structure and the spatial pattern of copaíba and uchi. The protocol to request access to the forest inventory was carried out through the e-SIC. The diametrical structure was calculated for a 10 cm amplitude, while the spatial pattern was obtained by Ripley's K function. Forest inventories are subject to the LAI and therefore are not considered confidential or personal. The inventory acquisition period was 20 to 30 days. The period, location, required object and thematic cut are fundamental aspects to approve the request for access to forest inventories. The species presented a diametrical structure tending to normality. This suggests an imbalance between mortality and recruitment rates caused by low seed production or unfavorable soil and climatic conditions. The uchi species presented an aggregate spatial pattern, while the copaíba trees presented a variable pattern depending on the distance. These spatial patterns are results of dispersal syndromes and habitat heterogeneity.

Introducción

La estructura diamétrica y el patrón espacial son los aspectos estructurales más estudiados en las especies arbóreas de la Amazonía. Esto se debe a que permiten la realización de diversos supuestos sobre su pasado, presente y futuro (Abreu et al. 2014). La estructura diamétrica permite hacer inferencias sobre el historial de desarrollo de una especie (Alves-Junior et al. 2007), definir criterios de aprovechamiento forestal (Orellana et al. 2014), crear estrategias para el mantenimiento, recuperación y conservación de los bosques (Costa et al. 2019) y ayudar en la toma de decisiones sobre la necesidad de aplicar tratamientos silvícolas (Abreu et al. 2014). El patrón espacial proporciona indicaciones sobre los procesos biológicos subyacentes y el estado funcional de los ecosistemas, reflejando parte de su historia y demostrando sus efectos sobre las interacciones entre especies (Stamatellos y Panourgias, 2005).

El patrón espacial también permite la selección de árboles matrices (Martins et al. 2003) y la aplicación de prácticas de conservación y manejo forestal, ya que facilita la planificación del aprovechamiento forestal, minimizando los costos de transporte de equipos (Moraes et al. 2017). Además, facilita la planificación de los inventarios forestales, ya que la forma en que se distribuyen las especies es fundamental para determinar el proceso y diseño de muestreo y la adecuación del tamaño y forma de las unidades de muestreo, lo que tendrá una gran influencia en el valor de costos y en el coeficiente de variación del inventario forestal (Vieira et al. 2017).

Así, las inferencias obtenidas de la estructura diamétrica y patrón espacial son fundamentales para el buen manejo y conservación de las especies arbóreas, especialmente aquellas con valor comercial y altos niveles de explotación (Vieira et al. 2021). Sin embargo, el problema con la mayoría de las investigaciones sobre estructura diamétrica y patrón espacial de especies arbóreas en la Amazonía es que se llevan a cabo a través de inventarios forestales de muestras, que se basan en procesos de muestreo fundamentados en la ocurrencia aleatoria de eventos en el espacio. Esto significa que una gran parte de las especies no se muestrean adecuadamente, ya que existe un consenso de que muchas especies de árboles tropicales se distribuyen de forma agregada (Condit et al. 2000; Capretz 2004).

Un muestreo inadecuado puede conllevar a condiciones que no representan la estructura diamétrica de las especies. Además, los índices de agregación que se utilizan con frecuencia para determinar el patrón espacial (por ejemplo, el índice de Morisita, Payandeh, MacGuinnes) se basan en el uso de unidades de muestreo y llevan en su esencia simplificaciones de la realidad. Esto se debe a que

solo se ocupan del conteo de árboles dentro de las unidades de muestreo, lo que ocasiona pérdida de información para el análisis del patrón espacial (Capretz 2004). Al mismo tiempo, estos índices tienen la incapacidad de probar, simultáneamente, interacciones a diferentes escalas de distancia y relaciones entre pares de eventos, limitándose solo al área de la unidad de muestreo (Sternier et al. 1986). Esto provoca que se vean influenciados por la intensidad de muestreo y por el tamaño de la unidad muestral, debido a la relación entre el tamaño del individuo, el tamaño de la parcela y la escala espacial de la distribución, que inciden directamente en la abundancia y frecuencia, parámetros clave en el cálculo de estos índices (Zhang et al. 2013).

Ambos problemas se superarían si la estructura diamétrica y el patrón espacial de las especies forestales se llevaran a cabo con datos de los censos forestales. Sin embargo, los censos son costosos y requieren mucho tiempo para llevarlos a cabo (Fick 2011). En la Amazonía se realizan principalmente para la elaboración de Planes Operativos Anuales (POAs), los cuales son extremadamente fundamentales para la emisión de autorizaciones de aprovechamiento forestal. Además, existe el requisito de formalizar los censos forestales con los POAs en el organismo de fiscalización (por ejemplo, ICMBio), para verificar la confiabilidad de las informaciones de los POAs. Esta obligación sugiere que el ciudadano brasileño o extranjero puede obtener estos censos forestales de forma gratuita a través de la Ley Federal n°. 12.527, del 18/10/2011 (Ley de Acceso a la Información), que regula el derecho constitucional de acceso de los ciudadanos, a la información pública disponible de los organismos públicos de la Unión, estados, Distrito Federal y de los municipios.

Entonces, ¿por qué no utilizar estos censos para realizar investigaciones que resuelvan problemas de emprendimientos forestales, como el muestreo de especies agregadas, o simplemente para crear políticas públicas de conservación orientadas a intereses colectivos? Desde este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar si los datos de los inventarios forestales se ajustan a la Ley de Acceso a la Información. De ser así, se evaluó la estructura diamétrica y el patrón espacial de dos especies de uso múltiple en el Bosque Nacional Tapajós (*Copaifera langsdorfii* Desf. y *Endopleura uchi* (Huber) Cuatrec.) para ayudar en el manejo y conservación de estas especies en la Amazonía. Las hipótesis que guiaron este estudio fueron: H_{01} = los inventarios forestales no se encuadran en la Ley de Acceso a la Información; H_{11} = se rechaza H_{01} ; H_{02} = ambas especies tienen una distribución diamétrica de J-invertida y un patrón espacial aleatorio; y H_{12} = se rechaza H_{02} .

Material y Metodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la Unidad de Producción Anual n° 13 (UPA₁₃), perteneciente a la Cooperativa Mixta del Bosque Nacional Tapajós. UPA₁₃ tiene 612 hectáreas. El clima de la región, según la clasificación de Köppen, es del tipo Ami, con temperatura y precipitación promedio anual de 25.5 °C y 1.820 mm, respectivamente (Alvares et al. 2013). El relieve es poco accidentado y la topografía varía de levemente ondulada a ondulada, con predominio del Xanthic Oxisols. La vegetación se clasifica como bosque ombrófilo denso de tierra firme, caracterizado por el predominio de grandes individuos arbóreos y por la abundancia de lianas leñosas, palmeras y epifitas (Andrade et al. 2015).

Recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante un censo forestal. Todos los árboles con un diámetro a 1,30 m del suelo (DAP) igual o superior a 30 cm medidos y mapeados (UTM). El censo incluyó varias especies, sin embargo, sólo fueron seleccionadas las especies *Copaifera langsdorfii* Desf. (copaiba) y *Endopleura uchi* (Huber) Cuatrec. (uchi), por su importancia económica y ecológica en la Amazonía. El censo fue adquirido en el Instituto Chico Mendes para la Conservación de la Biodiversidad (ICMBio), mediante la Ley Federal n° 12.527 del 18/10/2011, Ley de Acceso a la Información (LAI). Los datos fueron solicitados a través del Servicio de Acceso a la Información del (e-SIC) del ICMBio, cumpliendo el principio de transparencia pasiva. El número del protocolo de la solicitud fue 02680.002375/2018-65. El organismo elegido fue el ICMBio por ser este el encargado de aprobar el proceso de Manejo Forestal Sostenible de las Unidades de Conservación, al recibir las bases de datos de los censos forestales que se utilizan en la elaboración de los Planes Operativos Anuales (POAs).

Análisis de datos

La Ley Federal n° 12.527 de 18/10/2011 (Ley de Acceso a la Información) se evaluó en cuanto a la capacidad de obtener o no la información solicitada, buscando narrar las dificultades y aspectos esenciales para la aprobación de la solicitud de información sobre los inventarios forestales en el ICMBio y el plazo de respuesta. Además, se creó una estructura de solicitud de información para futuros protocolos con el ICMBio. Las solicitudes fueron formalizadas en el Sistema Electrónico del Servicio de Información al Ciudadano (e-SIC), ubicado en la dirección electrónica <https://www.gov.br/acessoainformacao/pt-br>. La solicitud de información siguió el modelo que se describe a continuación. La validación de este

modelo se realizó a través del protocolo de una nueva solicitud (0268.000209/2019-13), pero cambiando los aspectos de ubicación (para los estados de Acre, Amazonas y Pará), enfoque temático (para Unidades de Conservación) y período (para 2010-2016).

[CIUDAD] - [FECHA]
[NOMBRE DEL ÓRGANO PÚBLICO]

Estimado (a),

[NOMBRE DE LA PERSONA FÍSICA O JURÍDICA], con base en el art. 5 (XXXIII) de la Constitución Federal y en los arts. 10, 11 y 12 de la Ley n° 12.527/2001 - Ley de Acceso a la Información Pública – nos dirigimos respetuosamente a usted, con el objetivo de solicitar acceso a la siguiente información:

[DESCRIPCIÓN DETALLADA, CLARA Y PROPÓSITO DE LA INFORMACIÓN REQUERIDA] El solicitante solicita acceso a las bases de datos de inventarios forestales parciales y 100% de los Planes de Manejo Forestal Sostenible, de las Unidades de Conservación del estado de Pará, procesados en los años de 2017 a 2018.

De conformidad con el art. 11 de la Ley n° 12.527, del 18 de noviembre de 2011, el acceso a la información solicitada debe ser inmediato. De no ser posible el acceso inmediato, la respuesta, de acuerdo con el artículo antes mencionado, deberá enviarse en un plazo máximo de 20 (veinte) días, contados a partir de la presentación de esta solicitud ante este [NOMBRE DEL ORGANISMO PÚBLICO]. La información se recibirá a través del sistema e-SIC, sin embargo, si es necesario, comuníqueme la siguiente dirección de correo electrónico [CORREO ELECTRÓNICO DEL SOLICITANTE]. Les pido que, de ser posible el acceso, mantengan la integridad de la información.

Atentamente,

Estructura diamétrica y patrón espacial

Con el inventario forestal puesto a disposición en la primera solicitud de información, se realizaron tres análisis para mostrar la aplicabilidad de los datos obtenidos a través del LAI, a saber: estructura diamétrica, patrón espacial de copaiba y uchi. La estructura diamétrica se evaluó considerando una amplitud de 10 cm, desde el DAP \geq 30 cm. Se ajustaron tres funciones de densidad probabilística (FDPs): Weibull-2P, Normal y Exponencial. Los parámetros de las FDPs se obtuvieron mediante el método de máxima verosimilitud. El método de optimización utilizado fue el Nelder-Mead. La adherencia a las FDPs se evaluó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov

(K-S), al 95% de probabilidad, y por el criterio de información de Akaike (AIC).

El patrón espacial de las especies se obtuvo mediante la función $K(s)$ de Ripley. El sesgo en el cálculo del estimador de esta función $K(s)$, causado por árboles ubicados en los bordes del área, se corrigió utilizando el estimador con corrección isotrópica de borde (1) (Ripley, 1977).

$$K(s) = \frac{1}{\hat{\lambda}_n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{W_i} (x_i, x_j) I(\|x_i - x_j\| < s)$$

donde: n = número de árboles en la región de estudio; X_i y X_j = coordenadas de los puntos en el mapa; $\|X_i - X_j\|$ = Distancia euclidiana entre la ubicación X_i y X_j ; s = vector de distancia arbitrario; W_i $I(X_i, X_j)$ = función de corrección para el efecto de borde, que representa la proporción de la circunferencia con centro en X_i y con radio $\|X_i - X_j\|$ que está fuera de la región de estudio; $\hat{\lambda}_n = n/A$ = número de árboles dividido por el área de la región de estudio, siendo un estimador insesgado de la intensidad del proceso; e $I(U)$ = función indicadora que asume el valor uno (1) cuando la condición U es verdadera y cero (0) cuando es falsa.

La función $K(s)$ Ripley se calculó para un círculo con radio s de 10 m centrado en cada individuo, en el que se contó el número de vecinos presentes en el área de dicho círculo. Variando el radio s a una distancia máxima de 1.100 m, se detectó el patrón espacial de la especie a diferentes escalas de distancia. La significancia de los valores de $K(s)$ se determinó a partir de la construcción de un intervalo de confianza de Completa Aleatoriedad Espacial (CAE), a través de 1.000 simulaciones de Monte Carlo (Besag y Diggle, 1977). Los valores de $K(s)$ se transformaron en $L(s)$, según la expresión (2), y se distribuyeron en función de las distancias s acumuladas (Ripley 1977).

$$L(s) = \sqrt{\frac{K(s)}{\pi}}$$

donde: $K(s)$ = función K de Ripley, con corrección isotrópica de borde; y s = vector de distancia arbitrario.

El intervalo de confianza, determinada por dos líneas de contorno punteadas, una positiva y otra negativa, delimitó la región de Completa Aleatoriedad Espacial (CAE). Si los valores observados de $L(s)$, identificados por una línea continua, están dentro de los intervalos construidos, el patrón espacial es aleatorio; de lo contrario, se rechaza la hipótesis nula de CAE y se supone que el patrón espacial es agregado, al pasar el límite superior del intervalo, y regular, al pasar el límite inferior (Ripley 1977).

Resultados y discusión

Se formalizaron tres solicitudes de información en el e-SIC para obtener los datos utilizados. La denegación de acceso para los dos primeros protocolos (02680.002374/2018-11 y 0268.002373/2018) se determinó porque las solicitudes se consideraron genéricas y desproporcionadas. Pero, para una buena eficiencia de la relación Estado-ciudadano, siempre que las solicitudes fueran calificadas como tales, el organismo señaló la información faltante o mal presentada que permitiría el servicio. La desproporcionalidad estuvo relacionada con la inviabilidad de la rutina de la agencia para producir la respuesta, provocando un daño injustificado a los derechos de otros ciudadanos. Esto fue apoyado por el Decreto No. 7.724 del 16/05/2012, que en el art. 13 menciona que no se deben atender solicitudes que requieran análisis, interpretación o consolidación de datos e informaciones. Con cada denegación de acceso, las solicitudes de informaciones se concluían y otras nuevas se presentaban. El plazo de respuesta se reiniciaba con cada formalización.

Solo en el último protocolo (0268.002375/2018-65) se disponibilizaron las informaciones. Esto permitió asegurar que las bases de datos del inventario forestal cumplen con la Ley Federal n° 12.527 y, por lo tanto, no se consideran confidenciales ni personales. El tiempo para obtener la información fue de 29 días, dentro del plazo determinado de 20 días, prorrogables por otros 10 días, previa justificación. La justificación que dio el órgano para la extensión del plazo fue el tiempo para reunir la información. Se pusieron a disposición siete bases de datos de censos forestales, que se utilizaron para la elaboración de los POAs en la Reserva Extractiva Verde para Siempre (PA) y en el Bosque Nacional Tapajós (PA), y solo un inventario forestal muestral, que se llevó a cabo en Resex Verde para Siempre (PA). Todas las bases de datos se pusieron a disposición a través del e-SIC y están disponibles en el sitio web <https://www.gov.br/acessoainformacao/pt-br>, en la sección "Búsqueda de solicitudes y respuestas".

La principal desventaja de obtener datos a través de la Ley Federal No. 12.527 fue la falta de información sobre cómo se realizaron los inventarios forestales (es decir, procesos de muestreo, número de parcelas, tamaño de las parcelas, tamaño de las franjas censales del bosque). Esto parece ser eludido solicitando los Planes Operativos Anuales y el Plan de Manejo Forestal Sostenible (PMFS). Sin embargo, se debe tener cuidado porque el exceso de artículos pedidos en una sola solicitud puede clasificarla como desproporcionada. Por lo tanto, es importante que el modelo de solicitud descrito en esta investigación sea considerado para futuras solicitudes, ya que fue eficiente. La solicitud de información (0268.000209/2019-13) realizada para

validar el modelo propuesto no tuvo ninguna denegación de acceso.

En este caso, las bases de datos se recuperaron en 20 días, 9 días más rápido que el número de solicitud 02680.002375/2018-65. La eliminación del aspecto de ubicación no comprometió la solicitud de información, ya que no se consideró genérica y/o desproporcionada. En total, se pusieron a disposición más de 20 bases de datos de inventarios parciales y censos forestales realizados en las Resex Chico Mendes (AC), Verde para Siempre (PA), Ituxi (AM), y en los Bosques Nacionales Tapajós (AM) y Purus (AM). La única diferencia observada con relación a la solicitud anterior es que las bases de datos se pusieron a disposición a través del correo electrónico del solicitante, imposibilitando que otros usuarios tuvieran acceso a estas bases de datos a través del sitio [web: https://www.gov.br/acessoainformacao/pt-br](https://www.gov.br/acessoainformacao/pt-br).

Estructura diamétrica y patrón espacial

El censo forestal registró 0,19 y 0,27 árboles ha^{-1} de copaiba y uchi, respectivamente. Estos valores muestran que se trata de especies raras (es decir, menos de un árbol por hectárea), con baja densidad de árboles maduros. Esto probablemente sea característico de estas especies, ya que investigaciones realizadas en otras áreas muestran valores por debajo de 1,0 árboles ha^{-1} , incluso para inventarios forestales que midieron árboles con $\text{DAP} \geq 10$ cm. Schwartz et al. (2008), en el suroeste del

estado de Pará, registraron 0,29 y 0,41 árboles ha^{-1} de copaiba y uchi, respectivamente, incluso al analizar árboles con $\text{DAP} \geq 25$ cm. Herrero-Jáuregui et al. (2012), al evaluar árboles con $\text{DAP} \geq 45$ cm, registraron 0,17 y 0,12 árboles ha^{-1} de copaiba en las áreas Ambé y Dendrogene, respectivamente, ubicadas en el Bosque Nacional Tapajós, y 0,21 árboles ha^{-1} en el área del Instituto de Bosque Tropical, en Paragominas (PA). Shanley y Gaia (2004) y Batista et al. (2015) registraron 0,36 y 0,04 ha^{-1} árboles de uchi con $\text{DAP} \geq 10$ cm y $\text{DAP} \geq 40$ cm, respectivamente.

El diámetro a 1,30 m del suelo (DAP) de los árboles de copaiba osciló entre 30,2 y 111,4 cm, con un rango intercuartílico de 25,9 cm, lo que indica que el 50% de los árboles tienen un diámetro entre 49,0 y 74,9 cm (Tabla 1). El diámetro mínimo y máximo de los árboles uchi fue de 40,1 y 105,4 cm, respectivamente. El rango intercuartílico fue de 17,2 cm, mostrando que el 50% de los árboles tienen diámetros entre 49,6 y 66,8 cm. Los coeficientes de variación del DAP fueron relativamente bajos (29,3 y 23,8%), ya que se trata de poblaciones no equitativas. Los coeficientes de asimetría de Fisher (g_1) sugirieron que ambas poblaciones tienen asimetrías positivas ($g_1 > 0$), con colas más largas a la derecha. Los valores de curtosis (g_2) fueron -0,18 y 0,78, lo que indica que las curvas de distribución de diámetro para copaiba y uchi son leptocúrticas ($g_2 > 0$) y platicúrticas ($g_2 < 0$), respectivamente. Esto muestra que la curva de diámetro de copaiba es más cónica con un pico más alto que una curva normal, mientras que la curva de uchi es más plana.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas para el diámetro a 1,30 m del suelo (DAP) de los árboles copaiba y uchi en el Bosque Nacional Tapajós, estado de Pará.

| Especies | n | MEDIA | Q _{0,25} | MEDIANA | Q _{0,75} | s | g ₁ | g ₂ | MÍNIMO | MÁXIMO | IQR |
|----------|-----|-------|-------------------|---------|-------------------|------|----------------|----------------|--------|--------|------|
| Copaiba | 119 | 62,4 | 49,0 | 60,5 | 74,9 | 18,3 | 0,50 | -0,18 | 30,2 | 111,4 | 25,9 |
| Uchi | 169 | 58,6 | 49,6 | 56,6 | 66,8 | 11,8 | 0,82 | 0,78 | 40,1 | 105,4 | 17,2 |

donde: = número de árboles; Q_{0,25} e Q_{0,75} = primer y tercer cuartil, respectivamente; s = desviación estándar de la muestra, g₁ e g₂ = coeficientes de asimetría y curtosis, respectivamente; e IQR = rango intercuartil.

Ambas especies presentaron distribución diamétrica tendiente a la normalidad. Esto muestra que hay pocos árboles en las clases de menor diámetro, alta abundancia en las clases intermedias y una marcada reducción hacia las clases de mayor diámetro (Figura 1). Herrero-Jáuregui et al. (2012) y Cordeiro (2013), en el oeste del estado de Pará, registraron la misma tendencia para dos poblaciones de copaiba con $\text{DAP} \geq 15$ cm y $\text{DAP} \geq 10$ cm, respectivamente. En ambas investigaciones, las clases de diámetro por debajo de 30 cm mostraron pocos árboles y una tendencia creciente hacia clases intermedias. Schwartz et al. (2008), en el suroeste

del estado de Pará, observaron una estructura diamétrica sin tendencia para árboles de uchi con $\text{DAP} \geq 25$ cm. Además, desde un punto de vista estadístico, la estructura diamétrica de copaiba y uchi fueron descritas por las funciones Normal y Weibull-2P (Tabla 2). La función exponencial no fue adecuada para describir la estructura diamétrica de estas especies, ya que los valores de D_{CAL} fueron más altos que los de D_{TAB} , además de mayores AICs. Esto indica que el comportamiento exponencial negativo (J-invertido) no es característico de estas poblaciones.

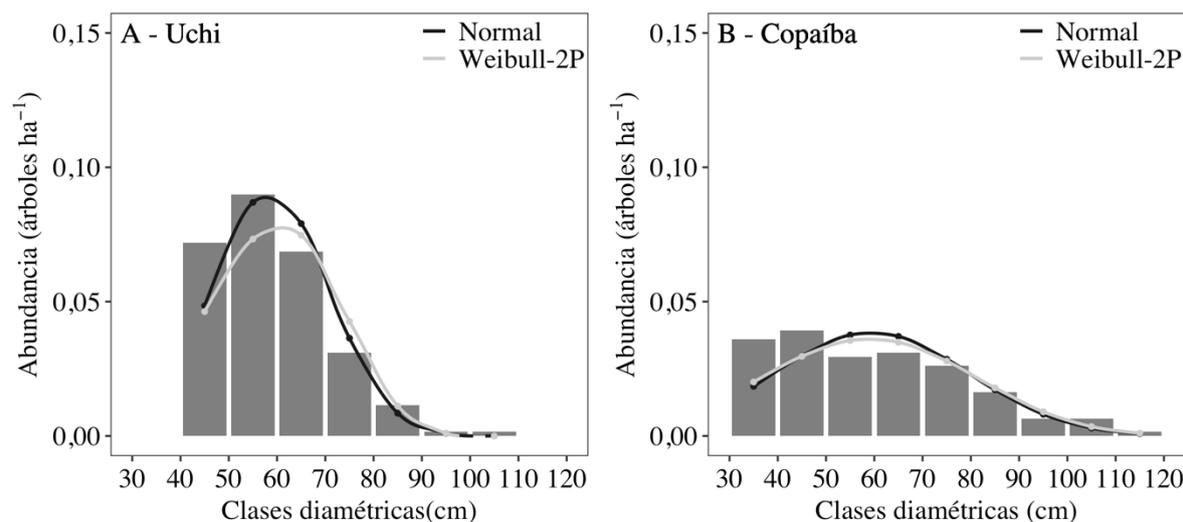


Figura 1. Estructura diamétrica de las poblaciones de copaíba y uchi en el Bosque Nacional Tapajós, occidente del estado de Pará.

Tabla 2. Abundancia y clasificación de las funciones de densidad probabilística ajustadas para copaíba y uchi, Bosque Nacional de Tapajós, occidente del estado de Pará.

| Especies | DA | - | Funciones de densidad probabilística | | |
|----------|------|------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------|
| | | | Weibull-2P | Normal | Exponencial |
| Copaíba | 0,19 | D _{TAB} | 0,125 | 0,125 | 0,125 |
| | | D _{CAL} | 0,082 ^{ns (2)} | 0,080 ^{ns (1)} | 0,385* (3) |
| | | AIC | 1033,8 | 1032,3 | 1223,8 |
| Uchi | 0,27 | D _{TAB} | 0,105 | 0,105 | 0,105 |
| | | D _{CAL} | 0,098 ^{ns (2)} | 0,080 ^{ns (1)} | 0,495* (3) |
| | | AIC | 1337,8 | 1316,9 | 1715,9 |

donde: DA = número de árboles por hectárea; D_{TAB} y D_{CAL} = valor D tabulado y calculado, respectivamente, a partir de la prueba de Kolmogorov-Smirnov; ^{ns} = no significativo, con 95% de probabilidad; * = significativo, con 95% de probabilidad; (1), (2), ..., (n) = clasificación de las funciones de densidad probabilística.

La ausencia o baja abundancia de árboles en la clase de 30-40 cm indica que probablemente la ocurrencia de un desequilibrio entre las tasas de mortalidad y el reclutamiento de árboles en las clases anteriores, causado por factores antropogénicos o naturales. En relación a la copaíba, esto probablemente sea consecuencia del bajo número de árboles con un excelente patrón fenológico (Rigamonte-Azevedo 2004). Además, es una especie con fructificación anual, bianual y en ocasiones supra-anual, lo que hace que el reclutamiento dependa de eventos fenológicos reproductivos (Alencar 1984; Pedroni et al. 2002). Los cambios climáticos, que han venido produciendo menores precipitaciones, también pueden afectar la capacidad reproductiva de las especies arbóreas y, en consecuencia, el establecimiento de nuevos individuos. En el futuro, esto puede afectar el reclutamiento de nuevos árboles en clases de diámetro 10-20, 20-30 cm y posteriores, y comprometer su presencia futura en la UPA₁₃.

La germinación y el lento crecimiento de las plántulas, la lenta reproducción de los árboles adultos, la alta tasa de mortalidad dependiente de la densidad y el porcentaje de recolección de semillas

de uchi, son hipótesis que explicarían la ausencia total de árboles en la clase de diámetro de 30-40 cm. La recolección de semillas probablemente sería la hipótesis más aceptada. Esto se debe a que es una especie de fruta comestible no maderable (Shanley y Gaia, 2004). Además, la cercanía de la zona a las comunidades tradicionales ubicadas a orillas de la carretera BR-163 y en los alrededores del Bosque Nacional Tapajós favorece la recolección de semillas, especialmente para las que se realizan de manera ilegal. Shanley y Medina (2005) también muestran que el 32% de los frutos y semillas del uchi son consumidos por animales salvajes (por ejemplo, pacas, ciervos y pecaríes), lo que sugiere un posible cambio en la dinámica de regeneración del uchi. Otra hipótesis aceptada es que ambas poblaciones padecen el síndrome del bosque vacío. Esto significa que la fauna polinizadora está en declive, afectando los procesos de polinización y provocando restricciones en la producción de frutos, semillas y plántulas (Carvalho 2010).

La especie copaíba cumplió parcialmente con la hipótesis de Completa Aleatoriedad Espacial (CAE). El patrón espacial varió en función de la distancia máxima de 1.100 m (Figura 2B). Hasta 410

m, los árboles se distribuyeron aleatoriamente en el espacio, cambiando a un patrón agregado hasta 680 m. A partir de ahí, los valores de $K(s)$ se devuelven a la región CAE, mostrando nuevamente un patrón aleatorio. Herrero-Jáuregui et al. (2012), en dos áreas del Bosque Nacional Tapajós, encontraron patrones predominantemente aleatorios para árboles de copaiba con $DAP \geq 45$ cm. Los mismos autores también registran señales de agregación para distancias inferiores a 500 m. Cordeiro (2013), en el Bosque Nacional Saracá-Taquera (PA), registró patrones agregados para las poblaciones de copaiba

ubicadas en la ladera y en el valle. La agregación en estas áreas probablemente se debió al nivel de inclusión del inventario forestal ($DAP \geq 10$ cm), ya que los árboles más jóvenes (diámetro menor) tienden a ser más agregados que los árboles más viejos (diámetro mayor). A medida que los árboles crecen, se produce un autoaclareo y una mayor competencia, por lo que pocos árboles alcanzan los diámetros más grandes, permaneciendo más separados entre sí, lo que conduce a una distribución aleatoria (Lan et al. 2012; Araújo et al. 2014).

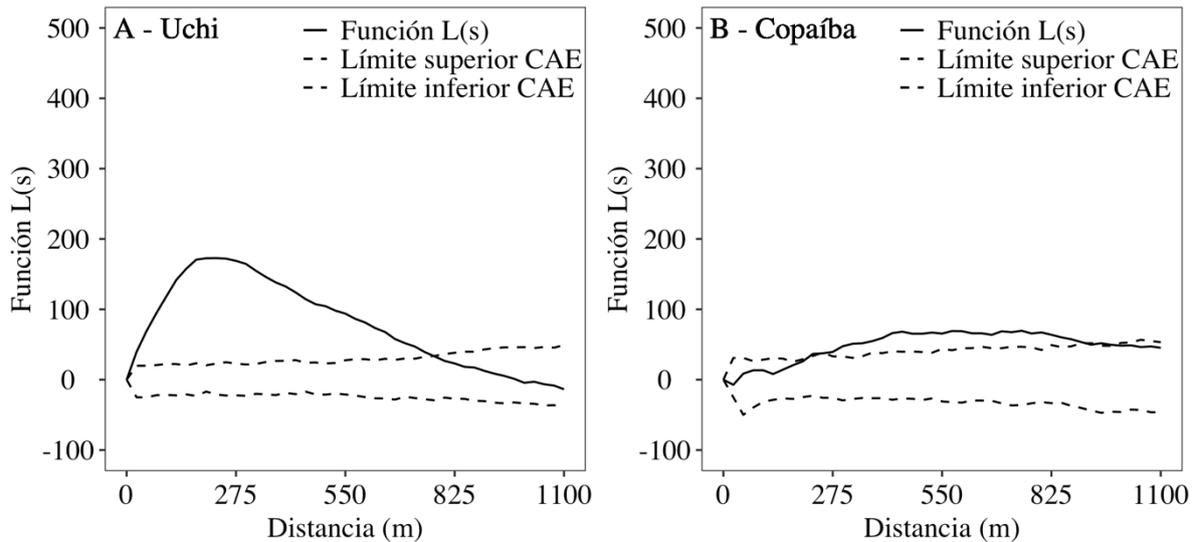


Figura 2. Función transformada $L(s)$ y distribución de los puntos de copaiba y uchi en el Bosque Nacional Tapajós, occidente del estado de Pará.

Los árboles de uchi no cumplieron con la hipótesis CAE y se distribuyeron predominantemente de forma agregada (Figura 2A). Los valores de $K(s)$ se incrementaron hasta 220 m. A partir de ahí, la curva asume una tendencia decreciente, mostrando que el tamaño de los conglomerados varía hasta 220 m y que después de esta distancia son menos claros. Por encima de los 880 m, los árboles de uchi se distribuyen aleatoriamente. La distribución de puntos de árboles de menor y mayor diámetro muestra que para todas las clases de diámetro el patrón probablemente sea agregado. Esto contradice la hipótesis de que la agregación es cada vez menos intensa a medida que aumenta el tamaño de los árboles (Condit et al. 2000). Las causas probables de la alta intensidad de agregación registrada para el uchi son sus síndromes de dispersión (barocórica y zoocórica), pues según Condit et al. (2000) y Seidler y Plotkin (2006) las especies con menor capacidad de dispersión tienden a agregarse. Las semillas de uchi son dispersadas principalmente por roedores, que tienen una capacidad limitada para transportarlas. Las distancias de transporte son probablemente inferiores a 220 m, dado el tamaño de los

conglomerados registrados identificados por la función $L(s)$.

La limitada capacidad de dispersión y el tamaño de los conglomerados también sugieren que probablemente se trata de una población con estructura genética idéntica entre árboles para distancias inferiores a 220 m. Esto indica que los árboles cercanos están relacionados genéticamente por un ancestro común, probablemente padres, hijos y hermanos. Azevedo et al. (2008) detectaron la existencia de estructuración genética significativa entre árboles de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev, para distancias menores a 250 m. Este patrón surgió debido a la pérdida de dispersores de semillas para distancias mayores, lo que limitó la dispersión de las mismas y provocó que las semillas permanecieran cerca de los árboles maternos y fueran dispersadas principalmente por gravedad. Esto condujo al aislamiento y estructuración de genes de plantas que comparten el mismo linaje materno. La heterogeneidad del hábitat también explicaría la intensidad de agregación de uchi, ya que los árboles se presentaron preferentemente en regiones que pueden tener características edafoclimáticas favorables para su desarrollo. La limitación de la dispersión y la heterogeneidad del hábitat son las

principales responsables de la agregación espacial de los árboles (Condit et al. 2000; Seidler y Plotkin, 2006).

Estos resultados permiten hacer importantes consideraciones en el manejo forestal de estas especies. La baja densidad de especies de importancia económica plantea dificultades para su aprovechamiento sostenible y problemas crónicos de manejo (Herrero-Jáuregui 2009). El patrón espacial predominantemente aleatorio de los árboles de copaíba ocasiona que el acceso a sus productos (por ejemplo, madera y aceite) y la concentración de actividades de manejo forestal (por ejemplo, construcción de senderos), sea más difícil, que las realizadas para las especies agregadas como el uchi. La baja densidad, la distribución diamétrica con tendencia a la normalidad y la limitada capacidad de dispersión sugieren que la cosecha de árboles de mayor diámetro podría provocar la pérdida de diversidad genética y gran parte de la capacidad reproductiva de estas especies (Jennings et al. 2001), especialmente para copaíba, que tiene una fructificación supra-anual. Esto aumentaría las distancias entre árboles adultos, provocando problemas en la polinización y dispersión de semillas (Maués 2006), lo que provocaría una reserva insuficiente de plántulas de copaíba y uchi, disminuyendo las probabilidades de una estructura diamétrica equilibrada y auto regenerativa.

Conclusiones

Los inventarios forestales están sujetos a la Ley de Acceso a la Información y, por lo tanto, no se consideran confidenciales ni personales. El período de obtención de los inventarios fue entre 20 y 30 días. El período, ubicación, objeto requerido y recorte temático son aspectos fundamentales para la aprobación de la solicitud de acceso a inventarios forestales.

El acceso a los censos forestales a través de la Ley de Acceso a la Información es una herramienta importante para que los ciudadanos nacionales y extranjeros tengan un rol activo en la creación de políticas públicas verdaderamente orientadas hacia los intereses colectivos, relacionados con la conservación, concesión, licenciamiento y fiscalización del PMFS.

Ambas especies presentaron una estructura diamétrica tendiente a la normalidad en los árboles con $DAP \geq 30$ cm. La especie copaíba presentó un patrón espacial que varió en función de la distancia, es decir, aleatorio para distancias menores a 410 m, agregado hasta aproximadamente 680 m, y aleatorio hasta 1.100 m. La especie uchi presentó una estructura espacial predominantemente agregada.

Agradecimientos

A los coautores por el tiempo y esfuerzo dedicado a la construcción de este manuscrito.

Referencias

- Abreu JC, Guedes MC, Guedes ACL, Batista EM (2014) Estrutura e distribuição espacial de andirobeiras (*Carapa* spp.) em floresta de várzea do estuário amazônico. *Ciência Florestal*, 24(4): 1009-1019. doi: 10.5902/1980509816614.
- Alencar JC (1984) Estudos silviculturais de uma população natural de *Copaifera multijuga* Hayne-Leguminosae, na Amazônia Central. 3. Distribuição espacial da regeneração natural pré-existente. *Acta Amazonica*, 14(1-2): 255-279. doi: 10.1590/1809-43921984142279.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- Alves-Junior FT, Lins CF, Brandão S, Rocha KD, Silva JT, Marangon LC, Ferreira RLC (2007) Estrutura diamétrica e hipsométrica do componente arbóreo de um fragmento de Mata Atlântica, Recife-PE. *Cerne*, 13(1): 83-95.
- Andrade DF, Gama JRV, Melo LO, Ruschel AR (2015) Inventário florestal de grandes áreas na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Amazônia, Brasil. *Biota Amazônia*, 5(1): 109-115. doi: 10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n1p109-115.
- Araújo EJG, David HC, Péllico-Netto S, Morais VA, Scolforo JRS (2014) Padrão espacial de espécies arbóreas em fragmento de floresta estacional semidecidual. *Revista de Ciências Agrárias* 57(2): 166-171. doi: 10.4322/rca.2014.010.
- Azevedo VCR, Kanashiro M, Grattapaglia D, Ciampi AY (2008) cpDNA variability in *Manilkara huberi*, a species under sustainable management in the Brazilian Amazon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(7): 859-867. doi: 10.1590/S0100-204X2008000700010.
- Batista APB, Aparício WCS, Aparício PS, Santos VS, Lima RB, Mello JM (2015) Caracterização estrutural em uma floresta de terra firme no estado do Amapá, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35(81): 21-33. doi: 10.4336/2015.pfb.35.81.689.
- Besag J, Diggle PJ (1977) Simple monte carlo tests for spatial pattern. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 26(3): 327-333. doi: 10.2307/2346974.
- Capretz RL (2004) *Análise dos padrões espaciais de árvores em quatro formações florestais do estado de São Paulo, através de análises de segunda ordem, como a função K de Ripley*. Disertación, Escola

- Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 79p.
- Carvalho FA (2010) Síndromes de dispersão de espécies arbóreas de florestas ombrófilas submontanas do estado do Rio de Janeiro. *Revista Árvore*, 34(6): 1017-1023. doi: 10.1590/S0100-67622010000600007.
- Condit R, Ashton PS, Baker P, Bunyavejchewin S, Gunatilleke S, Gunatilleke N, Hubbell SP, Foster RB, Itoh A, LaFrankie JV (2000) Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*, 288(5470): 1414-1418. doi: 10.1126/science.288.5470.1414
- Cordeiro JGMS (2013) *Produção de óleo-resina de copaíba em áreas de exploração de bauxita e sua importância para comunidades quilombolas da região do Rio Trombetas - PA*. Dissertação, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 48f.
- Costa SN, Rabelo FG, Lima RB, Silva DAS, Lima CWP, Santos SM (2019) Estrutura populacional de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. e *Dinizia excelsa* Ducke em floresta de terra firme no Amapá. *Nativa*, 7(4): 445-451. doi: 10.31413/nativa.v7i4.7638.
- Fick TA (2011) Amostragem para inventário florestal em sistemas silvipastoris. *Revista Árvore*, 35: 1033-1038. doi: 10.1590/S0100-67622011000600009.
- Forget PM, Jansen PA (2007) Hunting increases dispersal limitation in the tree *Carapa procera*, a nontimber forest product. *Conservation Biology*, 21: 106-113. doi: 10.1111/j.1523-1739.2006.00590.x.
- Herrero-Jáuregui C (2009) *Gestión integrada de los recursos forestales en el bosque tropical húmedo: ecología de dos especies de uso múltiple*. Tesis, Universidad Complutense de Madrid. 227p.
- Herrero-Jáuregui C, Sist P, Casado MA (2012) Population structure of two low-density neotropical tree species under different management systems. *Forest Ecology and Management*, 280: 31-39. doi: 10.1016/j.foreco.2012.06.006.
- Jennings SB, Brown ND, Boshier DH, Whitmore TC, Lopes JCA (2001) Ecology provides a pragmatic solution to the maintenance of genetic diversity in sustainably managed tropical rain forests. *Forest Ecology and Management*, 154(1-2): 1-10. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00637-X.
- Lan G, Getzin S, Wiegand T, Hu Y, Xie G, Zhu H, Cao M (2012) Spatial distribution and interspecific associations of tree species in a tropical seasonal rain forest of China. *PLoS One* 7(11): e46074. doi: 10.1371/journal.pone.0046074.
- Martins SS, Couto L, Machado CC, Souza AL (2003) Efeito da exploração floresta seletiva em uma floresta estacional semidecidual. *Revista Árvore* 27(1): 65-70. doi: 10.1590/S0100-67622003000100009.
- Maués MM (2006) *Estratégias reprodutivas de espécies arbóreas e a sua importância para o manejo e conservação florestal: Floresta Nacional do Tapajós (Belterra-PA)*. Tesis, Universidade de Brasília. 206p.
- Moraes GC, Schorr LPB, Aguiar JT, Cuchi T, Melo LO (2017) Mudanças na estrutura diamétrica e no arranjo espacial de *Manilkara elata* em área manejada na Floresta Nacional do Tapajós. *Enciclopédia Biosfera*, 14(25): 950-959. doi: 10.18677/EnciBio_2017A76
- Orellana E, Figueiredo Filho A, Péllico-Netto S, Dias AN (2014) Modelagem da distribuição diamétrica de espécies florestais em um fragmento de floresta ombrófila mista. *Revista Árvore*, 38(2): 297-308. doi: 10.1590/S0100-67622014000200010.
- Pedroni F, Sanchez M, Santos FAM (2002) Fenologia da copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.-Leguminosae, Caesalpinioideae) em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil. *Brazilian Journal of Botany*, 25(2): 183-194. doi: 10.1590/S0100-84042002000200007.
- Rigamonte-Azevedo OC (2004) *Copaíba: estrutura populacional, produção e qualidade do óleo-resina em populações nativas do sudoeste da Amazônia*. Dissertação, Universidade Federal do Acre. 83f.
- Ripley BD (1977) Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 39(2): 172-192.
- Schwartz G, Nascimento NA, Menezes AJEA (2008) Estrutura populacional de espécies de interesse florestal não-madeireiro no Sudeste do Pará, Brasil. *Amazônia: Ciência e Desenvolvimento*, 4(7): 117-130.
- Seidler TG, Plotkin JB (2006) Seed dispersal and spatial pattern in tropical trees. *PLoS Biology*, 4: 2132-2137. doi: 10.1371/journal.pbio.0040344.
- Shanley P, Gaia G (2004) A fruta do pobre se torna lucrativa: A *Endopleura uchi* Cuatrec. em áreas manejadas próximo a Belém, Brasil. In: Alexiades MN, Shanley P (ed) *Productos forestales, medios de subsistencia y conservación*. Belém: Centro Internacional de Investigación Florestal. p. 220-240.

Shanley P, Medina G (2005) *Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica*. Belém: Imazon. 300p.

Stamatellos G, Panourgias G (2005) Simulating spatial distributions of forest trees by using data from fixed area plots. *Forestry*, 78(3): 305-312. doi: 10.1093/forestry/cpi028.

Sterner RW, Ribic CA, Schatz GE (1986) Testing for life historical changes in spatial patterns of four tropical tree species. *Journal of Ecology*, 74(3): 621-633. doi: 10.2307/2260386.

Vieira DS, Gomes KMA, Santos LE, Oliveira MLR, Gama JRV, Machado ELM, Lafetá BO, Moura CC, Figueiredo AES (2021) Estrutura diamétrica e espacial de espécies madeireiras de importância econômica na Amazônia. *Scientia Forestalis* 49: e3484. doi:10.18671/scifor.v49n129.21.

Vieira DS, Oliveira MLR, Gama JRV, Machado ELM, Gorgens EB (2017) Patrón espacial y métodos de muestreo para *Bertholletia excelsa* (castaña de Pará) en la Mesorregión del Bajo Amazonas, estado de Pará, Brasil. *Bosque*, 38(1): 97-107. doi: 10.4067/S0717-92002017000100011.

Zhang Z, Hu G, Zhu J, Ni J (2013) Aggregated spatial distributions of species in a subtropical karst forest, southwestern China. *Journal of Plant Ecology*, 6(2): 131-140. doi: 10.1093/jpe/rts027.