



Artículo original / Original article

Variaciones en el patrón de distribución espacial de *Bertholletia excelsa* en tres tipos de cobertura vegetal en el sureste de la Amazonía peruana

Variations in the spatial distribution pattern of *Bertholletia excelsa* in three vegetation cover types in the southeastern Peruvian Amazon

Jorge Garate-Quispe ^{1,2*} ; Gorky Florez-Castillo ^{2,3} ; Lili Florez-Castillo ⁴ ; Keiko Otsuka-Barriga ⁵ ; Joel Peña-Valdeiglesias ¹ 

¹ Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú

² Universidad de Barcelona, Barcelona, España

³ Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú

⁴ Instituto de Educación Superior Tecnológico Público Jorge Basadre Grohman, Puerto Maldonado, Perú

⁵ Gobierno Regional de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú

Recibido: 08/04/2022

Aceptado: 27/06/2022

Publicado: 25/07/2022

*Autor de correspondencia: jgarate@unamad.edu.pe

Resumen: El objetivo del estudio fue evaluar los patrones de distribución espacial de *Bertholletia excelsa* (castaña) en tres tipos de cobertura vegetal en la Amazonía de peruana (Tambopata). Se evaluaron a todos los árboles de *B. excelsa*, con un DAP mayor a 10 cm, en 15 concesiones forestales distribuidas en tres tipos de cobertura. Se analizaron los modelos de distribución diamétrica y los patrones espaciales de castaña (función K de Ripley). En todas las concesiones y tipos de cobertura, la curva de distribución del número de individuos de castaña según clase de diámetro mostró una distribución en forma de campana, lo cual sugiere una pobre regeneración de *B. excelsa* en los castañales evaluados. Se encontró que los pre-adultos en la mayoría de las concesiones tuvieron un patrón agregado, mientras que en los adultos variaron entre patrón agregado, aleatorio o aleatorio a diferentes distancias según concesión y categoría de tamaño.

Palabras clave: castaña, distribuciones espaciales, función K- Ripley

Abstract: The study aimed to evaluate the spatial distribution patterns of *Bertholletia excelsa* (chestnut) in three vegetation cover types in the Peruvian Amazon (Tambopata). All *B. excelsa* trees with a DBH greater than 10 cm were evaluated in 15 forest concessions distributed across three cover types. Diametric distribution models and spatial patterns (Ripley's K function) of *B. excelsa* were analyzed. In all concessions and cover types, the distribution curve of the number of *B. excelsa* individuals according to diameter class showed a bell-shaped distribution, suggesting a poor regeneration of *B. excelsa* in the evaluated Brazil-nut stands. It was found that pre-adults in most concessions had an aggregate pattern, while adults varied between aggregate, random or random pattern at different distances according to concession and size category.

Keywords: chestnut, spatial distributions, K-Ripley function

1. Introducción

Los bosques tropicales de la Amazonía son los ecosistemas más complejos del planeta y que soporta a la mayor biodiversidad y productividad de biomasa del mundo (Esquivel-Muelbert et al., 2019). En un bosque, los árboles pueden distribuirse espacialmente en patrones agregados, aleatorios o regulares (Wédjangnon et al., 2020). Como organismos sedentarios, la mayoría de los árboles interactúan principalmente con otras plantas (Fibich et al., 2016). La distribución espacial de los árboles se puede explorar utilizando sus ubicaciones georreferenciadas (Getzin y Wiegand, 2007; Muvengwi et al., 2018). Para esto se puede aplicar estadísticas espaciales como la función K de Ripley o la función de correlación por pares, que se utilizan para interpretar las interacciones espaciales de las plantas a pequeña escala, mediante un patrón de coordenadas (Law et al., 2009; Muvengwi et al., 2018).

Estudiar los patrones de distribución espacial y asociación entre árboles de poblaciones que coexisten es importante porque las comunidades son afectadas por varios procesos ecológicos y evolutivos, como la segregación de nicho, heterogeneidad de hábitat, competencia, diferencias de predación, limitación de dispersión, tolerancia a la sombra y regeneración natural (Ebert et al., 2016; Wédjangnon et al., 2020). Mientras que la estructura poblacional de las especies de interés es una de las principales características en el manejo y gestión de los bosques, debido a que define la producción potencial actual de productos y servicios, así como la resiliencia y la dinámica futura de los ecosistemas (Maciel-Nájera et al., 2020).

El análisis de la estructura forestal puede ayudar a determinar la funcionalidad y detectar las principales perturbaciones en los ecosistemas forestales (Pommerening, 2006). La explotación forestal maderable puede afectar negativamente en la distribución de los individuos, reproducción, competencia, habilidades de supervivencia y en los mecanismos de dispersión de las poblaciones (Ebert et al., 2016). Por lo tanto, conocer la estructura poblacional y patrones de distribución espacial en especies de interés forestal es importante para el manejo forestal y sostenible de estos recursos (Chávez Flores et al., 2020; Zhang et al., 2018). La importancia radica en que la estructura de los bosques es un indicador de biodiversidad y que los patrones de distribución son útiles para conocer la productividad y dinámica de los bosques (Kint et al., 2003).

La escasez de estudios sobre la estructura y los patrones de distribución espacial de especies en bosques de la Amazonía son deficientes (Ebert et al., 2016), y estos se han enfocado en el estudio de bosques maduros (Fibich et al., 2016). Actualmente, existen estudios sobre biodiversidad, composición florística, biomasa, estructura poblacional entre otros, pero son escasos los estudios sobre los de distribución espacial en espacial. Por lo tanto, la heterogeneidad interna de las poblaciones sigue siendo poco conocida (Tuomisto et al., 2019). En Madre de Dios, solo se tiene conocimiento de un estudio publicado sobre patrones de distribución espacial, quienes Rockwell et al. (2017) estudiaron la densidad y los patrones de distribución espacial de castaña (*Bertholletia excelsa*) en concesiones castañeras.

Los patrones espaciales pueden variar de acuerdo a la estructura de la población, y características de la población como el tamaño, edad y estadio reproductivo (Ligot et al., 2019). Sin embargo, los patrones espaciales también pueden cambiar según los estadios de desarrollo, los individuos jóvenes suelen tener un patrón agregado, mientras que los individuos maduros se distribuyen espacialmente de forma aleatoria (Fibich et al., 2016).

El objetivo del estudio fue evaluar los patrones de distribución espacial de *B. excelsa* en tres tipos de cobertura vegetal en la Amazonía de Madre de Dios (Tambopata).

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

El área de estudio se ubicó en bosques de la Amazonía de Madre de Dios (Perú) (Figura 1), ubicado entre las coordenadas geográficas 10° y 13° latitud sur y 69° Y 72° longitud oeste con

intervalos de altitud que varía entre 190 y 400 m s.n.m. En el ámbito de estudio la temperatura media anual es 25,4 °C y la precipitación total anual en promedio es 2120 mm; con una estación seca de junio a septiembre (menos de 100 mm).

El área de estudio abarcó a 15 concesiones forestales de castaña (castañaes), distribuidos en tres tipos de cobertura vegetal (bosques de colina baja, colina baja con castaña y terraza alta) en la provincia de Tambopata, Madre de Dios. En cada tipo de cobertura se seleccionaron al azar cinco concesiones. En cada concesión se evaluaron a todos los individuos de castaña con un DAP > 10 cm, y se midió su diámetro y altura, utilizando una cinta diamétrica y clinómetro, respectivamente. Los datos de los individuos y la ubicación espacial de *B. excelsa* se obtuvieron de la geodatabase de la Dirección Regional de Flora y Fauna Silvestre del Gobierno Regional de Madre de Dios.

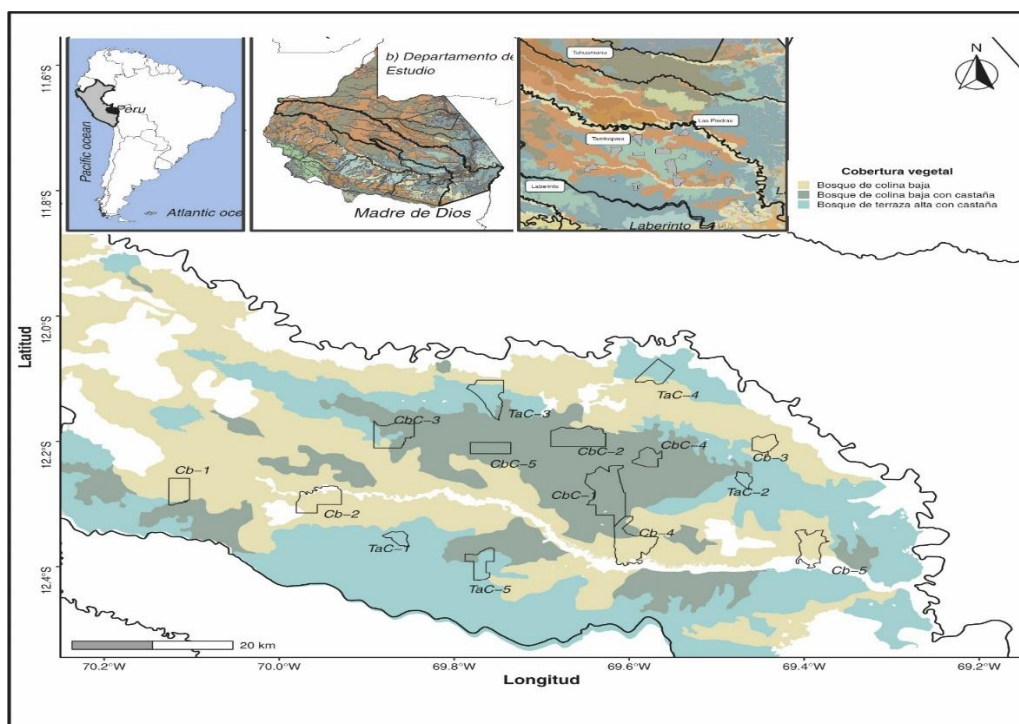


Figura 1. Mapa de ubicación de las concesiones de castaña en los tres tipos de cobertura vegetal

2.2. Análisis de datos

Para analizar las características dendrométricas se utilizó un análisis descriptivo. Para la distribución diamétrica se utilizaron gráficos de densidad de individuos según clases diamétricas para cada tipo de cobertura vegetal.

Previo al análisis espacial, los individuos fueron categorizados según su diámetro en tres categorías de tamaño, pre-adultos (< 0,7 m de DAP), adultos 1 (0,7 - 1,5 m de DAP) y adultos 2 (> 1,5 m de DAP) (Wédjangnon et al., 2020; Zuidema, 2003).

Para analizar los patrones espaciales de castaña según tipo de cobertura vegetal, se utilizó la función $K(r)$ de Ripley, un estimador muy fiable (Wédjangnon et al., 2020). Para visualizar los patrones espaciales gráficamente, se crearon intervalos de confianza utilizando 1000 simulaciones de Monte Carlo (dos Santos Vieira et al., 2017). Para este análisis utilizamos el paquete spatstat, un paquete disponible en R para el análisis espacial de patrones de puntos para calcular las distancias entre vecinos más próximos basándonos en el sistema de referencia de coordenadas espaciales (Klimas et al., 2007).

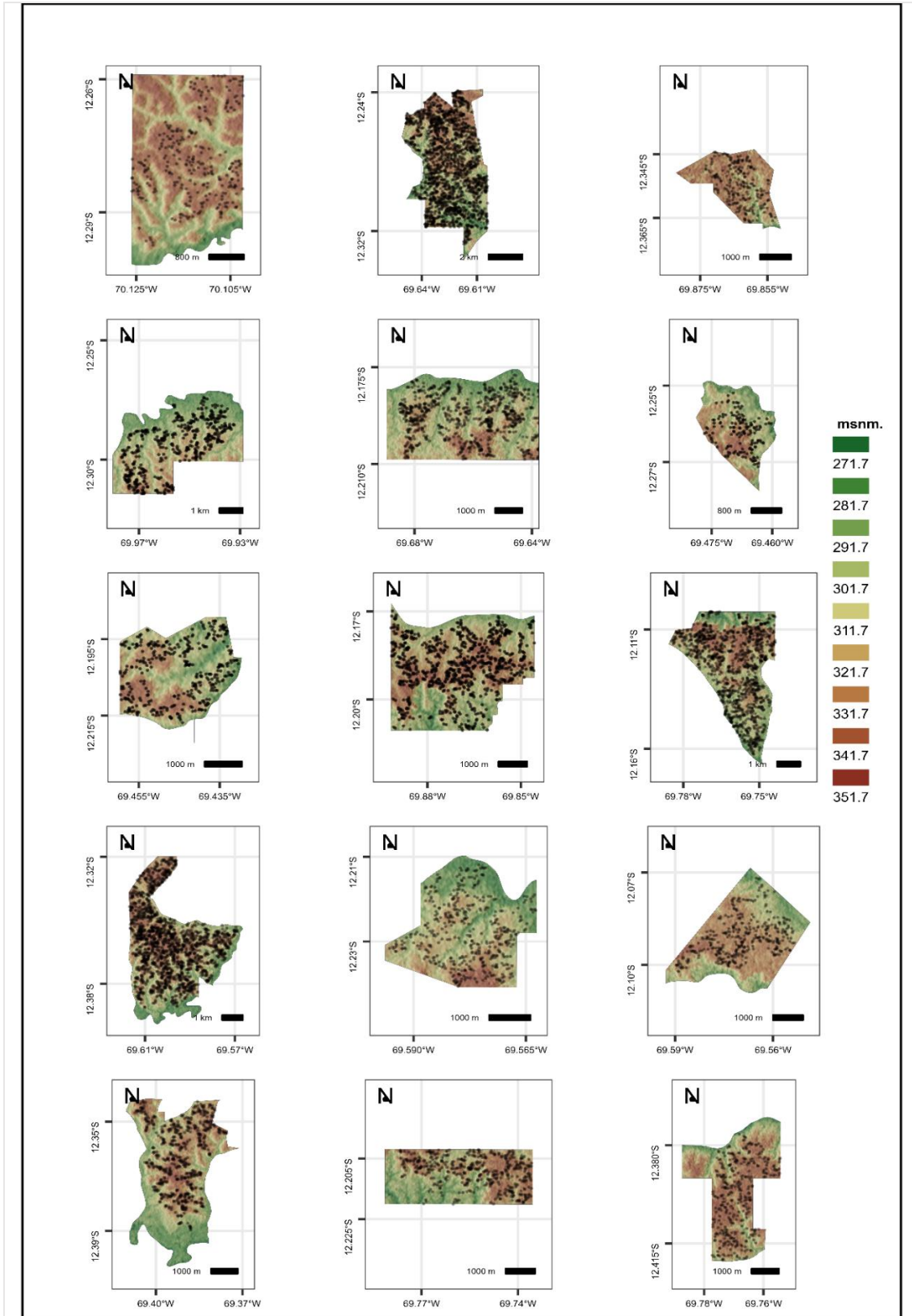


Figura 2. Mapa de dispersión de los árboles de castaña en las 15 concesiones evaluadas

3. Resultados y discusión

3.1. Características dendrométricas y modelo de distribución diamétrica

En total, considerando las 15 concesiones evaluadas distribuidas entre los tres tipos de cobertura, se evaluaron 12243 árboles de castaña. En los bosques de colina baja con castaña se encontraron una mayor cantidad de individuos (5622), mientras que en los bosques de terrazas altas se encontró una menor cantidad de individuos (2509). Esto se refleja en una menor densidad de individuos en los bosques de terraza alta. Las concesiones con mayor densidad de árboles de castaña fueron en los bosques de colina baja y bosques colina baja con castaña (0,88-0,89 árboles/ha). En los bosques de colina baja con castaña se encontraron en promedio los árboles con mayor diámetro. Por otro lado, el árbol encontrado con menor diámetro fue de 12 cm, mientras que el árbol con mayor diámetro fue de 4 m (Tabla 1).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las cinco concesiones y árboles de *Bertholletia excelsa* evaluados

Tipo de cobertura vegetal	Código	N	Densidad (arb/ha)	DAP promedio	DAP máximo	DAP mínimo
Colina baja	01_Ccb	268	0,26	0,91	1,67	0,12
	02_Ccb	900	0,49	1,20	3,00	0,30
	03_Ccb	734	0,88	0,93	1,90	0,15
	04_Ccb	1625	0,65	0,93	4,00	0,12
	05_Ccb	585	0,37	0,93	2,00	0,12
Colina baja con castaña	01_Bcb_Castaña	2130	0,63	1,38	2,50	0,19
	02_Bcb_Castaña	951	0,44	1,52	3,02	0,32
	03_Bcb_Castaña	1660	0,89	0,89	1,72	0,25
	04_Bcb_Castaña	438	0,54	1,00	2,20	0,35
	05_Bcb_Castaña	443	0,44	1,21	2,83	0,32
Terraza alta con castaña	01_BTa_Castaña	220	0,20	0,89	1,20	0,20
	02_BTa_Castaña	298	0,76	0,84	2,50	0,22
	03_BTa_Castaña	1270	0,73	0,98	2,40	0,15
	04_BTa_Castaña	367	0,33	1,32	2,54	0,30
	05_BTa_Castaña	354	0,31	1,00	1,95	0,17

La baja densidad de individuos de *B. excelsa* (< 1 ind/ha), encontrada en el presente estudio coincide con lo reportado por estudios previos (Caetano Andrade et al., 2019; Moll-Roczek et al., 2014; Tonini & Baldoni, 2019), lo cual demuestra una baja densidad de árboles de castaña en esta parte de la Amazonía (Madre de Dios - Perú), en comparación con castañales de la Amazonía brasileña o boliviana.

La curva de distribución del número de individuos de castaña según clase de diámetro muestra una distribución en forma de campana en las tres concesiones evaluadas. Lo cual sugiere una baja densidad de individuos en las categorías de diámetro inferiores (< 30 cm de DAP) y superiores (> 190 cm de DAP) (Figura 3). Esta forma ha sido reportada en castaña (dos Santos Vieira et al., 2017) y en otras especies tropicales como *Ceiba pentandra* (Wédjangnon et al., 2020) y *Brosimum alicastrum* (Flórez-P. y Raz, 2019). Esta forma de campana es una característica típica de especies heliófilas y además sugiere una pobre regeneración. En todas las concesiones se encontraron este tipo de patrón, lo cual sugiere que existe una escasez de árboles jóvenes de castaña, similar patrón reportado en concesiones de la provincia de Tahuamanu (Rockwell et al., 2017).

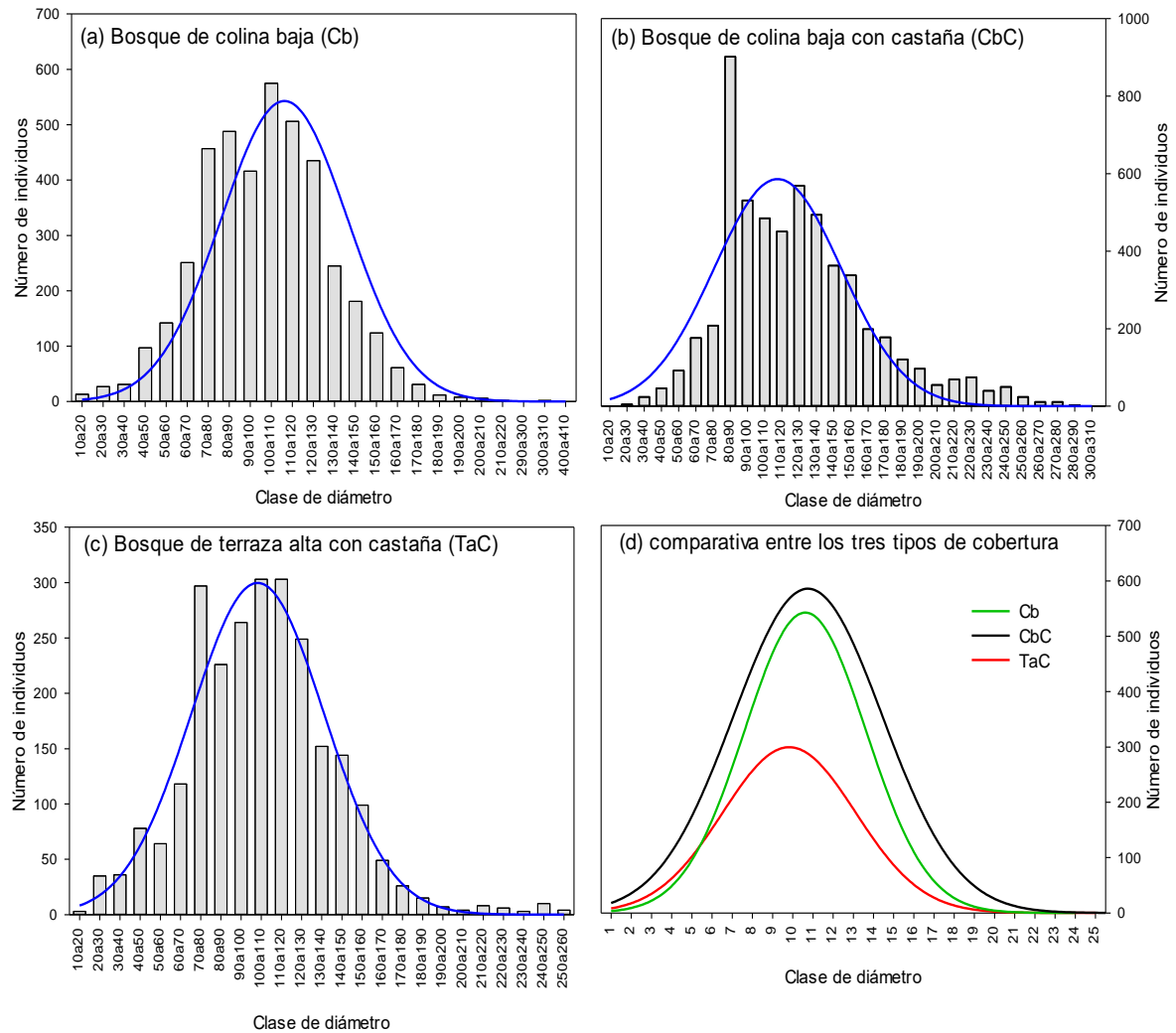


Figura 3. Distribución diamétrica modelada de árboles de *Bertholletia excelsa* según tipo de cobertura vegetal

3.2. Patrones de distribución espacial de *Bertholletia excelsa*

En la Figura 4, se muestra un ejemplo comparativo de dos concesiones con árboles de *B. excelsa* con patrón de distribución aleatorio (Figura 4 a y b) y agregado (Figura 4 c y d). En las Figuras 4, 5 y 6 se muestran la representación gráfica de la función $K(r)$ de Ripley sobre la distribución espacial de castaña en los tres tipos de cobertura vegetal y en cada concesión, según categorías de tamaño (pre-adultos y adultos).

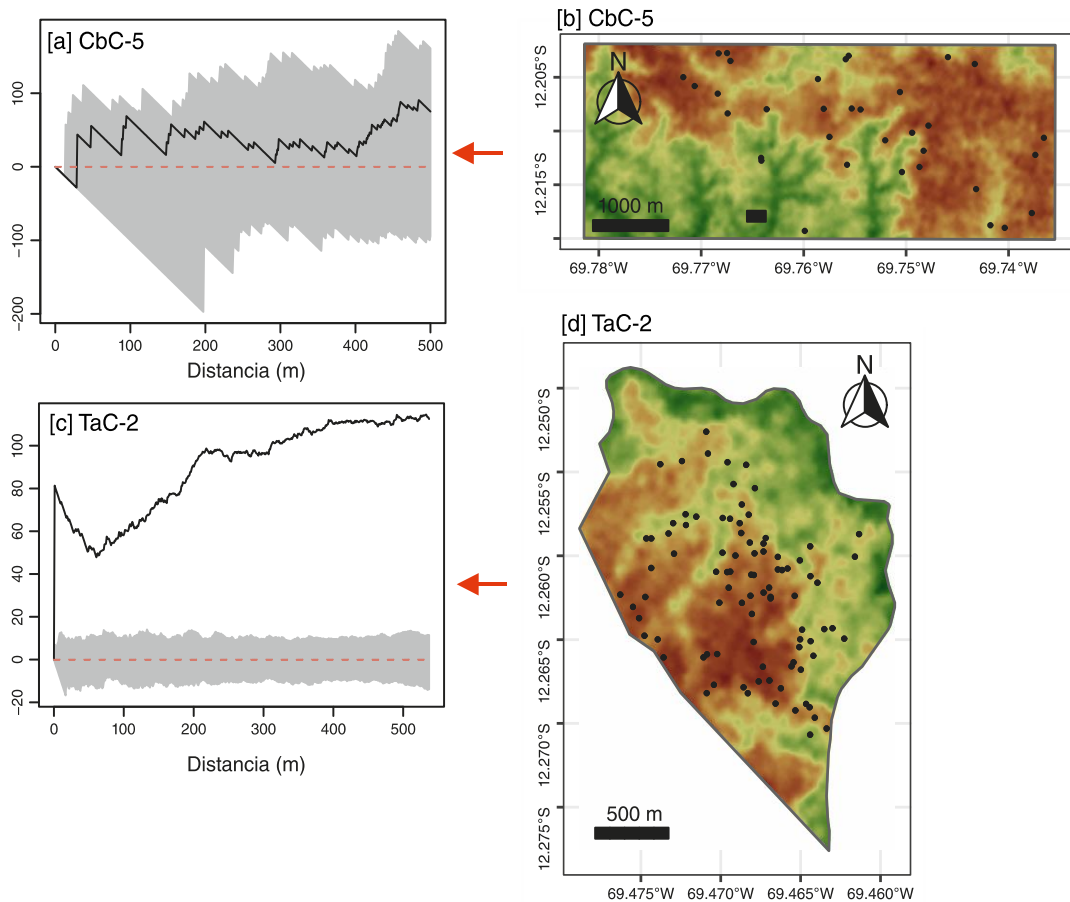


Figura 4. Comparación gráfica del patrón de distribución aleatorio (a y b) y agregado (c y d) en árboles de *Bertholletia excelsa* entre dos concesiones.

Considerando que las curvas (línea negra modelada) por encima del límite superior muestran agregados de $L(r)$, las curvas por debajo del límite inferior muestran regularidad y las curvas dentro de los límites muestran árboles aleatorios (Wédjangnon et al., 2020). En pre-adultos, el patrón de distribución espacial varió según el tipo de cobertura vegetal. En los bosques de colina baja (Cb) se encontró que en el 80% de las concesiones los pre-adultos de castaña forman patrones espaciales agregados, es decir el patrón espacial de la población no coincide con la hipótesis nula de completa aleatoriedad espacial, lo que indica una estructura agregada. Por otro lado, en solo una concesión (Bc-1) se encontró que los pre-adultos de castaña tienen una distribución aleatoria de los individuos a una escala de hasta 150 m (Figura 5). En los bosques colina baja con castaña (CbC), en el 60% de las concesiones los pre-adultos de *B. excelsa* tuvieron una distribución espacial aleatoria, en una concesión tendían a la aleatoriedad en distancias de menos de 200 m, y solo en una concesión el patrón de distribución espacial fue agregado. Sin embargo, en los bosques de terraza alta con castaña (TaC), en el 60% de las concesiones los pre-adultos de castaña tuvieron un patrón especial aleatorio en distancias de menos de 150 m., a partir de esto los patrones fueron predominantemente agregados.

En los adultos 1, el patrón de distribución predominante fue el agregado, aunque en el 50% de las concesiones el patrón espacial tendía a la aleatoriedad en distancia de hasta 50 m (Figura 6). Para esta categoría de diámetro no se observaron diferencias en los patrones de distribución entre los tipos de cobertura vegetal. Por otro lado, en los individuos más grandes, adultos 2 de *B. excelsa* a diferencias de adultos 1, se encontraron diferencias en el patrón espacial según tipo de cobertura. En los bosques de colina baja el patrón predominante fue el aleatorio (75% de concesiones), mientras que en los bosques de terraza alta y colina baja con castaña el patrón predominante fue el agregado (Figura 7).

Los factores ambientales a diversas escalas afectan a la densidad y distribución de las especies (Klimas et al., 2007). En general, encontramos que los pre-adultos en la mayoría de las concesiones tuvieron un patrón agregado (Figura 5), mientras que en los adultos variaron entre patrón agregado, aleatorio o aleatorio a diferentes distancias según concesión y categoría de tamaño (adultos 1 vs adultos 2) (Figura 6 y Figura 7). Esta variación en los patrones de dispersión de la castaña según categorías de tamaño estaría relacionado a perturbaciones antrópicas (dos Santos Vieira et al., 2017) o naturales (como la caída de ramas o del árbol completo, derribos de árboles o muerte por plagas y enfermedades), y de esta manera cambiaría su patrón inicial (agrupado) a un patrón aleatorio por procesos de muerte (Sánchez Gutiérrez et al., 2019). El patrón agregado en los individuos más jóvenes también se debería al tipo de síndrome de dispersión (Klimas et al., 2007) de *B. excelsa*, que debido a sus dispersores naturales se establecen a distancias cortas con respecto a sus árboles parentales. Además, formar patrones espaciales agregados es típico de especies con frutos dispersados por zoocoria o barocoria (caso de *B. excelsa*) (dos Santos Vieira et al., 2017).

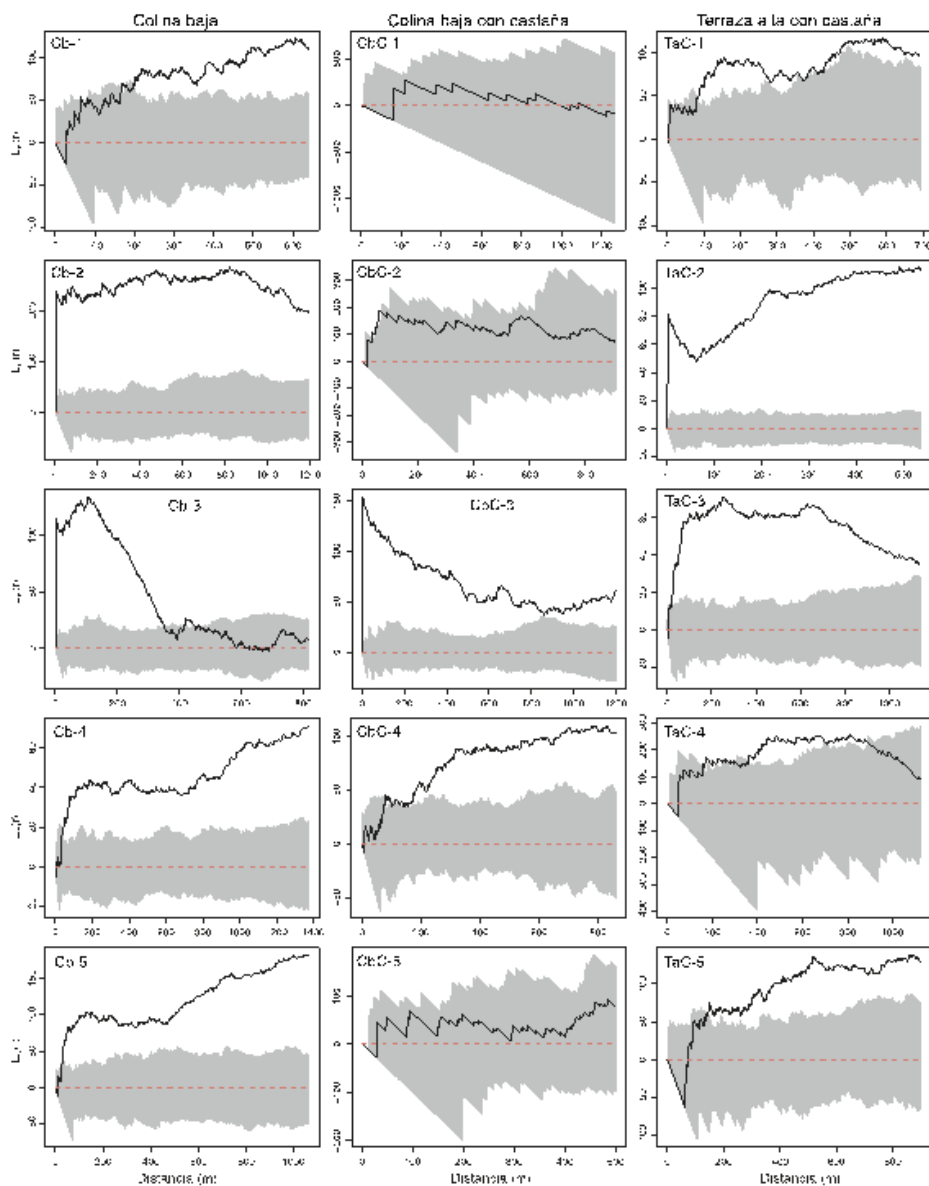


Figura 5. Resultados de la función de patrón espacial de pre-adultos de *Bertholletia excelsa* en tres tipos de cobertura vegetal en la provincia de Tambopata.

Las curvas negras son los patrones observados y las líneas de puntos son los límites de confianza del 95% para 999 simulaciones de Monte Carlo. Las curvas por encima del límite superior muestran asociación, las curvas por debajo límite inferior muestran repulsión. Cb = Bosque de colina baja, CbC = Bosque de colina baja con castaña, BtA = Bosque de terraza alta con castaña.

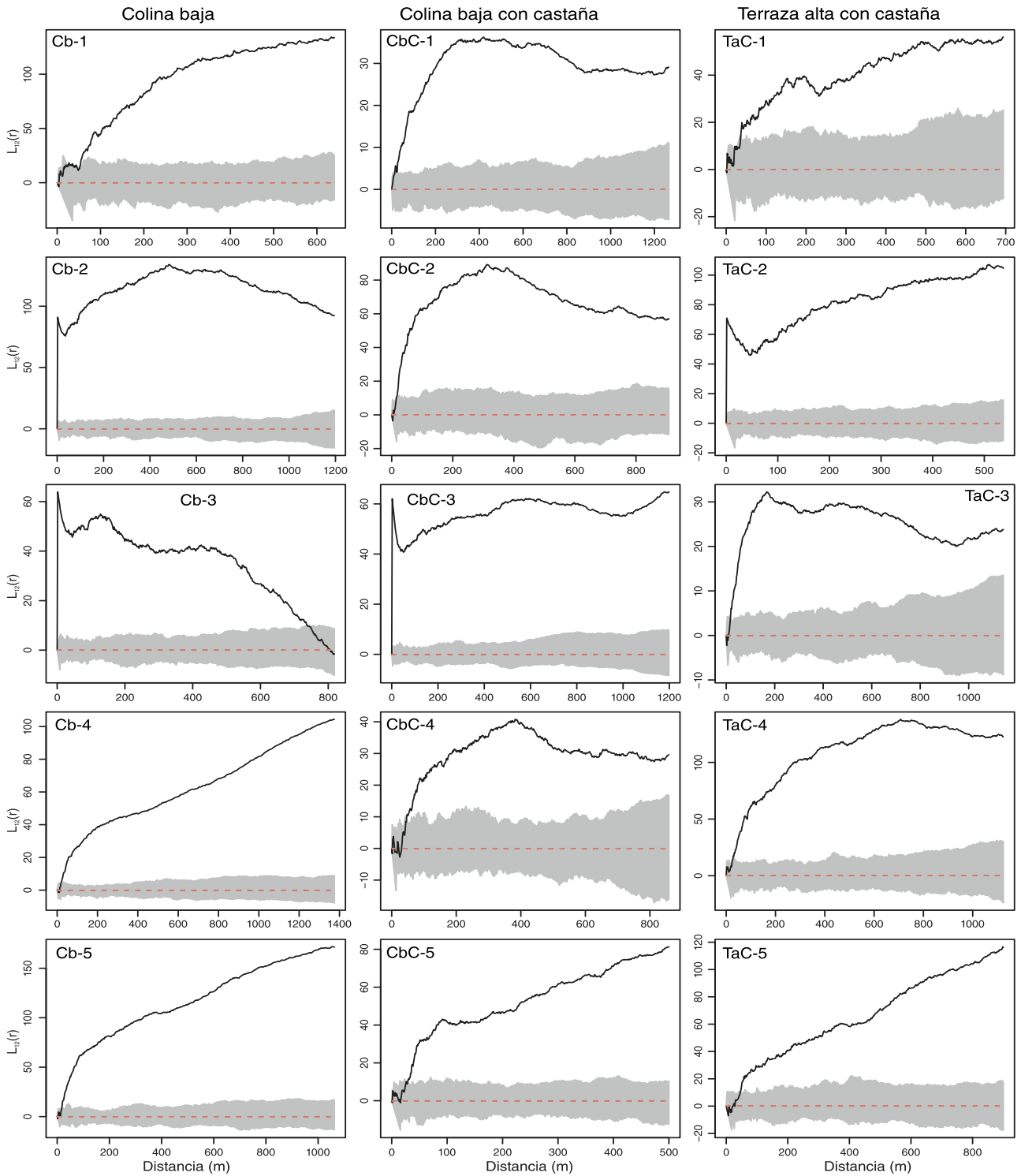


Figura 6. Resultados de la función de patrón espacial de adultos 1 de *Bertholletia excelsa* en tres tipos de cobertura vegetal en la provincia de Tambopata.

Las curvas negras son los patrones observados y las líneas de puntos son los límites de confianza del 95% para 999 simulaciones de Monte Carlo. Las curvas por encima del límite superior muestran asociación, las curvas por debajo límite inferior muestran repulsión. Cb = Bosque de colina baja, CbC = Bosque de colina baja con castaña, BtA = Bosque de terraza alta con castaña.

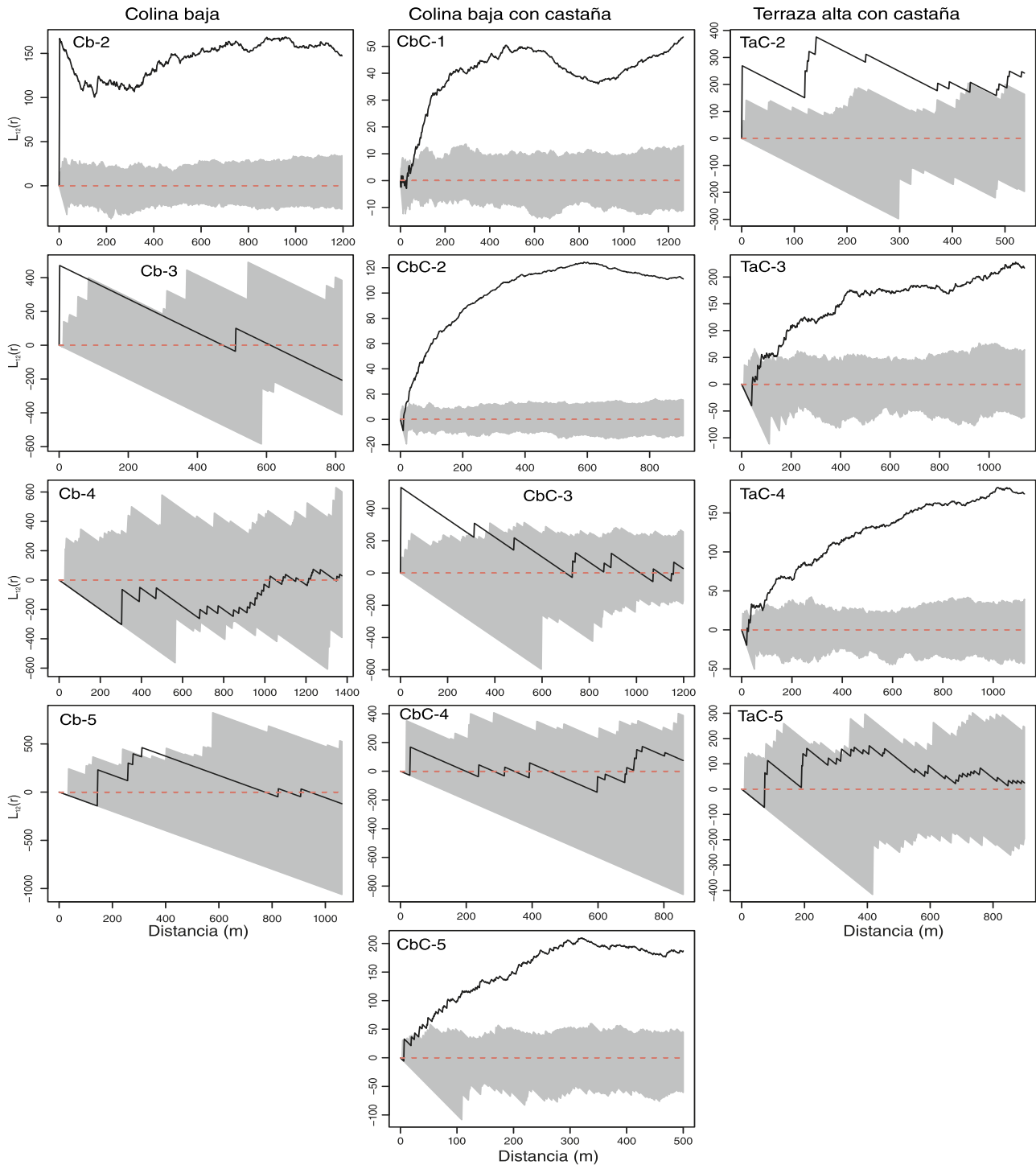


Figura 7. Resultados de la función de patrón espacial de adultos 2 de *Bertholletia excelsa* en tres tipos de cobertura vegetal en la provincia de Tambopata.

Las curvas negras son los patrones observados y las líneas de puntos son los límites de confianza del 95% para 999 simulaciones de Monte Carlo. Las curvas por encima del límite superior muestran asociación, las curvas por debajo límite inferior muestran repulsión. Cb = Bosque de colina baja, CbC = Bosque de colina baja con castaña, BtA = Bosque de terraza alta con castaña.

Nuestro estudio reporta la escasez de árboles jóvenes en los castañales evaluados, considerando esto sería importante considerar acciones para la recuperación y favorecimiento al desarrollo de la regeneración natural de *B. excelsa*, esto con la finalidad de mejorar el reclutamiento en las clases de tamaño intermedias (Rockwell et al., 2017) entre los juveniles y adultos.

4. Conclusiones

En todas las concesiones y tipos de cobertura, la curva de distribución del número de individuos de castaña según clase de diámetro mostró una distribución en forma de campana, lo cual sugiere una pobre regeneración de *B. excelsa* en los castañales evaluados. Se encontró que los pre-adultos en la mayoría de las concesiones tuvieron un patrón agregado, mientras que en los adultos variaron entre patrón agregado, aleatorio o aleatorio a diferentes distancias según concesión y categoría de tamaño.

Financiamiento

Por la Universidad Amazónica de Madre de Dios con Resolución N° 140-2020-UNAMAD-VRI.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autores

G-Q, J.: Conceptualización y escritura - preparación de borrador original.

G-Q, J y F-C, G.: Curación de datos y análisis formal.

G-Q, J., F-C, L. Y P-V, J.: Metodología.

F-C, G.: Visualización.

O-B, K. y P-V, J.: Revisión y edición.

Referencias bibliográficas

- Caetano Andrade, V. L., Flores, B. M., Levis, C., Clement, C. R., Roberts, P., y Schöngart, J. (2019). Growth rings of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) as a living record of historical human disturbance in Central Amazonia. *PLOS ONE*, 14(4), e0214128. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214128>
- Chávez Flores, G. A., Corral Rivas, J. J., Vega Nieva, J. D., López Serrano, P. M., y Rubio Camacho, E. A. (2020). Estructura espacial de los bosques mixtos e irregulares en el estado de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59), 59. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.614>
- dos Santos Vieira, D., Leles Romarco de Oliveira, M., Vasconcelos Gama, J. R., Mendonça Machado, E. L., y Bastos Görgens, E. (2017). Patrón espacial y métodos de muestreo para *Bertholletia excelsa* (castaña de Pará) en la Mesorregión del Bajo Amazonas, estado de Pará, Brasil. *Bosque (Valdivia)*, 38(1), 97-107. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000100011>
- Ebert, A., Brito Da Costa, R., y Brondani, G. (2016). Spatial distribution pattern of *Mezilaurus itauba* (Meins.) Taub. Ex mez. in a seasonal forest area of the southern Amazon, Brazil.

- iForest - Biogeosciences and Forestry*, 9(3), 497-502. <https://doi.org/10.3832/ifor1427-008>
- Esquivel-Muelbert, A., Baker, T. R., Dexter, K. G., Lewis, S. L., Brienen, R. J. W., Feldpausch, T. R., Lloyd, J., Monteagudo-Mendoza, A., Arroyo, L., Álvarez-Dávila, E., Higuchi, N., Marimon, B. S., Marimon-Junior, B. H., Silveira, M., Vilanova, E., Gloor, E., Malhi, Y., Chave, J., Barlow, J., ... Phillips, O. L. (2019). Compositional response of Amazon forests to climate change. *Global Change Biology*, 25(1), 39-56. <https://doi.org/10.1111/gcb.14413>
- Fibich, P., Lepš, J., Novotný, V., Klimeš, P., Těšitel, J., Molem, K., Damas, K., y Weiblen, G. D. (2016). Spatial patterns of tree species distribution in New Guinea primary and secondary lowland rain forest. *Journal of Vegetation Science*, 27(2), 328-339. <https://doi.org/10.1111/jvs.12363>
- Flórez-P., M., y Raz, L. (2019). Estructura poblacional y patrón espacial de *Brosimum alicastrum* en el bosque seco de la región Caribe de Colombia. *Caldasia*, 41(1), 152-164. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71307>
- Getzin, S., y Wiegand, K. (2007). Asymmetric tree growth at the stand level: Random crown patterns and the response to slope. *Forest Ecology and Management*, 242(2-3), 165-174. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.009>
- Kint, V., Van Meirvenne, M., Nachtergale, L., Geudens, G., y Lust, N. (2003). Spatial methods for quantifying forest stand structure development: A comparison between nearest-neighbor indices and variogram analysis. *Forest Science*, 49(1), 36-49. <https://doi.org/10.1093/forestscience/49.1.36>
- Klimas, C. A., Kainer, K. A., y Wadt, L. H. O. (2007). Population structure of *Carapa guianensis* in two forest types in the southwestern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 250(3), 256-265. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.025>
- Law, R., Illian, J., Burslem, D. F. R. P., Gratzner, G., Gunatilleke, C. V. S., y Gunatilleke, I. A. U. N. (2009). Ecological information from spatial patterns of plants: insights from point process theory. *Journal of Ecology*, 97(4), 616-628. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01510.x>
- Ligot, G., Fayolle, A., Gourlet-Fleury, S., Dainou, K., Gillet, J.-F., De Ridder, M., Drouet, T., Groenendijk, P., y Doucet, J.-L. (2019). Growth determinants of timber species *Triplochiton scleroxylon* and implications for forest management in central Africa. *Forest Ecology and Management*, 437, 211-221. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.042>
- Maciel-Nájera, J. F., Hernández-Velasco, J., González-Elizondo, M. S., Hernández-Díaz, J. C., López-Sánchez, C. A., Antúnez, P., Bailón-Soto, C. E., y Wehenkel, C. (2020). Unexpected spatial patterns of natural regeneration in typical uneven-aged mixed pine-oak forests in the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01074. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01074>
- Moll-Rocek, J., Gilbert, M. E., y Broadbent, E. N. (2014). Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) Regeneration in Logging Gaps in the Peruvian Amazon. *International Journal of Forestry Research*, 2014, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2014/420764>
- Muvengwi, J., Mbiba, M., Chikumbindi, J., Ndagurwa, H. G. T., y Mureva, A. (2018). Population structure and spatial point-pattern analysis of a mono stand of *Acacia polyacantha* along a catena in a savanna ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 409, 499-508. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.11.056>
- Pommerening, A. (2006). Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management*, 224(3), 266-277. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.12.039>
- Rockwell, C. A., Guariguata, M. R., Menton, M., Quispe, E. A., Quaedvlieg, J., Warren-Thomas, E., Silva, H. F., Rojas, E. E. J., Arrunátegui, J. A. H. K., Vega, L. A. M., Hancoo, R. Q., Vera, O. R., Tito, J. F. V., Panduro, B. T. V., y Salas, J. J. Y. (2017). Spatial distribution of *Bertholletia excelsa* in selectively logged forests of the Peruvian Amazon. *Journal of Tropical Ecology*, 33(2), 114-127. <https://doi.org/10.1017/S0266467416000614>

- Sánchez Gutiérrez, F., Valdez Hernández, J. I., Hernández de la Rosa, P., y Beltrán Rodríguez, L. A. (2019). Distribución y correlación espacial de especies arbóreas por gradiente altitudinal en la Selva Lacandona, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(54).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.590>
- Tonini, H., y Baldoni, A. B. (2019). Estrutura e regeneração de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em castanhais nativos da Amazônia. *Ciência Florestal*, 29(2), 607-621.
<https://doi.org/10.5902/1980509822112>
- Tuomisto, H., Van doninck, J., Ruokolainen, K., Moulatlet, G. M., Figueiredo, F. O. G., Sirén, A., Cárdenas, G., Lehtonen, S., y Zuquim, G. (2019). Discovering floristic and geocological gradients across Amazonia. *Journal of Biogeography*, 46(8), 1734-1748.
<https://doi.org/10.1111/jbi.13627>
- Wédjangnon, A. A., Sourou Kuiga, N. B., Houêthégnon, T., y Ouinsavi, C. A. I. N. (2020). Spatial distribution and interspecific association patterns between *Mansonia altissima* A. Chev., *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn and *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. in a moist semi-deciduous forest. *Annals of Forest Science*, 77(1), 6. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0913-0>
- Zhang, L., Hui, G., Hu, Y., y Zhao, Z. (2018). Spatial structural characteristics of forests dominated by *Pinus tabulaeformis* Carr. *PLOS ONE*, 13(4), e0194710.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194710>
- Zuidema, P. (2003). *Ecología y manejo del árbol de Castaña (Bertholletia excelsa): Programa Manejo de Bosques de la Amazonía Boliviana (PROMAB): Serie Científica Nro. 6.*