

# La familia Arecaceae en la parcela permanente de 50ha, Barro Colorado Island.

## Ecología de comunidades, biodiversidad, agrupamiento y asociación, en un bosque tropical lluvioso.

**Marcos Antonio González Reyes**    *Estudiante, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD)*

---

Sobre la familia Arecaceae en la parcela de 50ha se conoce muy poco de su ecología, diversidad, asociación (entre especies y variables ambientales y de suelo, especie/especie, y sitios/especies), y como se agrupan los sitios en base a sus características. Con este trabajo se trata de resolver la problemática planteada anteriormente. En base a los datos obtenidos se concluye que *Chamaedorea tepejilote* y *Bactris barronis* son las dos especies que no se asocian con otras especies, se presentan asociaciones entre variables geomorfológicas y entre variables de riqueza-abundancia. La abundancia de la familia Arecaceae se encuentra asociada con la riqueza de especies de la familia, la orientación media y la riqueza global de especies de la parcela permanente. La riqueza de la familia se asocia a su vez con la variable geomorfológica de pico. Mediante técnicas de agrupamiento se lograron alcanzar 5 grupos de sitios mediante la técnica Ward. Utilizando el Coeficiente de correlación biserial puntual se observa que el grupo dos de la técnica de agrupamiento Complete mantiene a *Socratea exorrhiza* como especie indicadora. El I de Moran con la transformada de Hellinger con y sin tendencia, muestra que *Bactris major* tiene una dependencia espacial con ciertas variables, como Ca, B y Mg, donde bajos valores de estas variables llevan a que haya abundancia significativa de esta especie en sus sitios de muestreo. Observar como el material estudiado se estructura dentro del área muestreada nos ayudaría a tener una idea de como estarían conformadas las comunidades de esta familia dentro de otras áreas de estudio que queramos analizar en el futuro. Los estudios y análisis empleados en este trabajo son extrapolables a cualquier sitio, y probablemente el presente trabajo establezca un precedente para investigadores que deseen realizar este tipo de investigación.

*Keywords:* Arecaceae, BCI, Lago Gatún, Panamá

---

### 1 Introducción

Trabajos realizados en esta localidad han estudiado el cambio en la composición del bosque como resultado de sequías (Valencia & Balslev, 1997),

Barro Colorado es una isla localizada en el lago Gatún del Canal de Panamá. Es un área protegida, en la cual se estudian los bosques tropicales y que junto con otras cinco penínsulas cercanas, forma el Monumento Natural Barro Colorado. Estructurado en 1923 y está administrado por el Instituto Smithsonian desde 1946.

En este estudio se estará trabajando con la familia de plantas Arecaceae, comúnmente conocidas como palmeras. Las palmas o palmeras son plantas monocotiledóneas y presentan un crecimiento apical, que al perder esta parte, detienen su crecimiento, secan y mueren. Las palmas cuentan con aproximadamente 3,500 especies, cuya mayoría se ve representada por árboles, también se encuentran arbustos y enredaderas. Las formas arbóreas no presentan ramificación en el tronco y tienen una corona terminal en hojas, generalmente llamadas frondas, que emergen

de una en una de la yema apical. La lignina de sus paredes celulares le confiere al tallo gran rigidez, y como monocotiledóneas no poseen crecimiento secundario. Algunas de ellas tienen valor económico y pueden ser fuente de alimento, refugio, ropa y combustible (Glimn-Lacy & Kaufman, 2006).

En la parcela de 50ha pocos trabajos resaltan en sí el estudio de la asociación de la familia Arecaceae, su diversidad, agrupamiento entre sitios y entre especies, y su ecología espacial. Por lo que en este trabajo buscamos esclarecer algunas preguntas basadas en estos aspectos: ¿Existe asociación de especies, sitios, y variables ambientales? ¿Cómo se organizan o agrupan los sitios en el área muestreada?, ¿Existe algún patrón consistente con alguna variable ambiental/atributo?, ¿Hay especies indicadoras o con preferencia por determinadas condiciones ambientales/atributos?, ¿Está suficientemente representada mi familia, según la diversidad presentada?, ¿Existe asociación de la diversidad alpha con variables ambientales/atributos?, ¿Con cuáles?, ¿Existe contribución local o por alguna especie a la diversidad beta?, ¿Alguna(s) especie de mi familia presenta(n) patrón aglomerado y de ser así, cuáles?, ¿Dicho patrón se asocia con alguna variable?, ¿Predicen bien la ocurrencia de dicha(s) especie(s) los modelos de distribución de especies (SDM)?

## 2 Metodología

### 2.1 Área de estudio

El área de estudio fue la parcela permanente de 50ha en Isla Barro Colorado, la parcela (en lo adelante BCI), abarca 0.5 km<sup>2</sup> de los 54 km<sup>2</sup> que comprende la isla, cuenta con al menos 315 especies identificadas (Condit, 1998), distribuidas en 88 familias. Forma parte de “*The Center for Tropical Science*”, una red compuesta aproximadamente 15 países, que estudian los bosques tropicales y la metodología estandarizada en grandes parcelas permanentes, siendo Barro Colorado la primer gran parcela en ser establecida, censada por primera vez en los años 1981-1983 (Condit, 1998), localizada en el Lago Gatún en Panamá (Hubbell, Condit, & Foster, 2005) (ver figura 1).

Este tipo de área de estudio se establece con el fin de recolectar y analizar datos ecológicos para monitorear la dinámica de poblaciones y la diversidad en estaciones de trabajo permanentes a largo plazo. Esto se conoce como “*Long-Term Monitoring*”, puede ser definido como el levantamiento de datos durante determinado período de tiempo en áreas contaminadas o con un alto índice de pérdida de especies. En palabras de Lindenmayer & Likens (2010), son las mediciones empíricas repetidas basadas en el campo, se recopilan continuamente y luego se analizan durante al menos 10 años. Es un estudio a largo plazo cuando documenta los procesos importantes que componen el ecosistema o el tiempo de generación del organismo dominante, así, su duración se mide con la velocidad dinámica del sistema que se está estudiando (Franklin, 1989).

### 2.2 Materiales y métodos

En el presente estudio trabajamos con la familia Arecaceae Schultz Sch., dentro de la parcela presenta 9 especies y 7 géneros. El estudio se fundamentó en el uso del censo #7 de BCI, tomando en cuenta una matriz de comunidad que contiene los datos relevantes de las especies censadas. Según (Condit, 1998), la metodología del censo utiliza como criterio de exclusión, aquellos individuos con menos de 1 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). Los censos, por lo general, se actualizan cada 5 años. Para las labores de monitoreo de la inmigración, extinción y reemplazo en la parcela, los individuos se identifican con un código único, de forma que los datos sirvan para evaluar, longitudinalmente, si hay nuevas especies, así como para actualizar la abundancia en cada

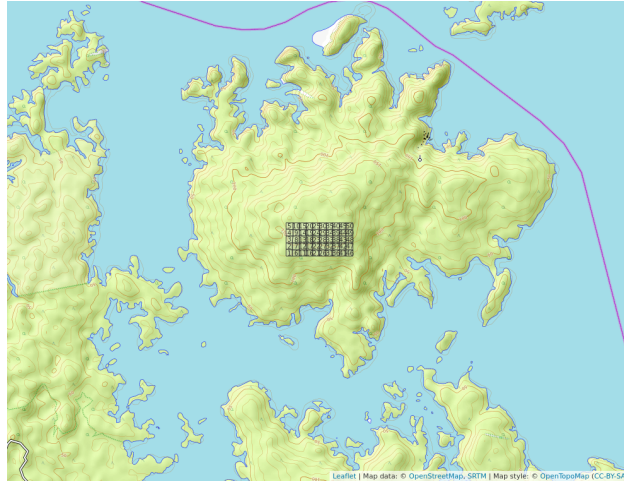


Figure 1: Área de estudio, parcela de 50ha, Isla Barro Colorado.

momento censal.

### 2.2.1 Medición de Asociación

En este análisis nos basamos en los modos Q y R, en tanto que realizamos comparaciones entre sitios y entre especies. En modo Q nos fundamentamos en la composición de especies y variables ambientales para evaluar la disimilaridad entre sitios. Utilizamos la distancia euclídea aplicada a datos de abundancia de una matriz de comunidad transformados por método "Hellinger", tanto como por medio de métricas de disimilaridad de Jaccard y Sorensen para datos transformados de presencia-ausencia, para evaluar disimilaridad entre sitios según su composición. Del mismo modo evaluamos disimilaridad entre sitios a través de variables mixtas de la matriz ambiental en modo Q, utilizando la métrica de Gower.

En modo R se calculó el grado de dependencia presente entre especies empleando, en la matriz de comunidad transpuesta, tanto la transformación "Chi", a los datos de abundancia para la posterior estimación de la distancia, que nos permite comparar especies, como la métrica de Jaccard a datos de presencia-ausencia. Finalmente, evaluamos el grado de asociación entre las variables ambientales a partir de los índices de correlación de Pearson y Spearman, aplicados a las variables cuantitativas de la matriz ambiental.

Las representaciones de las matrices de disimilaridad obtenidas, se realizaron utilizando 'mapas de calor', en los que se representaron, con distintas tonalidades de colores rosa y azul, las distancias obtenidas."

### 2.2.2 Análisis de Agrupamiento

Se realizaron análisis de agrupamiento utilizando técnicas de agrupamiento jerárquico, para agrupar según características o preferencias comunes entre sitios, aquí se utilizan criterios de enlace y sus resultados se visualizan en dendrogramas, para cuya elaboración se usó distancia Euclídea, que es la distancia entre un punto y otro según variables descriptivas y se usa la distancia mínima. Aquí utilizamos el agrupamiento "Ward" de distancia mínima, determinado para 5 grupos de sitios, el objetivo es definir grupos de manera que la suma de cuadrados se minimice dentro

de cada uno de ellos, basándose en el criterio del modelo lineal de mínimos cuadrados (Borcard, Gillet, & Legendre, 2018). También se aplicaron otras pruebas, en este caso ANOVA, evalúa homogeneidad de medias, no se cumplen muchos de los supuestos requeridos para esta prueba; y Kruskal-Wallis que evalúa homogeneidad de medianas; para calcular asociación entre variables ambientales y de suelo, y los grupos formados (Batlle, 2020).

Para la generación de dendrogramas se utilizó la función 'hclust' del paquete 'stats', presente por defecto en R. A su vez se utilizó correlación cofenética para determinar el número de grupos de sitios más apropiado; y 'anchura de silueta' para determinar cuantos grupos serían necesarios o más representativos, así como pruebas multivariadas de Bootstrap en búsqueda de los sitios que presentaran mayores probabilidades de formar grupos, y la generación de mapas de calor para representar los grupos de sitios y la distancia entre especies.

### 2.2.3 Diversidad Ecológica

Para calcular el grado de diversidad alpha usamos los grupos generados mediante el análisis de agrupamiento, 'grupos\_ward\_k5'. A fin de calcular esto se utilizan métodos como la Entropía de Shannon  $H_1$ , que calcula el grado de desorden en la muestra; índice de concentración de Simpson, que calcula la probabilidad de que dos individuos seleccionados aleatoriamente puedan ser de la misma especie, Equidad de Pielou  $J = H_1 / H_0$ . Números de Hill, riqueza de especies  $N_0 = q$ , número de especies abundantes  $N_1 = e^H$ , y el inverso de Simpson  $N_1 = 1/\lambda$ ; y ratios de Hill  $E_1 = N_1 / N_0$  (su versión para equidad Shannon),  $E_2 = N_2 / N_0$  (versión de equidad de Simpson).

Para diversidad beta calculamos la contribución de las especies y los sitios a la misma, valiéndonos de la función "*determinar\_contrib\_local\_y\_especie*", usando la transformación de Hellinger.

### 2.2.4 Análisis de Ecología Espacial

También se usaron modelos con enfoques asintóticos: Modelo homogéneo (estándar y MLE), Chao1 y Chao1-bc, iChao1, Basados en "cobertura" o "completitud de muestra". ACE para datos de abundancia, Estimadores Jackknife (de primer y segundo órdenes), que estiman la riqueza de especies; y modelos no asintóticos para rarefacción y extrapolación de datos.

En ecología espacial usamos la transformada de hellinger y la matriz ambiental para crear un cuadro de vecindad y ver como se autocorrelacionan los sitios, se genera un correlograma para las variables que queremos estudiar mediante la función 'sp.correlogram' y para varias variables como la abundancia de especies y variables ambientales. También se usaron otros métodos como la prueba Mantel, para aplicarla a datos de comunidad, es necesario quitar la tendencia espacial. Para ello, primero hay que ajustar la matriz de comunidad transformada por Hellinger a la matriz de posiciones XY. El modelo resultante explicará las abundancias de especies transformadas según la posición. Los residuos de dicho modelo, contendrán la proporción de las abundancias transformadas no explicada por la posición. Si dicha proporción presenta autocorrelación espacial (cuadros de 1 Ha cercanos entre sí que presentan correlación positiva o negativa), entonces es probable que se esté frente a un caso de dependencia espacial inducida por una variable interviniente con matrices de distancia para autocorrelación espacial con y sin tendencia.

Así mismo, se utilizó el I de Moran, con una matriz de abundancia de especies transformada sin tendencia que se aplica a variables ambientales para obtener los datos de autocorrelación y distribución de especies y variables en los sitios de muestreo.

Para este estudio se utilizó el software estadístico R (R Core Team, 2020), los paquetes ve-

gan (Oksanen et al., 2019), tidyverse (Wickham, 2017), sf (Pebesma, 2018), mapview (Appelhans, Detsch, Reudenbach, & Woellauer, 2019), leaflet (Cheng, Karambelkar, & Xie, 2018), ez (Lawrence, 2016), psych (Revelle, 2019), adeSpatial (Dray et al., 2020), stats (R Core Team, 2020) y scripts del repositorio “Scripts de análisis de BCI” (Batlle, 2020).

### 3 Resultados

Se muestran los resultados del estudio realizado a la familia Arecaceae en la parcela de 50ha de Barro Colorado.

#### 3.1 Riqueza-abundancia y presencia-ausencia

La familia Arecaceae estuvo representada por 2,637 individuos, dentro de los que había una riqueza de 9 especies y 7 géneros. La especie más abundante fue *Oenocarpus mapora* con 1,802 individuos, seguida de *Socratea exorrhiza* (500); *Astrocaryum standleyanum* y *Bactris major* fueron las de abundancia media con 152 y 112 individuos respectivamente; y *Attalea butyracea*, *Elaeis oleifera*, *Bactris coloniata*, *Bactris barronis* y *Chamaedorea tepejilote* 32, 20, 10, 5 y 4 individuos respectivamente (ver tabla 1 y figura 2). La mayor abundancia de la familia estuvo presente en los sitios 5, 6 y 27, con 113, 171 y 136 individuos respectivamente; y los sitios 35, 40 y 41 los de menor abundancia, presentando 9, 15 y 10 individuos respectivamente (ver figura 5). Los cuadrantes que mayor riqueza mostraron tuvieron un número de 5 a 6 especies, los que menos mostraron, tuvieron de 2 a 3 especies, ningún cuadrante mostró estar representado por solo 1 especie, así mismo ninguno presentó la totalidad de especies (9) presentes en la parcela (ver figura 6).

La distribución de pH en la parcela se presenta de izquierda a derecha, hacia la izquierda se encuentran los valores de pH más bajos y hacia la derecha los más altos (ver figura 7).

Table 1: Abundancia de individuos por especie de la familia Arecaceae.

Latin	n
<i>Oenocarpus mapora</i>	1802
<i>Socratea exorrhiza</i>	500
<i>Astrocaryum standleyanum</i>	152
<i>Bactris major</i>	112
<i>Attalea butyracea</i>	32
<i>Elaeis oleifera</i>	20
<i>Bactris coloniata</i>	10
<i>Bactris barronis</i>	5
<i>Chamaedorea tepejilote</i>	4

#### 3.2 Medición de asociación

Los sitios mostraron grados de correlación estadística mediante análisis de disimilaridad de distancia Euclídea, de igual manera se encontraron sitios altamente disímiles del conjunto (sitios

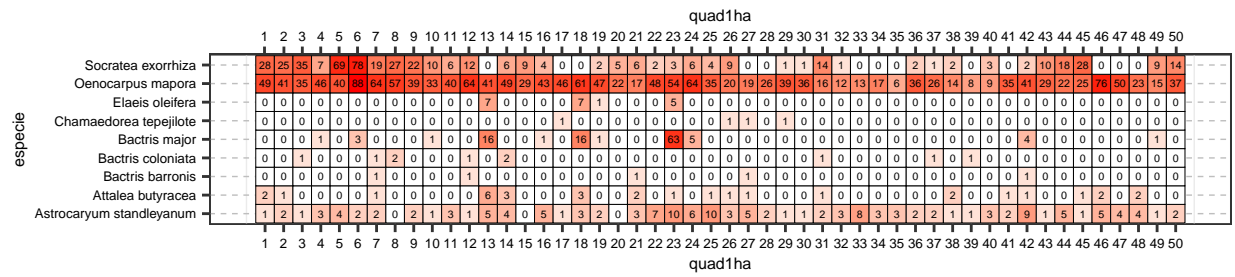


Figure 2: Abundancia de individuos por especie en cada cuadrante.

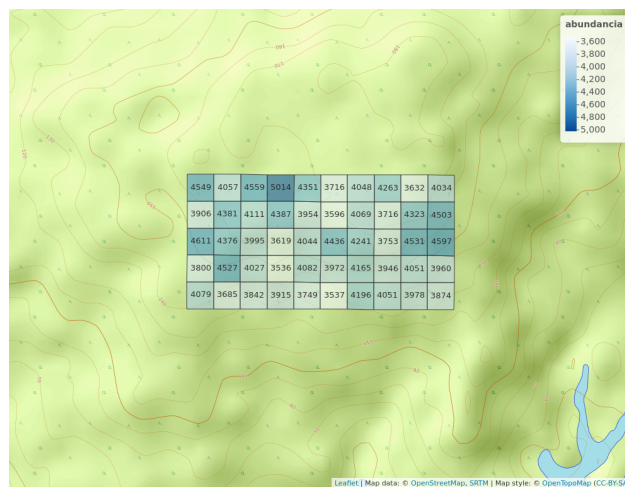


Figure 3: Mapa de abundancia global.

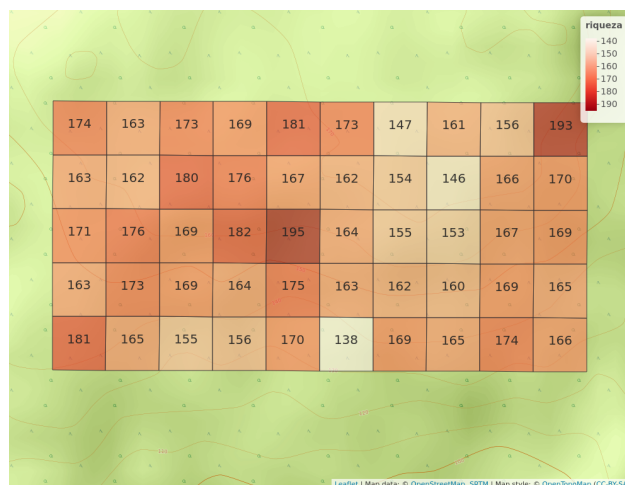


Figure 4: Mapa de riqueza global.

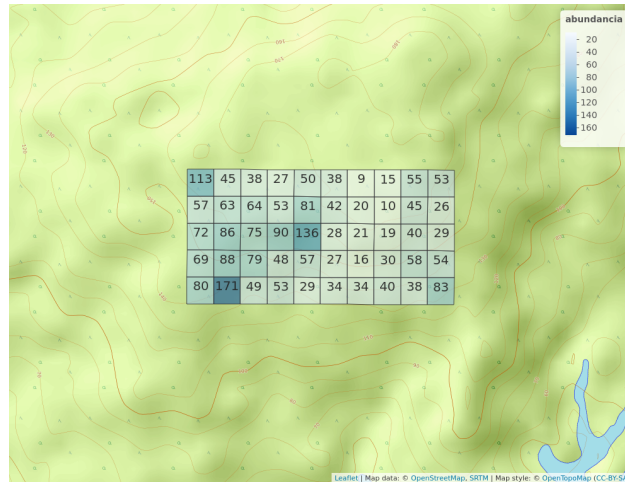


Figure 5: Mapa de abundancia de individuos por cuadrante de la familia Arecaceae.

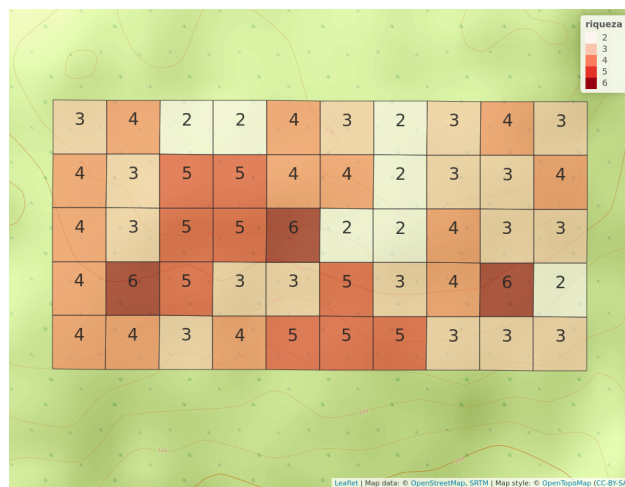


Figure 6: Mapa de riqueza de especies de la familia Arecaceae.

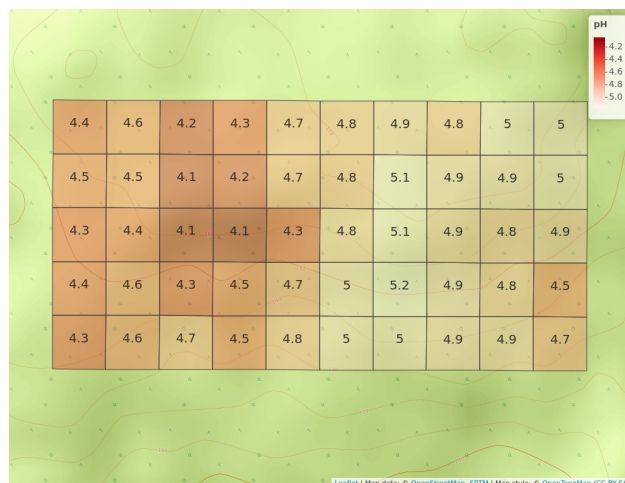


Figure 7: Mapa de pH, parcela de 50ha.



18, 21, 31 y 42)(ver figura 8).



Figure 8: Matriz de correlacion entre sitios. En color fucsia los sitios que poseen alta asociaci3n, y en color cian los de baja asociaci3n.

Para la asociaci3n de especies, los datos arrojaron que *Chamaedorea tepejilote* y *Bactris barronis* son especies que no presentan asociaciones con otras; *Socratea exorrhiza* se asocia con *Bactris coloniata*, *Oenocarpus mapora*, *Astrocaryum standleyanum*, *Attalea butyracea* y *Bactris major*; *Oenocarpus mapora* no tiene asociaci3n con las especies *Chamaedorea tepejilote* ni *Bactris barronis*, mientras que s3 presenta asociaciones con las dem3s especies; el mismo caso anterior se repite con las especies *Astrocaryum standleyanum* y *Attalea butyracea*; *Elaeis oleifera* no presenta asociaciones con *Chamaedorea tepejilote*, *Bactris barronis*, *Bactris coloniata* ni *Socratea exorrhiza*, pero s3 con las otras especies; *Bactris major* carece de asociaci3n con las especies *Chamaedorea tepejilote*, *Bactris barronis* y *Bactris coloniata*, (ver figuras 9 y 10).

Se observaron asociaciones entre variables geomorfol3gicas y variables de riqueza-abundancia, la abundancia de la familia Arecaceae se encontr3 asociada a la variable de pendiente media; y la riqueza de especies estuvo relacionada con geomorfolog3a de pico, (ver figura 11). En cuanto a variables de suelo y riqueza-abundancia, la abundancia estuvo asociada significativamente con las variables B, Ca, Cu, K, Mn, Zn, N, N.min, y pH de manera negativa, mientras que la riqueza no mostr3 asociaci3n significativa con ninguna variable de suelo, (ver figura 12).

### 3.3 An3lisis de agrupamiento

Se detectaron sitios con altas probabilidades de formar grupos, cuyo agrupamiento por m3todo "ward" result3 en cinco grupos, un gran grupo con 24 sitios; uno mediano con 15; y tres peque1os con 2, 3 y 6 sitios cada uno, (ver figura 13). A pesar de la autocorrelaci3n que presentan los sitios entre s3, la composici3n de especies de la familia afecta la distribuci3n de los grupos, haciendo que los sitios formen agrupamientos discontinuos, (ver figura 14). Los sitios siguen un patr3n de asociaci3n discontinuo o disperso, que tiene grados de correlaci3n con variables am-



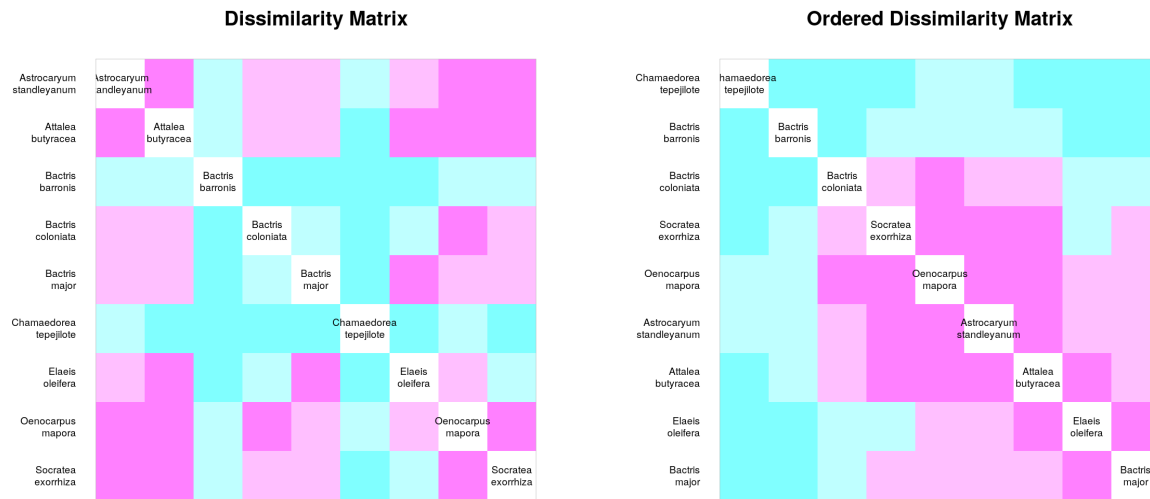


Figure 9: Matriz de asociacion entre especies. Los colores cian significan nula asociaci3n, y los colores fucsia la asociaci3n que presentan las especies.

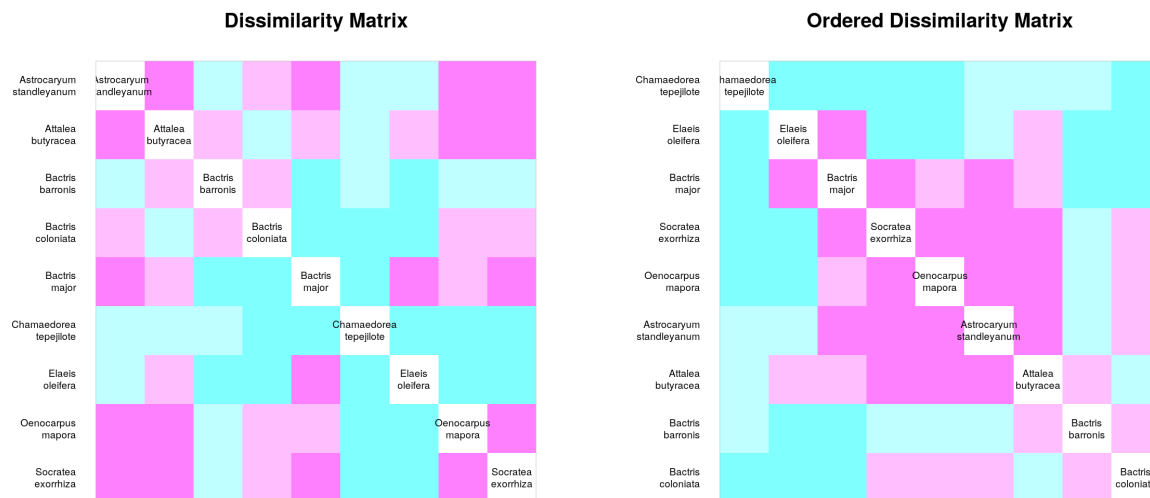


Figure 10: Matriz de distancia entre especies. Los colores cian denotan larga distancia Eucl3dea, y los colores fucsia corta distancia.

heterogeneidad ambiental	.20	-.16	.02	.15	-.12	-.06	-.21	.10	-.35	-.19	.04	.05	.10	.10	.12	-.04	.29	.11	.09
	geomorf. llanura	-.11	-.34	.83	-.68	-.69	-.71	.52	-.51	-.13	.66	-.76	-.53	.26	.26	-.05	-.05	.03	-.12
	geomorf. piso	.38	.06	.21	-.21	.31	.14	.37	-.04	-.23	.21	-.10	-.10	.08	-.04	.01	.29	.18	
	geomorf. interfluvio	-.17	.57	-.15	.60	.19	.54	-.14	-.73	.16	.09	-.23	.05	-.21	-.04	.19	.11		
	geomorf. hombrera	-.42	-.68	-.50	.44	-.31	.02	.49	-.57	-.43	.40	.34	.02	-.04	.15	.07			
	geomorf. espaldoniego	.18	.75	-.42	.60	.12	-.71	.61	.31	0	-.10	-.09	-.02	.17	.12				
	geomorf. vertiente	.26	-.49	.03	.06	-.27	.56	.67	-.10	-.19	.13	.06	-.22	0					
	geomorf. vaguada	-.28	.71	.10	-.81	.60	.27	-.25	-.38	-.17	-.06	.21	.12						
	geomorf. piedemonte	.02	-.18	.24	-.66	-.38	-.37	.12	.03	-.03	-.03	-.26							
	geomorf. valle	.18	-.60	.25	-.11	-.39	-.46	-.03	.05	.01	.09								
	geomorf. alima	.03	-.02	-.01	.10	-.23	.14	-.12	-.10	.10									
	elevation media	-.51	-.32	.23	.20	.22	-.04	-.24	-.21										
	pendiente media	.60	-.02	-.12	-.07	.16	.18	.29											
	orientacion media	.08	.06	-.07	.02	0	.02												
	curvatura perfil media	.40	-.11	-.16	.02	.22													
	curvatura tangencial media	-.04	-.09	.20	.03														
	abundancia global	.37	-.25	-.07															
	riqueza global	.26	.53																
	riqueza mifam	.41																	
	abundancia mifam																		

Figure 11: Matriz de correlacion de variables geomorfologicas y abundancia-riqueza.

















Al	-.53	-.53	-.26	-.09	-.50	-.44	-.08	.49	-.54	-.34	-.30	-.60	.09	.11	.15	.26
	B	.90	.74	.57	.90	.86	.63	-.05	.87	.51	.65	.74	-.22	-.36	-.26	-.55
	Ca	.81	.67	.92	.93	.69	-.25	.85	.36	.67	.58	-.16	-.20	-.22	-.32	
	Cu	.69	.79	.71	.85	-.29	.63	.27	.52	.47	.14	-.16	-.22	-.37		
	Fe	.66	.66	.60	-.10	.65	.11	.72	.21	-.08	.06	-.03	-.06			
	K	.90	.61	-.17	.90	.49	.74	.68	-.08	-.20	-.19	-.45				
	Mg	.62	-.15	.82	.33	.64	.52	-.24	-.14	-.12	-.20					
	Mn	-.24	.51	.13	.39	.32	-.02	-.34	-.17	-.29						
	P	-.07	.30	-.07	.02	-.24	-.21	.01	-.18							
	Zn	.51	.81	.73	-.15	-.27	-.26	-.53								
	N	.23	.69	-.15	-.31	-.11	-.56									
	N.min.	.47	-.06	-.07	-.11	-.38										
	pH	-.09	-.48	-.24	-.66											
	abundancia global	.37	-.25	-.07												
	riqueza global	.26	.53													
	riqueza mifam	.41														
	abundancia mifam															

Figure 12: Matriz de correlacion de variables suelo y abundancia-riqueza.

bientales como Al, B, Mn, Cu, Zn, N, pH, K; y variables geomorfológicas de elevación media, hombrera y pendiente media, (ver figura 15). Los sitios pertenecientes al grupo cuatro tienen marcada asociación con variables de suelo como (Potasio, Hierro, Aluminio) mientras que con otras variables de suelo tiene valores de asociación bajos; con variables ambientales/geomorfológicas como (Riqueza global, Vertiente, Heterogeneidad ambiental y Pendiente media) presenta altos grados de dependencia.

Se observaron especies indicadoras en el agrupamiento “ward” mediante método del valor indicador (IndVal), y con preferencia de hábitats con el Coeficiente de Correlación Biserial Puntual (CCBP), las cuales fueron *Elaeis oleifera*, *Bactris major* y *Attalea butyracea* en el grupo 4; con la suma de grupos 1+2 se encuentra *Socratea exorrhiza*, y para los grupos 4+5 *Astrocaryum standleyanum*. A su vez, se detectaron especies con preferencias por hábitats: *Socratea exorrhiza* con preferencia por los habitats “OldLow” (bosque viejo con relieve bajo) y “OldSlope” (Bosque viejo con pendiente) en el grupo 2; y *Elaeis oleifera*, *Bactris major* y *Attalea butyracea* en el grupo 4, con preferencia por los habitats “OldLow” y “swamp” (pantano).

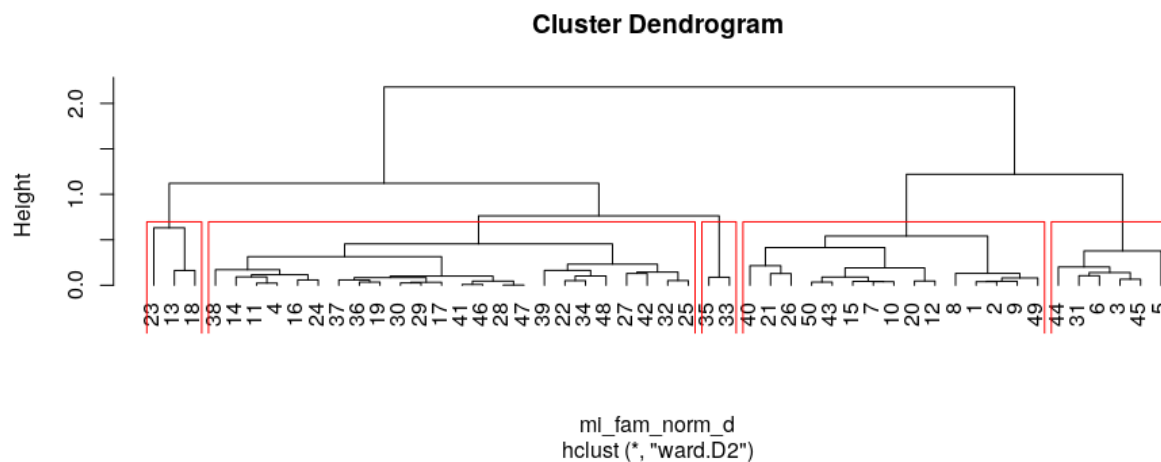


Figure 13: Dendrograma de grupos.

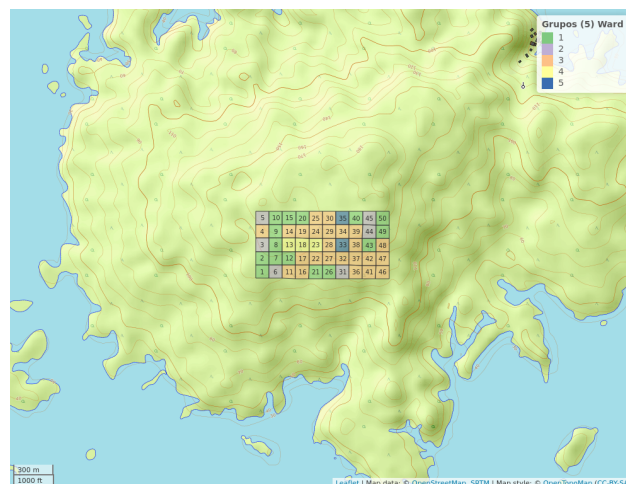


Figure 14: Mapa distribución de sitios agrupados.

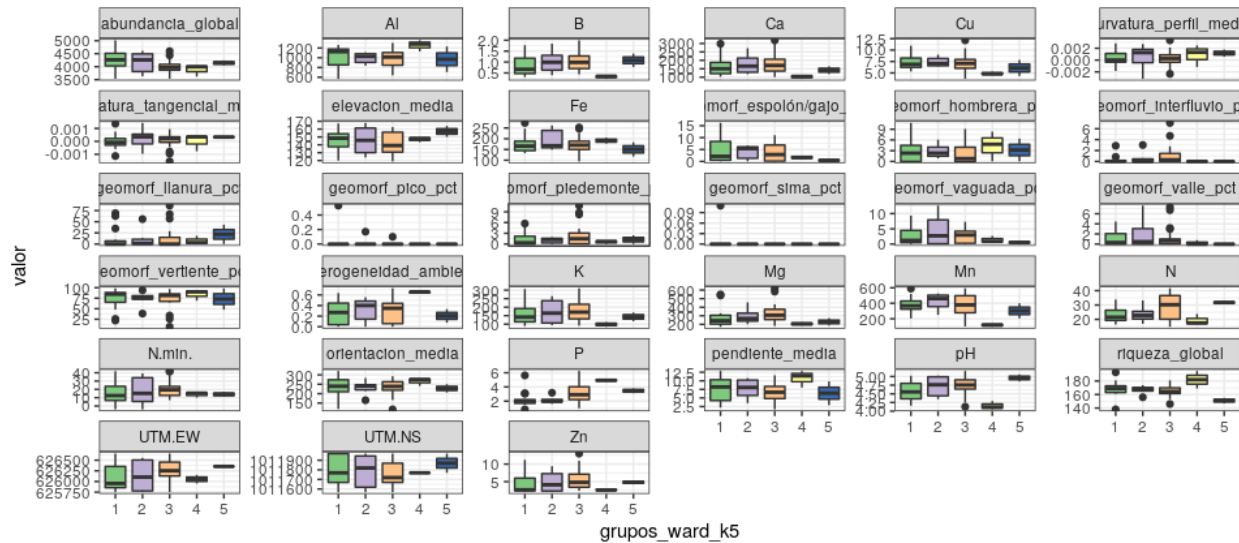


Figure 15: Grafico de correlacion entre variables y grupos de sitios.

### 3.4 Análisis de diversidad

Se determinó que la riqueza de la familia Arecaceae (9 especies) en BCI, está representada en su totalidad, la cobertura del conjunto de datos fue del 100% y todos los valores estimados de riqueza fueron del 95%. En cuanto a los grupos encontrados: todos los grupos mostraron completitud de muestra del 100% y valores estimados de riqueza del 95%.

En diversidad alpha la Equidad de Pielou y la Ratios de Hill mostraron asociación estadística con la elevación media y abundancia global. Para diversidad beta, se encontró que tanto los sitios (13 y 23), como las especies (*Attalea butyracea*, *Socratea exorrhiza* y *Bactris major*), contribuyen a esta diversidad.

### 3.5 Análisis de Ecología espacial

Se detectaron autocorrelaciones tanto para las especies, como para las variables geomorfológicas y de suelo. Las especies que mostraron autocorrelación fueron *Astrocaryum standleyanum* con valor positivo para los órdenes 1, 2, y negativo para órdenes 5 y 6; *Elaeis oleifera* y *Oenocarpus mapora* en el orden 1, positiva y negativa respectivamente; *Socratea exorrhiza* positiva para orden 1 y negativa para orden 5. Las variables geomorfológicas que tuvieron autocorrelación la presentaron solo para 1 orden, como es el caso de llanura, espolón/gajo, vertiente y vaguada. Para las variables de suelo las más destacables son: Al con valor positivo para orden 1 y negativo para orden 7; B, Ca, Zn y K en los órdenes 1-3 (positiva) y 5-8 (negativa); Mg órdenes 1-3 (positiva) y 6-8 (negativa); Fe positiva en los órdenes (1, 2) y negativa en (7, 8); Cu en órdenes 1 y 2; Mn positiva para orden 1 y negativa para el 4; P positiva en órdenes (1, 4) y negativa en los (2, 6) N 1-2 (positiva) y 4-6 (negativa); N.min 1-3 (positiva) y 7-9 (negativa); pH órdenes 1-3 (positiva) y 4-7 (negativa); pendiente y orientación media para orden 1; y elevación media, positiva para órdenes (1, 2) y negativa para (3, 4).

Hubo autocorrelación para el orden 3 en la prueba de Mantel, con significancia para un valor

de 0.001. El I de Moran con la transformada de Hellinger con y sin tendencia, muestra que *Bactris major* tiene una dependencia espacial con ciertas variables, como Ca, B y Mg, donde bajos valores de estas variables llevan a que haya abundancia significativa de esta especie en sus sitios de muestreo; esta especie se describe como calciofila (Grandtner & Chevrette, 2013). *Elaeis oleifera* parece mostrar preferencia por variables como llanura; hábitats “OldLow” y “Swamp”; en presencia de Al esta especie puede aumentar sus valores de abundancia; y de bajos valores de N, K, Mg y elevación media. “*A. butyracea*” pareciera tener preferencia por algunas de las variables anteriores. Los sitios del grupo 4 (13, 18 y 23) son de los que presentan mayor heterogeneidad ambiental, valores de elevación media similares, cercanos valores Cu, Mn y Ca. Debido al azar con el que se presentan las especies de la familia en el área de estudio estimo que estos modelos no predicen con gran certeza la distribución u ocurrencia de las mismas.

#### 4 Discusión

Estudios de poblaciones de especies de la familia Arecaceae también reportan que *Socratea exorrhiza* es una especie que parece siempre presentar una abundancia significativa de individuos como reporta (Stevenson & Rodríguez, 2008). *Elaeis oleifera* es una indicadora significativa de la del micro hábitat pantanoso (Legendre & Condit, 2019) y reporta un aumento de abundancia de 1 individuo, actualmente ese número ha incrementado a 20.

*Bactris barronis* y *Chamaedorea tepejilote* fueron las especies que no se relacionaron con más especies, esto puede estar determinado por baja abundancia de individuos que presentaron, ya que son las 2 especies con la más baja abundancia, también podría estar relacionado con su distribución espacial y algunas variables ambientales como valores bajos de elevación media, y bajos valores de Al, Fe, Mn, y altos valores de pH fomentan la abundancia de *Chamaedorea tepejilote*. La asociación de variables también demostró estar correlacionada con la distribución de las especies dentro de la parcela. Cuatro pares de especies presentan asociación significativa, *Bactris major* y *Elaeis oleifera*, *Attalea butyracea* y *E. oleifera*, *Oenocarpus mapora* y *Socratea exorrhiza*, y *Astrocaryum standleyanum* con *B. major*.

Los sitios pertenecientes al grupo cuatro tienen marcada asociación con variables de suelo como (Potasio, Hierro, Aluminio) mientras que con otras variables de suelo tiene valores de asociación bajos; con variables ambientales/geomorfológicas como (Riqueza global, Vertiente, Heterogeneidad ambiental y Pendiente media) presenta altos grados de dependencia. Esto nos da una mejor perspectiva de por qué este grupo presenta esta distribución y especies muy particulares *Attalea butyracea*, *Bactris major* y *Elaeis oleifera*, especies que no se presentan en sitios tan contiguos como son los sitios 13, 18 y 23.

Para los grupos Ward, sugieren que en los grupos 1 y 3 es posible encontrar una especie adicional si se aumentara el esfuerzo de muestreo; y los grupos 2, 4 y 5 muestran total representación de especies de la familia en base a lo estimado por los análisis. Cabe destacar que los estimadores de Shanon y Simpson tuvieron sus variaciones en muchos casos, pero de todas formas, lo observado y lo estimado estuvo dentro de los parámetros de confianza.

El I de Moran señala que el pH muestra una autocorrelación espacial de los órdenes 1 al 7. En tanto que para las especies, *Astrocaryum standleyanum* la tiene positiva para los órdenes 1 y 2, y negativa para los órdenes 5 y 6, *Elaeis oleifera* positiva para orden 1, *Oenocarpus mapora* de orden 1 negativa, *Socratea exorrhiza* para orden 1 (positiva) y 5 (negativa). Hay autocorrelación para algunas variables geomorfológicas, pero solo para 1 orden, como es el caso de llanura, espolón/gajo, vertiente y vaguada. Para las variables de suelo las más destacables son B, Ca, Zn y K en los órdenes (1-3 y 5-8); Mg órdenes (1-3 y 6-8); N (1-2 y 4-6); N.min (1-3 y 7-9); y pH órdenes (1-7). Estos

resultados describirían por qué estas especies son las más abundantes, exceptuando por *E. oleifera* que es una de las de menor abundancia, pero que es una especie indicadora del hábitat pantanoso.

## 5 Agradecimientos

## 6 Información de soporte

...

## 7 Script reproducible

...

## Referencias

- Appelhans, T., Detsch, F., Reudenbach, C., & Woellauer, S. (2019). *Mapview: Interactive viewing of spatial data in r*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=mapview>
- Batlle, J. R. M. (2020). biogeografia-master/scripts-de-analisis-BCI: Long coding sessions (Version v0.0.0.9000). <https://doi.org/10.5281/zenodo.4402362>
- Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2018). *Numerical ecology with r*. Springer.
- Cheng, J., Karambelkar, B., & Xie, Y. (2018). *Leaflet: Create interactive web maps with the javascript 'leaflet' library*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=leaflet>
- Condit, R. (1998). *Tropical forest census plots: Methods and results from barro colorado island, panama and a comparison with other plots*. Springer Science & Business Media.
- Dray, S., Bauman, D., Blanchet, G., Borcard, D., Clappe, S., Guenard, G., ... Wagner, H. H. (2020). *Adespatial: Multivariate multiscale spatial analysis*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=adespatial>
- Franklin, J. F. (1989). Importance and justification of long-term studies in ecology. In *Long-term studies in ecology* (pp. 3–19). Springer.
- Glimn-Lacy, J., & Kaufman, P. B. (2006). Palm family (arecaceae). *Botany Illustrated: Introduction to Plants, Major Groups, Flowering Plant Families*, 125–125.
- Grandtner, M. M., & Chevrette, J. (2013). *Dictionary of trees, volume 2: South america: Nomenclature, taxonomy and ecology*. Academic Press.
- Hubbell, S., Condit, R., & Foster, R. (2005). *Forest census plot on barro colorado island*. <http://ctfs.si.edu/webatlas/datasets/bci/>.
- Lawrence, M. A. (2016). *Ez: Easy analysis and visualization of factorial experiments*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=ez>
- Legendre, P., & Condit, R. (2019). Spatial and temporal analysis of beta diversity in the barro colorado island forest dynamics plot, panama. *Forest Ecosystems*, 6(1), 1–11.
- Lindenmayer, D. B., & Likens, G. E. (2010). The science and application of ecological monitoring. *Biological Conservation*, 143(6), 1317–1328.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., ... Wagner, H. (2019). *Vegan: Community ecology package*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Pebesma, E. (2018). Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. *The R Journal*, 10(1), 439–446. <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. Retrieved from

<https://www.R-project.org/>

Revelle, W. (2019). *Psych: Procedures for psychological, psychometric, and personality research*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=psych>

Stevenson, P. R., & Rodríguez, M. E. (2008). Determinantes de la composición florística y efecto de borde en un fragmento de bosque en el guaviare, amazonía colombiana. *Colombia Forestal*, 11, 5–17.

Valencia, R., & Balslev, H. (1997). *ESTUDIOS sobre diversidad y ecología de plantas*.

Wickham, H. (2017). *Tidyverse: Easily install and load the 'tidyverse'*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse>