

# Asociación y composición florística de la familia Sapotaceae en la parcela permanente de 50h, Isla Barro Colorado

**Merali Rosario**     *Estudiante, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD)*

---

La diversidad y estructura de los bosques miden los recursos y la abundancia en un área geográfica, por ejemplo, los bosques de la familia Sapotaceae son importantes para proporcionar alimentos a las especies de vida silvestre (Martínez-Sovero et al., 2021). La Isla Barro Colorado es una reserva natural ubicada en el lago Gatún del Canal de Panamá. Debido a su capacidad de investigación, es una de las regiones tropicales más conocidas en materia de biología y ecología tropical ("Isla barro colorado y biología tropical," 1990). El objetivo de este trabajo es determinar la asociación, composición florística y distribución de la familia Sapotaceae en la parcela permanente de 50h de la isla Barro Colorado. Los datos de cada uno de los cuadrantes de una hectárea que componen BCI, fueron procesados en R (R Core Team, 2020), teniendo en cuenta la matriz ambiental y la matriz de comunidad, los cuales contienen datos de las variables ambientales, tales como condiciones edáficas, tipo de hábitat, topografía del lugar, clasificación etaria del bosque, y datos demográficos y georreferenciación espacial de todos los individuos censados. Se adaptaron scripts reproducibles recuperados de Batlle (2020), utilizando colecciones de paquetes multifuncionales. Todos los datos fueron examinados utilizando análisis de ecología numérica. Se registraron un total de 5 especies y 2 géneros distribuidos en 2029 individuos en toda la parcela. La riqueza por cuadro fue de 4 especies y la mediana de la abundancia por cuadro fue de 39 individuos. La especie más abundante fue *Pouteria reticulata*, con 1084 individuos, y la menos abundante fue *Pouteria fossicola* con 3 individuos. La riqueza de la familia Sapotaceae presenta correlación con la presencia de cobre y nitrógeno en el suelo. Las variables geomorfológicas presentan asociación con la abundancia y riqueza. La riqueza de la familia Sapotaceae aumenta en función del contenido de hidrógeno, nitrógeno y cobre. Además, aumenta con la equidad. Los índices de diversidad alfa arrojaron valores muy bajos. Las especies que contribuyen de manera significativa a la diversidad beta fueron: *Chrysophyllum argenteum*, *Chrysophyllum cainito* y *Pouteria stipitata*, de las cuales la que más contribuyó a la diversidad beta fue *Chrysophyllum cainito*. De acuerdo con estos resultados, se concluye que la riqueza de la familia Sapotaceae no presenta mucha diversidad en BCI, lo cual se estima que la riqueza seguiría constante o no aumentaría significativamente aunque se hiciera un mayor esfuerzo de muestreo.

*Keywords:* Diversidad, Sapotaceae, Riqueza, Abundancia, Asociación

---

## 1 Introducción

La diversidad y estructura de los bosques miden los recursos y la abundancia en un área geográfica, y cumplen funciones elementales para mantener la vida, por ejemplo, Los bosques tropicales poseen una gran diversidad de especies y complejidad ecológica. Además, cubren un 10% de la superficie terrestre y son de gran importancia para el planeta, debido a que capturan y procesan inmensas cantidades de carbono (Campos-Pineda, Moreno, & Mendieta, 2017; Martínez-Sovero et al., 2021).

La familia Sapotaceae está ampliamente distribuida en las zonas tropicales (Smedmark, 2007). Producen frutas tropicales y algunas especies producen látex, y madera de alta calidad, siendo una familia de plantas de importancia ecológica y económica (Martínez-Sovero, Iglesias-Osores, & Villena-Velásquez, 2020). Los bosques de la familia Sapotaceae son importantes para proporcionar alimentos a las especies de vida silvestre (Martínez-Sovero et al., 2021; Wan, 2020).

La Isla Barro Colorado es una reserva natural ubicada en el lago Gatún del Canal de Panamá. Debido a su capacidad de investigación, es una de las regiones tropicales más conocidas en materia de biología y ecología tropical ("Isla barro colorado y biología tropical," 1990). La isla exhibe características importantes, tres de las cuales son la estabilidad ambiental, su ubicación geográfica (en un área de importancia internacional) y la capacidad para investigar grupos específicos de organismos (Rodríguez-Flores & Barrios, 2020). Cabe señalar, que en trabajos anteriores (R. Condit et al., 2002) sobre los bosques tropicales de Panamá y el grado de diversidad beta entre especies en diferentes comunidades, indican que la disimilaridad aumenta con la distancia a la que están separados en el espacio. Sin embargo, estos estudios no minimizan la importancia de la variabilidad del hábitat, y se toma en cuenta en este estudio, ya que un acercamiento inicial a los datos de abundancia de las diferentes especies de la familia Sapotaceae en Barro Colorado arrojaron indicaciones de posibles patrones de su distribución y se plantea la posibilidad de que hay especies con algún grado de asociación con las variables ambientales que allí prevalecen.

Aunque la distribución actual de la abundancia de especies se atribuye principalmente a los mecanismos que definen comunidades específicas, como la prevalencia de especies dominantes, que son relativamente más abundantes que las especies raras. Las medidas para la distribución de la abundancia relativa se ve afectada por interacciones que aún no se han determinado plenamente, ni en qué medida inciden en la estructura de la comunidad (Horvát, Derzsi, Nédá, & Balog, 2010).

El objetivo de este trabajo es determinar la asociación, composición florística y distribución de la familia Sapotaceae en la parcela permanente de 50h de la isla Barro Colorado. Además, analizar la organización de las especies en los cuadros de 1 hectárea e identificar si existe algún patrón con alguna variable ambiental, así como también, explicar si hay especies indicadoras o con preferencia por determinadas condiciones ambientales. Por otra parte, evaluar si la familia Sapotaceae está suficientemente representada según los análisis de estimación de riqueza, determinar cuáles son las variables ambientales que presentan asociación con la diversidad alpha y mostrar cuáles son las especies que contribuyen a la diversidad beta. Por último, pero no menos importante, examinar la autocorrelación espacial de las especies.

## **2 Metodología**

### **2.1 Área de Estudio**

La isla de Barro Colorado es una colina de 1,500 hectáreas ubicada a 137 msnm en el lago Gatún. La parte superior de la isla es ancha y plana, y se asienta sobre un lecho de roca de basalto, de la cual irradian colinas empinadas y valles tallados en rocas sedimentarias que contienen gran cantidad de restos volcánicos. El suelo es arcilloso y la profundidad varía de 50 cm a un metro. El clima es típico de las áreas tropicales (Pérez et al., 2005; Windsor et al., 1990).

La parcela permanente de árboles de 50 hectáreas se estableció en 1980 en el bosque húmedo tropical. El sitio es un rectángulo de 1,000 m de largo por 500 m de ancho, ubicado en la meseta central de la isla. Está dividido en 1,250 cuadrantes de 20x20 m, en el cual se han contabilizado todos los árboles con más de 10 mm de diámetro a la altura del pecho cada cinco años desde 1985 (R. A. y H. Condit Richard y Chisholm, 2012; R. y L. Condit Richard y Pérez, 2017; Pérez et al.,

2005) (ver mapa 1).

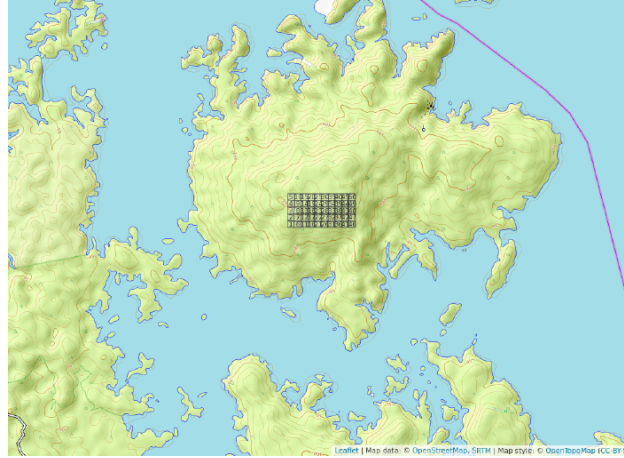


Figure 1: Área de estudio, parcela de 50ha, Isla Barro Colorado

## 2.2 Materiales y Métodos

La información de los cuadrantes que componen BCI fue procesada en R (R Core Team, 2020), teniendo en cuenta la matriz ambiental y la matriz de comunidad, los cuales contienen datos de las variables ambientales, tales como condiciones edáficas, tipo de hábitat, topografía del lugar, clasificación etaria del bosque, y datos demográficos y geofrenciación espacial de todos los individuos censados. Se adaptaron scripts reproducibles recuperados de Batlle (2020), utilizando la colección de paquetes multifuncionales: *vegan* (Oksanen et al., 2019), *Tidyverse* (Wickham, 2017), *BiodiversityR* (R. Kindt & Coe, 2005) y *indicspecies* (De Caceres & Legendre, 2009).

Para conocer las características de los datos almacenados de la matriz de comunidad y ambiental, se realizó un análisis exploratorio que incluyó visualización de gráficos, tablas, mapas de los cuadrantes de una hectárea y tablas de correlación lineal entre las dos variables de la matriz, lo que permitió una vista común y ayudó a determinar procedimientos más detallados a continuación.

## 2.3 Medición de asociación (*ma*)

Para realizar las pruebas de medición de asociación, se calculó la distancia euclidiana entre los cuadrados considerados objetos. Para ello, se requirió una transformación de la matriz de comunidad mediante el método Hellinger, que incluye elevar al cuadrado la abundancia relativa  $y_{ij}$  (cociente resultante de cada valor de abundancia entre la suma de los sitios) (Legendre & Gallagher, 2001). Además, se evaluó la distancia euclidiana entre los cuadrantes en términos de ocurrencia de especies. Se utilizó el índice de disimilitud de Jaccard de la matriz normalizada para convertir el valor de abundancia en un valor binario (Brocard, Gillet, & Legendre, 2018). del mismo modo, se empleó la métrica de Jaccard para aplicar la transposición de la matriz de la comunidad y convertir a datos Presencia / ausencia para medir el grado de asociación entre especies.

Para poder comparar la relación entre especies en función de su abundancia, se utilizó estandarización *ji-cuadrado* de la matriz de comunidad transpuesta (Legendre & Gallagher, 2001). Se examinó la ocurrencia entre especies y su distribución en BCI por el coeficiente de correlación

entre rangos de Spearman, para medir el grado de correlación entre las variables riqueza numérica de especies y la abundancia con las variables ambientales geomorfológicas, y la composición química del suelo (Brocard et al., 2018).

#### 2.4 *Análisis de agrupamiento*

El método jerárquico aglomerativo de asociación entre pares de cuadrantes (según la composición de especies) bajo el estándar de enlace completo, y el método de Ward basado en la varianza mínima, se utilizó como método preliminar para el análisis de agrupamiento, con el fin de probar su efectividad en lograr un grupo consistente de importancia ecológica (Brocard et al., 2018). Luego, estos generaron dendrogramas que posteriormente son comparados con la matriz de distancia de cuerdas (Legendre & Gallagher, 2001). Usando correlación cofenética entre los dos para determinar el número ideal de grupos. Además, se utilizó remuestreo bootstrap y bootstrap multiescalar para conocer la probabilidad de éxito de la inferencia del número de grupos y la identidad de sus componentes (Brocard et al., 2018). Las distribuciones se basaban en una probabilidad de 91% o más de acierto para el método bootstrap y de un 95% para bootstrap multiescalar.

Para conocer las especies distintas o asociadas a cada grupo, se utilizó el valor del indicador o índice IndVal ("Conjuntos de especies y especies indicadoras," 1997), basado en permutaciones aleatorias de los sitios según la presencia de especies y la abundancia de estos. De manera similar, el grado de asociación de una especie con una preferencia particular por el grupo de cuadrantes considerado grupo en estudio, expresado como el coeficiente de correlación biserial puntual (Brocard et al., 2018). Se adoptó un enfoque similar al anterior a lo largo de las pruebas estadísticas de la hipótesis nula, basada en las especies presentes en los cuadrantes pertenecientes a un determinado grupo realizado al azar. Esta prueba se hizo reordenando aleatoriamente los valores de abundancia y comparando sus distribuciones con las obtenidas previamente (Cáceres & Legendre, 2009).

#### 2.5 *Análisis de diversidad alpha*

La diversidad alpha representa la diversidad de especies a lo largo de todas las subunidades locales relevantes, y por definición abarca dos variables importantes: (1) la riqueza de especies, y (2) la abundancia relativa de especies (Carmona-Galindo & Carmona, 2013). Con el fin de determinar la diversidad alpha se utilizaron métodos como la Entropía de Shannon  $H_1$ , que calcula el grado de desorden en la muestra, el índice de concentración de Simpson, que calcula la probabilidad de que dos individuos seleccionados aleatoriamente puedan ser de la misma especie. Además, se empleó la serie de números de diversidad de Hill, la fórmula de la entropía de Rengi y el índice de equidad de Pielou.

#### 2.6 *Análisis de diversidad beta*

La diversidad beta, de acuerdo con (Whittaker, 1960), se define como el diferencial entre la diversidad de un hábitat y la diversidad total de un paisaje de hábitats. Teniendo en cuenta lo anterior, se utilizó el método hellinger para determinar cuáles son las especies que contribuyen a la diversidad beta, es decir, las especies que no se encuentran compartidas entre los cuadrantes.

### 2.7 Análisis de ordenación simple (no restringida) y canónica (restringida)

Se aplicaron los análisis de componentes principales o PCA a los datos de las variables ambientales para determinar la ordenación no restringida, donde se tomó en cuenta específicamente las variables del suelo. y para determinar la ordenación restringida se exploró de manera explícita las relaciones entre una matriz de respuesta y una matriz explicativa con los análisis de redundancia o RDA, lo cual combina la regresión y el análisis de componentes principales (PCA), por ejemplo, busca tendencias en la matriz de comunidad restringiéndolas a la matriz ambiental.

### 2.8 Ecología espacial

En ecología espacial se utilizó la matriz 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 la variable que queremos estudiar mediante la función 'sp.correlogram' y para varias variables como la abundancia de especies y las variables ambientales. También, se utilizaron otros métodos como la prueba Mantel con matrices de distancia para autocorrelación espacial con y sin tendencia, y el I de Moran con una matriz de abundancia de especies transformada sin tendencia, lo cual se aplica a variables ambientales para obtener los datos de autocorrelación, distribución de especies y variables en los sitios de muestreo.

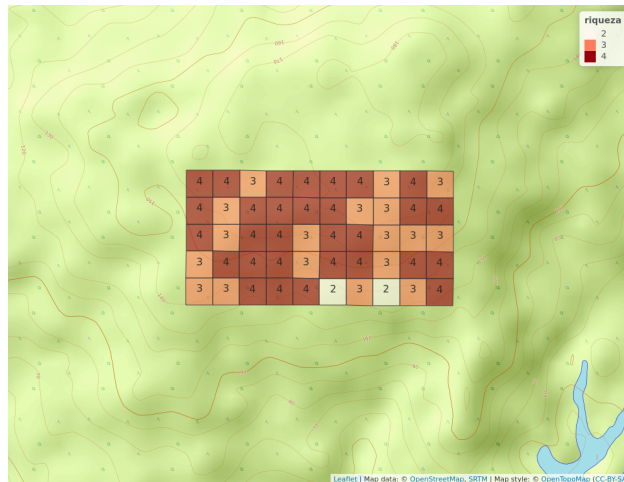
## 3 Resultados

Se registraron un total de 5 especies y 2 generos distribuidos en 2029 individuos en toda la parcela. La riqueza por cuadro fue de 4 especies y la mediana de la abundancia por cuadro fue de 39 individuos. La especie más abundante fue *Pouteria reticulata*, con 1084 individuos, y la menos abundante fue *Pouteria fossicola* con 3 individuos. La tabla 1 y la figura 2 resume estos resultados. La distribución de la riqueza numérica de especies de la familia Sapotaceae sigue un patrón homogéneo, lo cual los agregados de riqueza máxima están distribuidos en casi todo el área (ver Figura 3).

Table 1: Abundancia por especie de la familia Sapotaceae

| Latin                          | n    |
|--------------------------------|------|
| <i>Pouteria reticulata</i>     | 1084 |
| <i>Chrysophyllum argenteum</i> | 711  |
| <i>Chrysophyllum cainito</i>   | 171  |
| <i>Pouteria stipitata</i>      | 60   |
| <i>Pouteria fossicola</i>      | 3    |

|         |                                | quad1ha |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
|---------|--------------------------------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
|         |                                | 1       | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |   |
| especie | <i>Pouteria stipitata</i>      | 0       | 0  | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 3  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 2  | 0  | 1  | 5  | 2  | 5  | 2  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 4  | 0  | 1  | 2  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 5  | 4  | 0  | 1  | 0 |
|         | <i>Pouteria reticulata</i>     | 12      | 23 | 29 | 18 | 16 | 19 | 31 | 17 | 7  | 25 | 24 | 22 | 20 | 20 | 39 | 15 | 38 | 14 | 42 | 23 | 20 | 23 | 12 | 29 | 20 | 24 | 10 | 14 | 16 | 20 | 24 | 35 | 23 | 16 | 32 | 20 | 21 | 34 | 22 | 16 | 11 | 28 | 13 | 32 | 10 | 34 | 15 | 19 |    |    |   |
|         | <i>Pouteria fossicola</i>      | 0       | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |    |    |   |
|         | <i>Chrysophyllum cainito</i>   | 2       | 1  | 1  | 2  | 0  | 0  | 3  | 0  | 0  | 1  | 1  | 3  | 5  | 3  | 3  | 3  | 1  | 5  | 3  | 8  | 4  | 12 | 3  | 4  | 0  | 3  | 5  | 3  | 7  | 2  | 4  | 6  | 12 | 7  | 0  | 4  | 1  | 7  | 8  | 1  | 3  | 4  | 10 | 2  | 3  | 2  | 1  | 2  | 2  |    |   |
|         | <i>Chrysophyllum argenteum</i> | 21      | 11 | 19 | 38 | 21 | 18 | 9  | 14 | 25 | 17 | 18 | 11 | 8  | 22 | 19 | 13 | 5  | 9  | 6  | 18 | 19 | 5  | 10 | 9  | 12 | 6  | 8  | 10 | 5  | 8  | 13 | 12 | 5  | 13 | 13 | 18 | 16 | 16 | 17 | 3  | 18 | 29 | 19 | 23 | 9  | 11 | 15 | 25 | 11 | 11 |   |
|         |                                | 1       | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |   |



Los valores para el coeficiente de Spearman presentados en el panel de correlación de la figura 4, mostraron que la abundancia de la familia sapotaceae solo presenta correlación con la abundancia global, mientras que la riqueza tiene correlación con la presencia de cobre y nitrógeno en el suelo, lo que sugiere, que mientras mas concentración de cobre y nitrógeno hay, mayor será la riqueza de especies.



Figure 4: correlacion de las variables del suelo

El índice de similaridad de Jaccard muestra que el sitio 1 y 2 comparten un 100% de sus especies, por lo que ambos sitios comparten 3 especies y no tienen especies exclusivas (ver figura 5). Las variables geomorfológicas presentan asociación con la abundancia y riqueza, lo cual la figura 6 muestra que hay mucha similaridad entre estas variables. Las pruebas de correlación entre los grupos 1 y 2 formulados por upgma resultaron significativas respecto a la variable fósforo. Por otro lado, el contenido de cobre y la abundancia global promedio, es decir, la media correspondiente a todas las plantas en BCI, son significativamente diferentes entre los sitios de ambos grupos, para un nivel de significancia de  $\alpha = 0.1$  (ver figura 7).

El grupo 1 generado por enlace upgm está conformado por 5 cuadrante y el grupo 2 por 46 cuadrantes (ver figura 8). El grupo 2 contiene los sitios con tendencia a presentar valores altos de zinc y contenido de cobre. Es probable que las especies indicadoras del grupo con un mayor contenido de cobre estén mostrando preferencia por estas condiciones ambientales. No obstante, la mayoría de componentes del suelo en BCI tienen valores bastante homogéneos, y más bien se presentan pequeños gradientes entre los cuadrantes, lo cual evita que este tipo de acercamiento sea concluyente. La especie *Chrysophyllum argenteum* fue la que obtuvo un valor alto de confianza al examinar su potencial como especies indicadoras del grupo 1. Para el caso del grupo 2, la especie indicadora fue *Pouteria reticulata*.

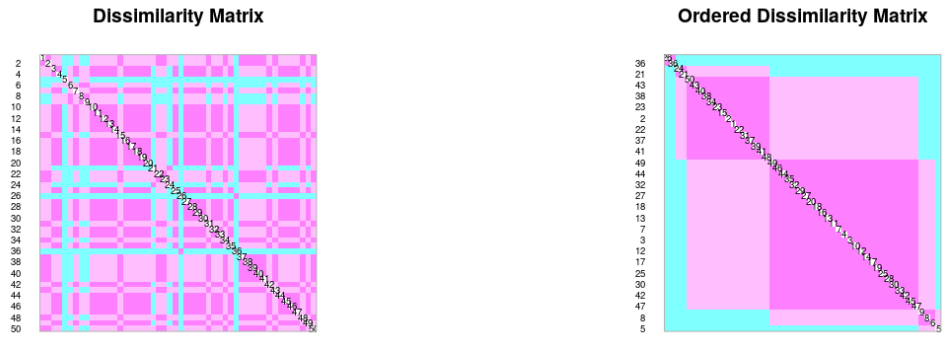


Figure 5: Similaridad de Jaccard (color fucsia (magenta, rosa) significa “corta distancia=muy similares”, y cian (celeste) significa “gran distancia=poco similares”)

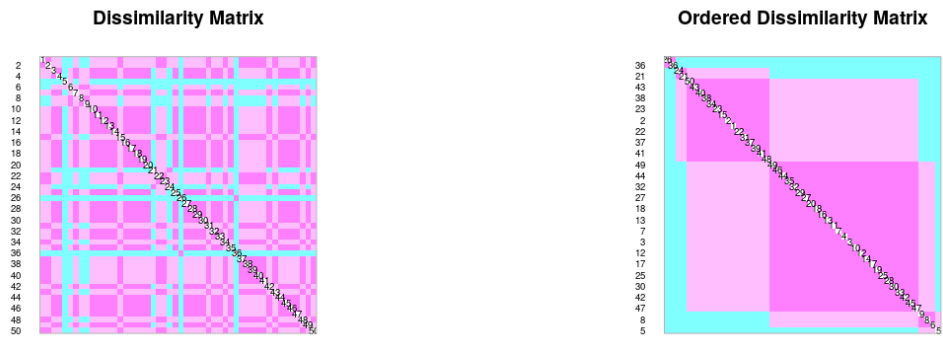


Figure 6: Panel de correlacion de Spearman entre los datos de la comunidad y las variables geomorfológicas (color fucsia (magenta, rosa) significa “corta distancia=muy similares”, y cian (celeste) significa “gran distancia=poco similares”)



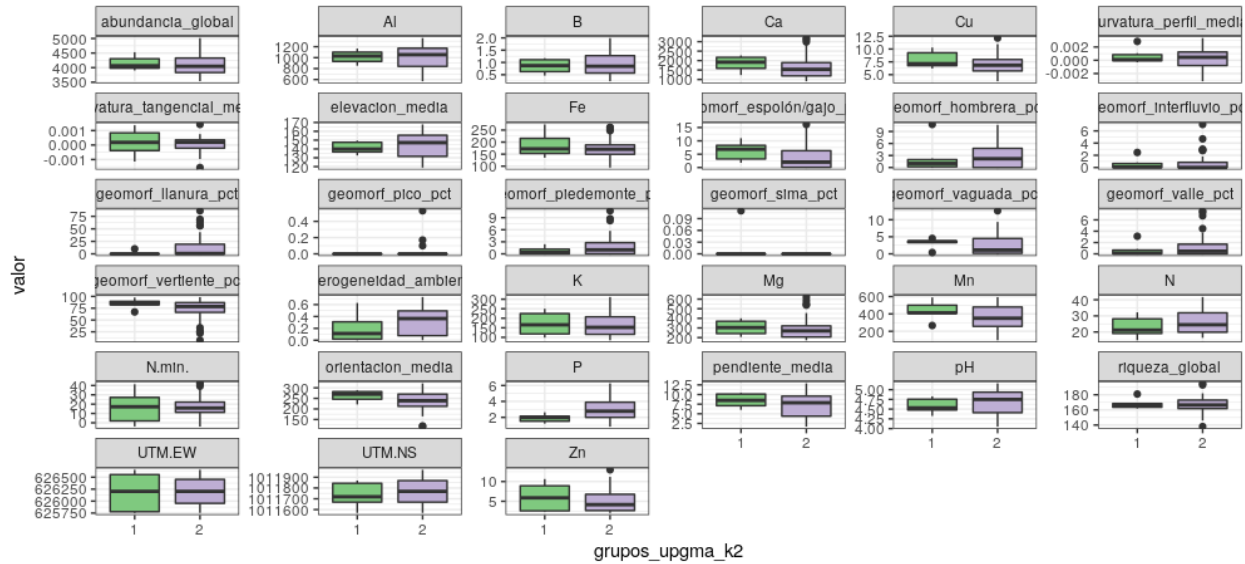


Figure 7: Diagramas de caja de las variables que tuvieron un efecto, según las pruebas de igualdad de medias

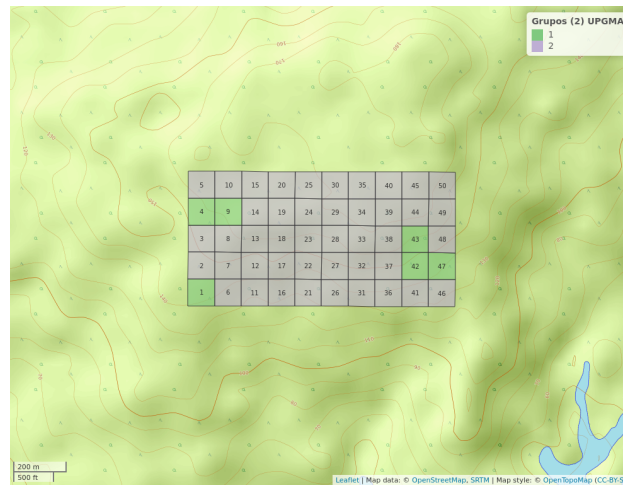


Figure 8: Mapa en el que se presenta la distribución de sitios en los grupos formulados por enlace upgma

La riqueza de la familia Sapotaceae aumenta en función del contenido de hidrógeno, nitrógeno y cobre. Además, aumenta con la equidad. Cabe destacar, que algunos sitios de BCI tienen valores altos de equidad (ver figura 9). La Curva de rarefacción de los sitios, muestra como va aumentando la cantidad de individuos y de especies de los cuadrantes (ver figura 10), donde la mayor concentración de individuos está entre los 20 a 50 individuos y la abundancia máxima es de 70 individuos. Los valores de los índices de diversidad alfa fueron: Species Richness 0.217, Shannon diversity 0.045 y Simpson diversity 0.038.

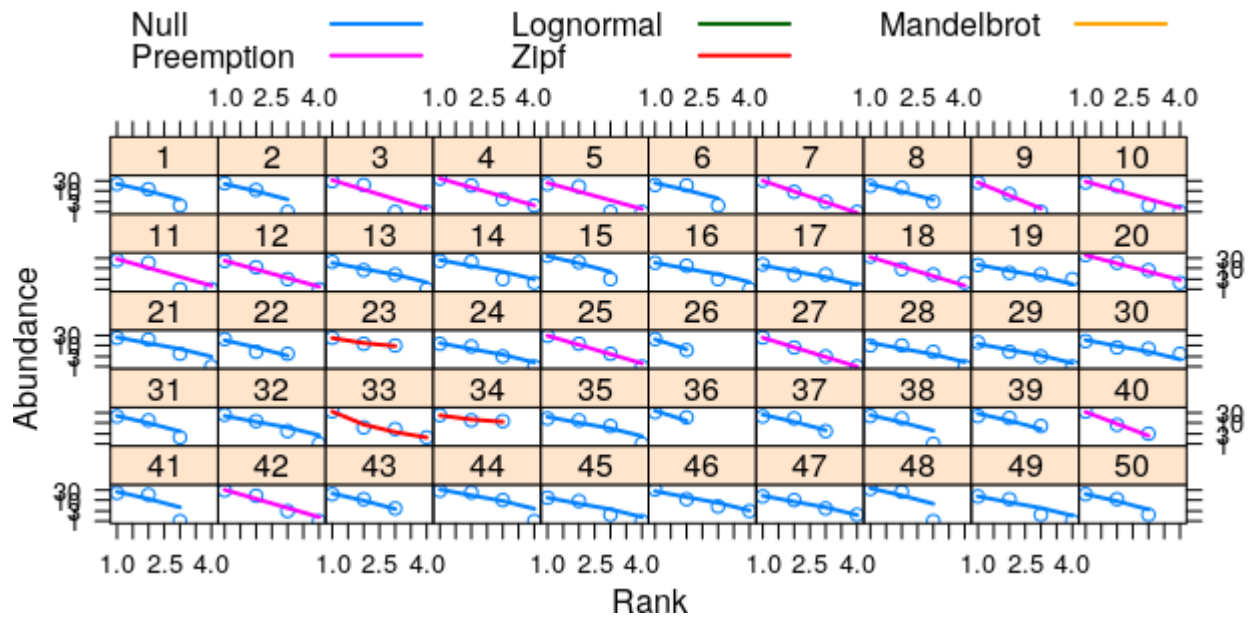


Figure 9: Grafico dque presenta los valores de equidad por sitios

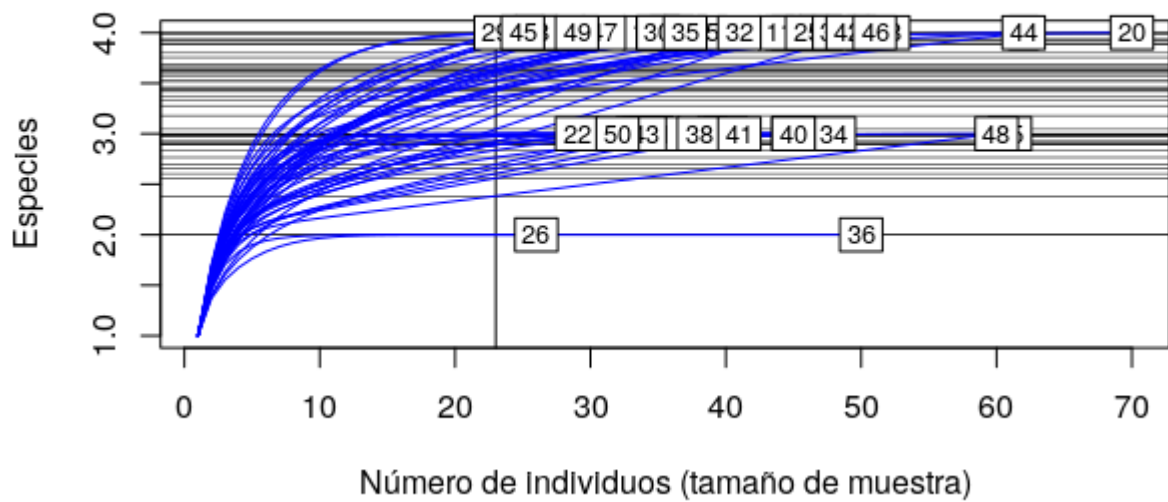


Figure 10: Curva de rarefaccion de los sitios

Las especies que contribuyen de manera significativa a la diversidad beta fueron: *Chrysophyllum argenteum* (0.2504234), *Chrysophyllum cainito* (0.3147978) y *Pouteria stipitata* (0.2658814), de las cuales la que mas contribuyó a la diversidad beta fué *Chrysophyllum cainito*. No obstante, los sitios

que contribuyen a la diversidad beta son los cuadrantes 9 y 40, lo cual presentan contribución a la diversidad beta por la incidencia de algunas variables ambientales.

El grafico 11 incluye el comportamiento de los componentes principales de la varianza en las variables suelo y geomorfología en BCI, predecido por el modelo de barra quebrada, representado por la línea roja formando la curva (La escala denominada “Inertia” representa la suma de los cuadrados de toda la varianza). En el diagrama rotulado como escalamiento 1 de la figura 12, se observan tres grupos de cuadrantes diferenciados entre sí. Un grupo de sitios con un alto grado de acidez y contenido en aluminio, otro grupo caracterizado por la presencia de elementos metálicos, y un tercero, con una cantidad de fósforo, nitrógeno y valor de pH mayor. Las variables nitrógeno, fósforo y pH aportan la mayor parte de la varianza explicada. La relación entre las variables se encuentra debidamente representada en el recuadro del escalamiento 2, por medio de los ángulos que forman sus vectores (ver figura 12). Los resultados del PCA de los datos de la matriz de comunidad se encuentran resumidos en los diagramas de la figura 13. El escalamiento 1, muestra muchos de los cuadrantes dispuestos alrededor del origen formado por los ejes, lo que indica una contribución a la varianza relativamente equitativa por parte de las especies.

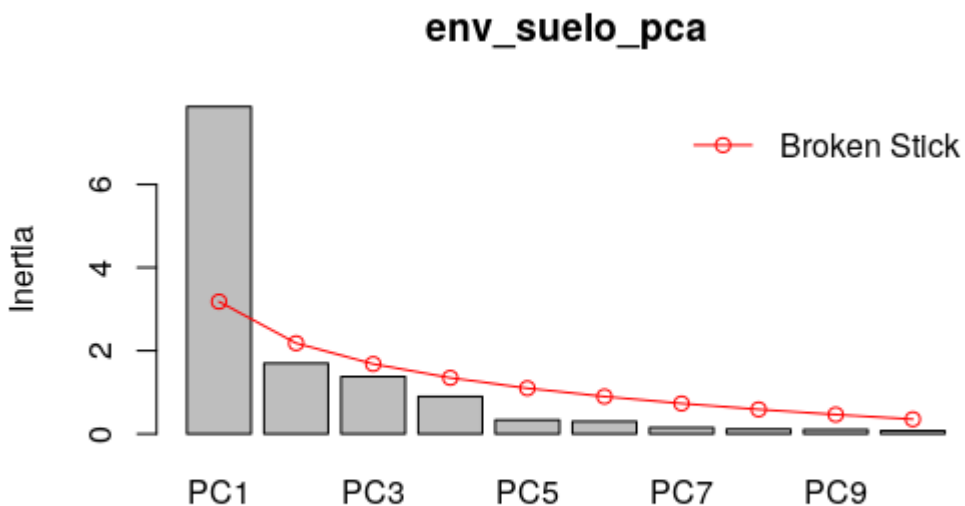


Figure 11: grafico de los componentes principales de la varianza en las variables suelo y geomorfología en BCI

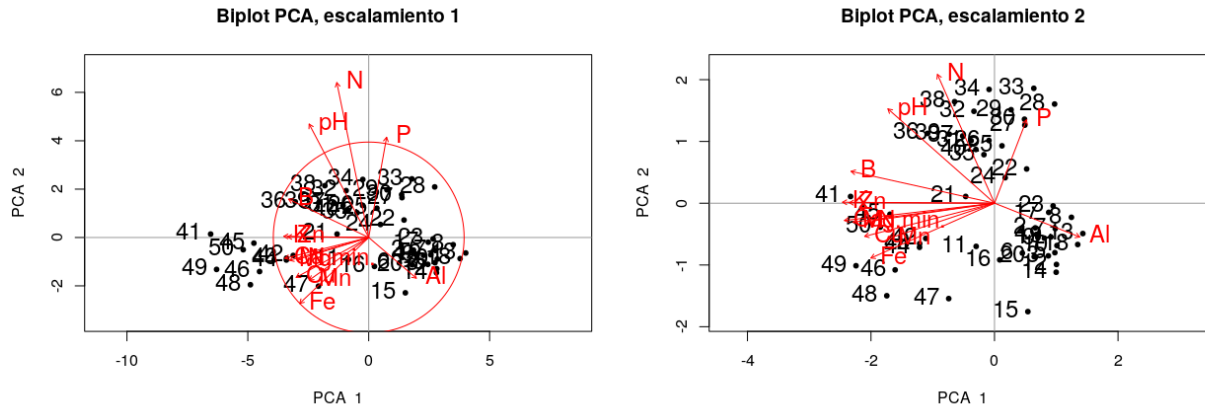


Figure 12: Biplots generados en el PCA de las viariables de suelo

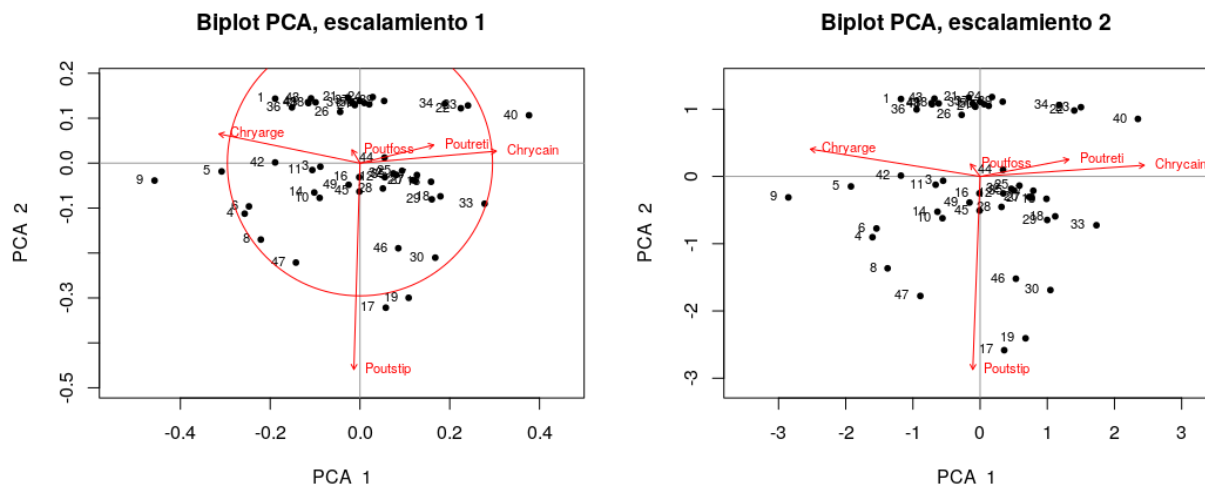


Figure 13: Biplots generados en el PCA de las viariables de suelo

El escalamiento 2 de la figura 14 en el análisis de correspondencia mostró que las especies *Pouteria reticulata*, *Chrysophyllum argenteum* y *Chrysophyllum cainito* se encuentran asociadas. Las especies restantes tienen una abundancia reducida, y en consecuencia, aparecen cercanas a los pocos cuadrantes en los que se encuentran representadas. La disparidad en la incidencia de las especies se refleja en su disposición en el diagrama. Sin embargo, estos resultados no coinciden del todo con los arrojados por el PCA de la matriz de distancias.

Los primero ordenes de *Chrysophyllum argenteum* y *Chrysophyllum cainito* presentan valores de autocorrelación alta o positiva, mientras que los ordenes de las demas especies presentan mayormente valores de autocorrelación negativa (Ver figura 15).

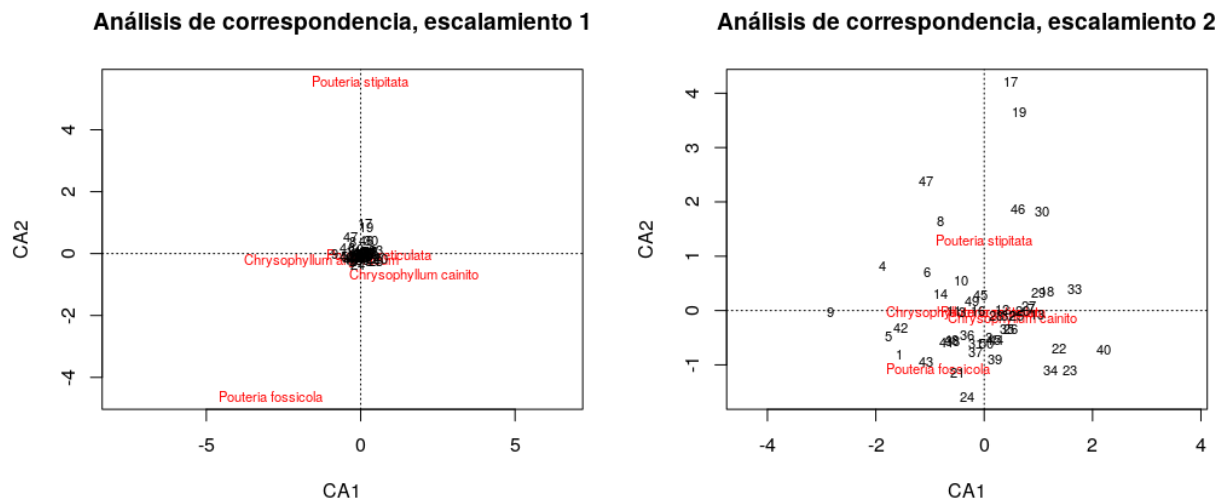


Figure 14: Biplot del analisis de correspondencia de los datos de abundancia de las especies de Sapotaceae

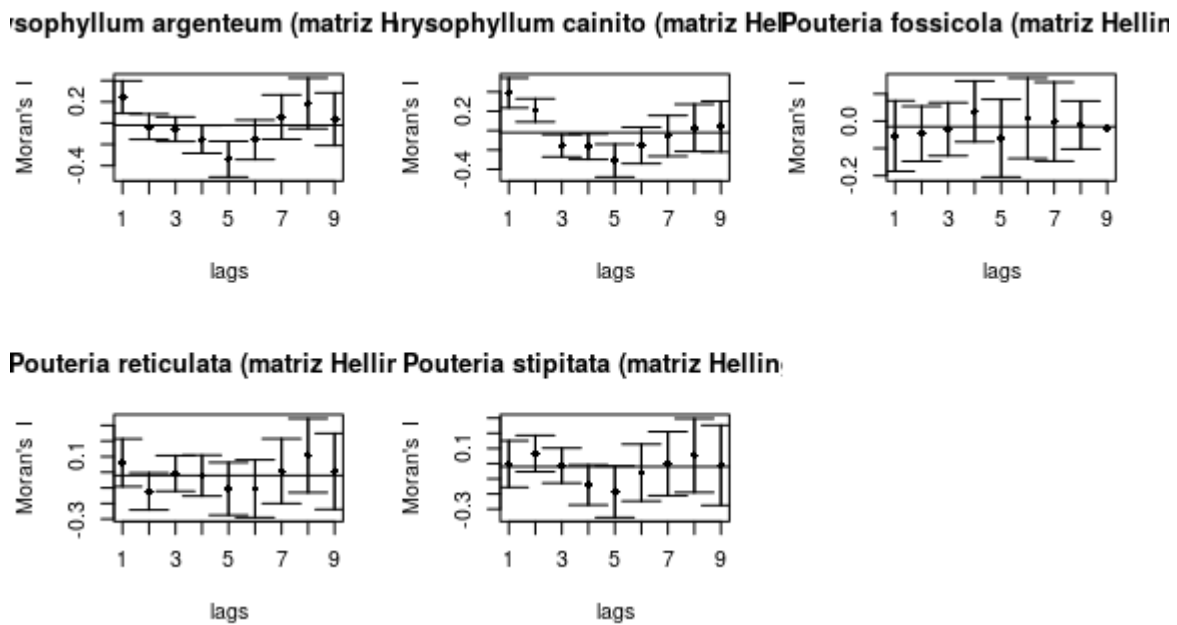


Figure 15: Autocorrelación espacial de las especies

#### 4 Discusión

Estudios de la familia Sapotaceae también reportan que *Pouteria* es un genero que parece siempre presentar una cantidad significativa de individuos (Martínez-Sovero et al. (2021)). La riqueza

de la familia Sapotaceae aumenta en función del contenido de hidrógeno, nitrógeno y cobre, los cuales son algunos de los nutrientes que más se correlacionan con la diversidad de especies de plantas en el neotrópico (Doblado Amador (2011)). Además, la riqueza aumenta con la equidad, por lo que casi todos los sitios de BCI tienen valores altos de equidad, debido a que las especies están distribuidas en casi todos los cuadrantes.

Los valores de los índices de diversidad alfa fueron: Species Richness 0.217, Shannon diversity 0.045 y Simpson diversity 0.0381, estos valores sugieren que la familia Sapotaceae no presenta mucha diversidad en BCI. Se estima que la riqueza seguiría constante o no aumentaría significativamente aunque se hiciera mayor esfuerzo de muestreo (ver figura 16).

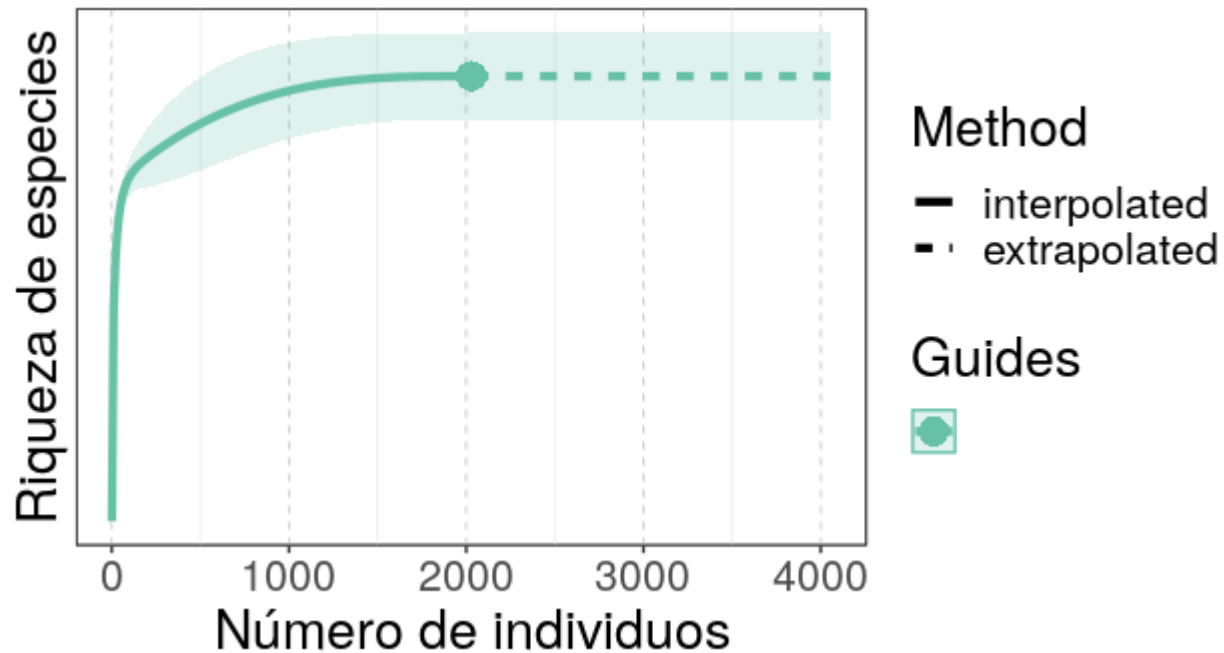


Figure 16: Grafico de acumulacion de especies en funcion de numeros de individuos

Las especies que contribuyen de manera significativa a la diversidad beta fueron: *Chrysophyllum argenteum*, *Chrysophyllum cainito* y *Pouteria stipitata*, las cuales fueron las que obtuvieron valores intermedios de individuos. No obstante, los sitios que contribuyen a la diversidad beta son los cuadrantes 9 y 40, lo cual presentan contribución a la diversidad beta por la incidencia de algunas variables ambientales, tales como el pH, aluminio, boro, manganeso... Las especies *Pouteria reticulata*, *Chrysophyllum argenteum* y *Chrysophyllum cainito* se encuentran asociadas, debido a que tienen los valores más altos de abundancia dentro de la comunidad (1084, 711 y 171 individuos, respectivamente).

Los primeros ordenes de *Chrysophyllum argenteum* y *Chrysophyllum cainito* presentan valores de autocorrelación positiva, mientras que los ordenes de las demás especies presentan mayormente valores de autocorrelación negativa, teniendo en cuenta que el orden 5 de todas las especies presenta autocorrelación negativa, lo que sugiere que el orden 5 de las especies está autocorrelacionado espacialmente negativo.

## 5 Agradecimientos

Agradezco al maestro José Ramón Martínez, por su motivación y ayuda en todos los aspectos para que este trabajo salga bien.

## 6 Información de soporte

...

## 7 Script reproducible

### Referencias

- 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>
- Brocard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2018). Numerical ecology with R. *Springer Nature, Second Edition*, 52–66. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-3-319-71404-2>
- Campos-Pineda, E. G., Moreno, J., & Mendieta, J. (2017). Análisis florístico de la vegetación arbórea de una parcela de bosque en el parque natural metropolitano, provincia de Panamá. *Scientia*, 27(1), 7–24.
- Carmona-Galindo, V. D., & Carmona, T. V. (2013). La diversidad de los análisis de diversidad la diversidad de los análisis de diversidad [the diversity of diversity analyses]. *Bioma*.
- Cáceres, M. D., & Legendre, P. (2009). Associations between species and groups of sites: Indices and statistical inference. *Ecology*, 90(12), 3566–3574.
- Condit, R. A. y H., Richard y Chisholm. (2012). Treinta años de censo forestal en Barro Colorado y la importancia de la inmigración para mantener la diversidad. *PloS One*, 7(11), e49826.
- Condit, R. y L., Richard y Pérez. (2017). Tendencias demográficas y clima durante 35 años en la parcela de 50 ha de Barro Colorado. *Forest Ecosystems*, 4(1), 1–13.
- Condit, R., Pitman, N., Leigh, E. G., Chave, J., Terborgh, J., Foster, R. B., ... others. (2002). Beta-diversity in tropical forest trees. *Science*, 295(5555), 666–669.
- Conjuntos de especies y especies indicadoras: La necesidad de un enfoque asimétrico flexible. (1997). *Monografías Ecológicas*, 67(3), 345–366.
- De Cáceres, M., & Legendre, P. (2009). Associations between species and groups of sites: Indices and statistical inference. In *Ecology*. Retrieved from <http://sites.google.com/site/miqueldecaceres/>
- Doblado Amador, L. S. (2011). Identificación y caracterización de tipos de bosque y su relación con variables ambientales, en un paisaje fragmentado al norte de Honduras. *Proyecto Finnfor I Y Finnfor II-CATIE*.
- Horvát, S., Derzsi, A., Nédai, Z., & Balog, A. (2010). A spatially explicit model for tropical tree diversity patterns. *Journal of Theoretical Biology*, 265(4), 517–523.
- Isla Barro Colorado y biología tropical. (1990). *Cuatro Bosques Neotropicales*, 28–47.
- Kindt, R., & Coe, R. (2005). *Tree diversity analysis. a manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies*. Retrieved from <http://www.worldagroforestry.org/output/tree-diversity-analysis>
- Legendre, P., & Gallagher, E. D. (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, 129(2), 271–280.
- Martínez-Sovero, G., Iglesias-Osores, S., & Villena-Velásquez, J. J. (2020). Importancia de la familia Sapotaceae en Madre de Dios, Perú. *Manglar*, 17(4), 287.
- Martínez-Sovero, G., Iglesias-Osores, S., Muñoz-Chavarry, P., Seminario-Cunya, A., Alva-Mendoza,

D., & Villena-Velásquez, J. (2021). Diversidad y estructura de sapotaceae en bosques amazónicos de madre de dios, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 9(1), 59–72.

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>

Pérez, R., Aguilar, S., Condit, R., Foster, R., Hubbell, S., & Lao, S. (2005). Metodología empleada en los censos de la parcela de 50 hectareas de la isla de barro colorado, Panamá. *Centro de Ciencias Forestales Del Tropico (CTFS) Y Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI)*, 1–24.

R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. Retrieved from <https://www.R-project.org/>

Rodríguez-Flores, W., & Barrios, H. (2020). Scolytinae y platypodinae (coleoptera: Curculionidae) de la isla barro colorado, Panamá. *Scientia*, 30(1), 15–52.

Smedmark, A. A., Jenny EE y Anderberg. (2007). La migración boreotropical explica la hibridación entre linajes geográficamente distantes en el clado pantropical sideroxyleae (sapotaceae). *American Journal of Botany*, 94(9), 1491–1505.

Wan, D. (2020). IMPORTANCIA de los bosques y estado de los bosques en Guatemala. *Revista Ingeniería Y Ciencia*, 2(12).

Whittaker, R. H. (1960). Vegetation of the siskiyou mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, 30(3), 279–338.

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

Windsor, D., FOSTER, R., BROKAW, N., Leigh, E., Rand, A., & others. (1990). *Estructura e historia de la vegetación de la isla barro colorado ecología de un bosque tropical: Ciclos estacionales y cambios a largo plazo* (pp. 113–127).