

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

Merali Rosario *Afiliación, normalmente algo tal que “Estudiante, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD)”*

Resumen del manuscrito

Keywords: palabra clave 1, palabra clave 2

1 Introducción

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 alimento a las especies de vida silvestre (Martínez-Sovero et al., 2021). La familia Sapotaceae está ampliamente distribuida en las zonas tropicales (Smedmark, 2007). Produce madera de alta calidad, frutas tropicales y algunas especies producen látex, siendo una familia de plantas de importancia ecológica y económica (Martínez-Sovero, Iglesias-Osores, & Villena-Velásquez, 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). Sin embargo, no se han hecho estudios completos de la familia Sapotaceae, donde se estudie los diferentes análisis de ecología numérica.

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 alfa y mostrar cuáles son las especies que contribuyen a la diversidad beta. Por último, pero no menos importante, examinar en un espacio bidimensional las tendencias de ordenación de las especies y determinar si las especies presentan patrón aglomerado.

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., n.d.). Su vegetación está formada por bosques semidecíduos de tierras bajas, y se han registrado más de 1,300 especies de plantas vasculares (Croata, 1978).

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 figura 1).

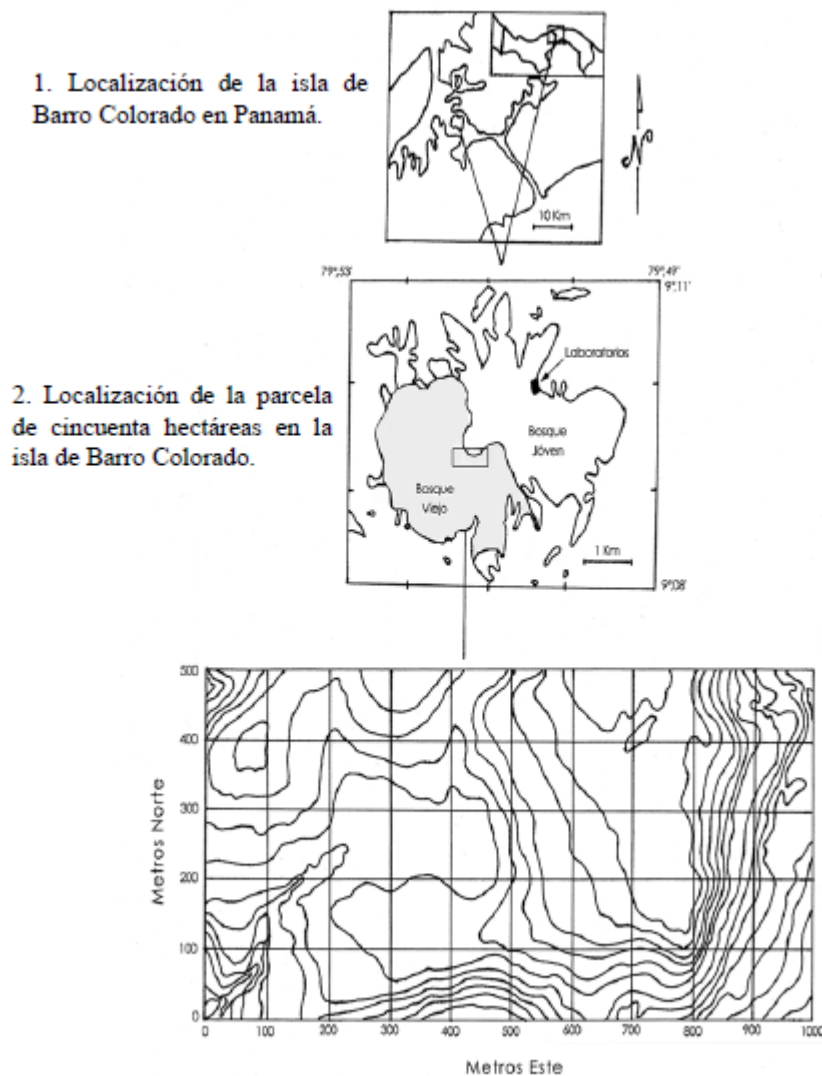


Figure 1: Mapa topográfico de la parcela de cincuenta hectáreas

2.2 Maeriales y Metodos

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 habitat, topografía del lugar, clasificación etaria del bosque, y datos demográficos y geofenecación 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 indicpecies (De Cáceres & 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), como muestra la fórmula 2. Donde j denota cada tipo o columna de la matriz, i es la fila o cuadrante e $i+$ representa la suma de filas de la matriz de la i -ésima fila (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.

$$y' = \sqrt{\frac{y_{ij}}{y_{i+}}}$$

Figure 2: Formula. Transformación de la matriz de comunidad mediante el método Hellinger

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 Analisis 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 utilizan como método preliminar para el análisis de agrupamiento, con el fin de pro-

bar 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 multisecalar 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 multisecalar.

Dado que se localizaron patrones consistentes en la composición y número de grupos entre los métodos examinados, los análisis de agrupamiento posteriores se basan en los que se produce por enlace completo e incluye dos grupos compuestos por 20 y 30 cuadrantes, respectivamente (ver figura 3).

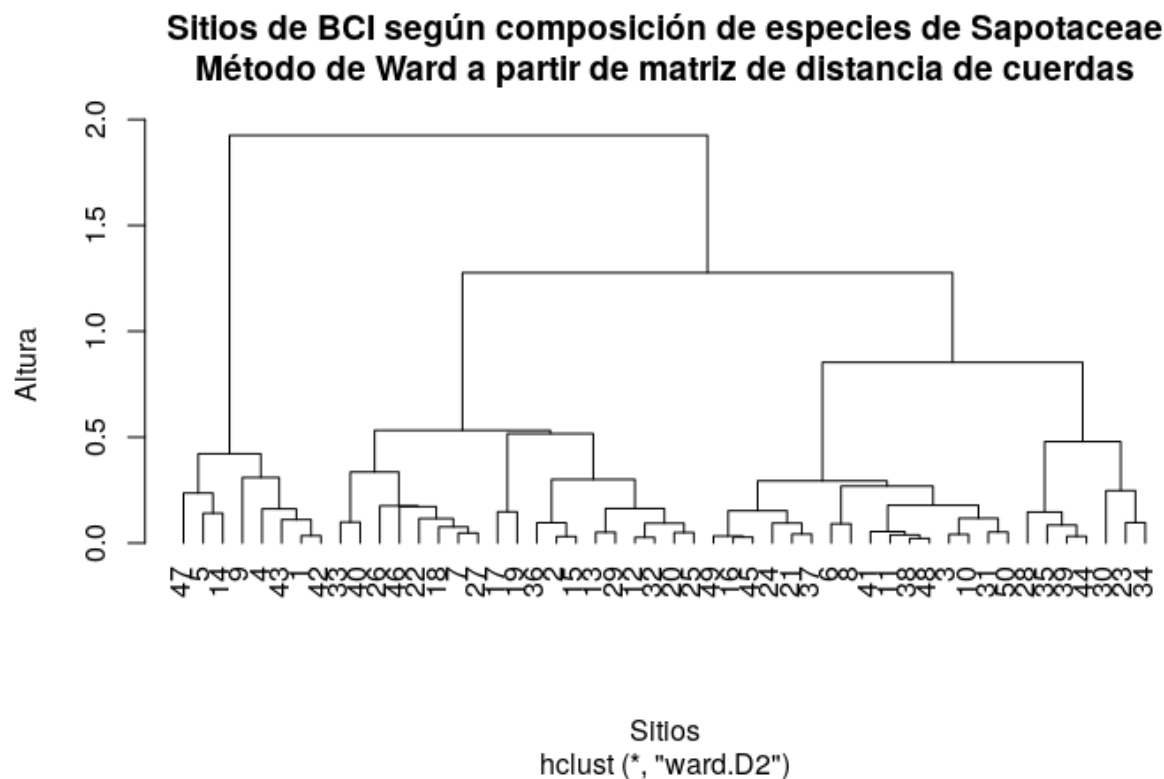


Figure 3: Dendrogramas de los grupos producidos por Ward y Complete

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). Para calcular la diversidad alpha se utiliza el índice de Fisher (Fisher, Corbet, & Williams, 1943), el índice de Simpson (E. H. Simpson, 1949), y el índice de Shannon-Wiener (Shannon, 1948). A fin de determinar la diversidad alpha se utilizaron métodos como la Entropía de Shannon H1, 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.

Para determinar la rarefacción se comparó los índices de diversidad entre hábitats en base a un mismo número de individuos, donde el hábitat con el mayor número de individuos se submuestreo sin remplazo aleatoriamente y con múltiples ejecuciones para generar un índice promedio que se pueda comparar con el índice de otro hábitat en base a un mismo número de individuos. El resultado de esta técnica resultó con una curva rarificada de valores del índice de diversidad que disminuye conforme con el muestreo sin remplazo del número de individuos (Carmona-Galindo & Carmona, 2013) (ver figura 18 y 19).

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 cómo 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 d 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 4 resume estos resultados. La distribucion de la riqueza númerica de especies de la familia Sapotaceae sigue un patrón homogeneo, lo cual los agregados de riqueza maxima estan distribuidos en casi todo el area (ver Figura 5).

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

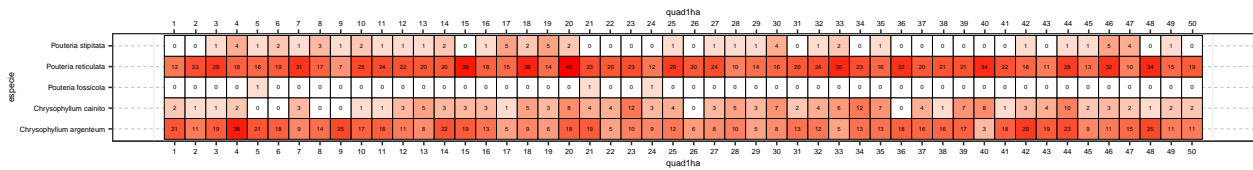


Figure 4: Abundancia por especie por quadrat

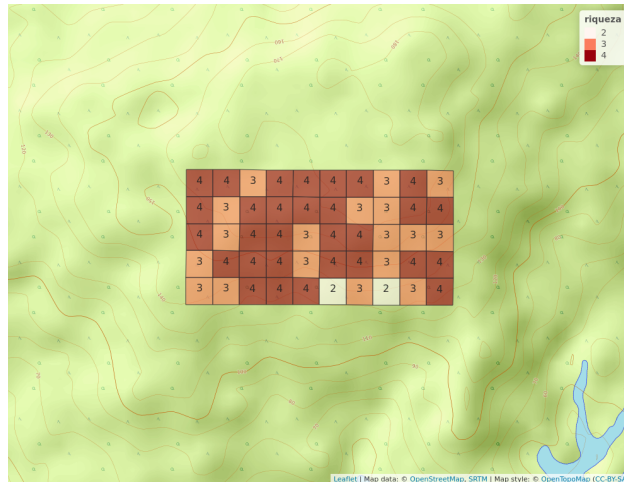


Figure 5: Distribucion de la riqueza de la familia Sapotaceae

La variables ambientales pH y pendiente media presentaron una distribucion un tanto parecida a la disdtribución de la familia sapotaceae. Sin embargo, la distribucion del PH esta representada mas al oeste, mientras que la pendiente media esta distribuida en casi toda el area, pero con una mayor concentración en la parte sur. Lo cual, se podria decir, que la pendiente media presenta mas asocacion con la distribución de la familia sapotaceae(ver figuras 6 y 7).

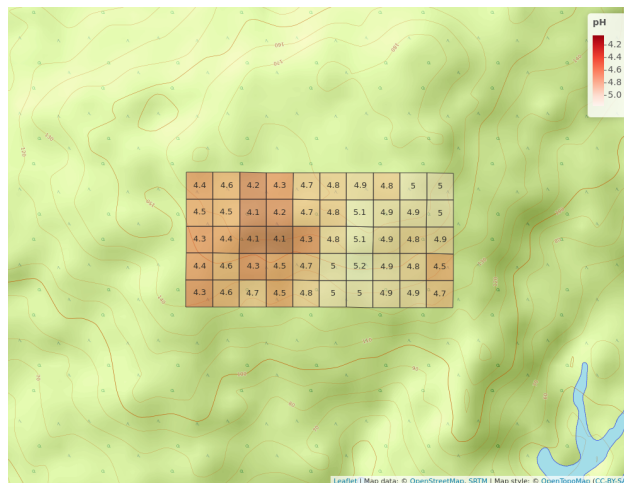


Figure 6: Distribucion del pH

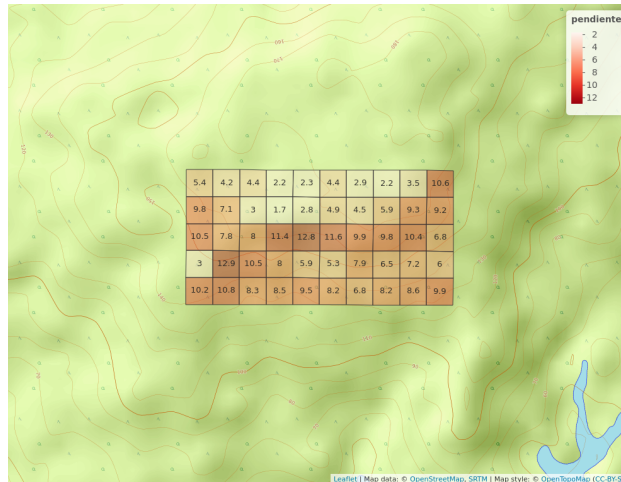


Figure 7: Distribucion de las pendientes(en grados)

la abundancia de la familia sapotaceae solo presenta correlacion con la abundacia global, mientras que la riqueza tiene correlacion con la presencia de cobre y nitrogeno en el suelo, lo que sugiere, que mientras mas concentracion de cobre y nitrogeno hay, mayor será la riqueza de especies (ver figura 8). las variables ambientales numéricas y nominales presentaron un patrón diferente, ya que las variables ambientales numéricas tienen una distribución heterogénea, y la distribución de las variables ambientales nominales es mas homogenea, a excepci3n de la variable hábita, que presenta diferentes tipos de habitats o una distribución heterogénea(ver figuras 9 y 10).



Figure 8: correlacion de las variables del suelo

Cuadros de 1 Ha de BCI. Variables ambientales numéricas escaladas de 0 a 1

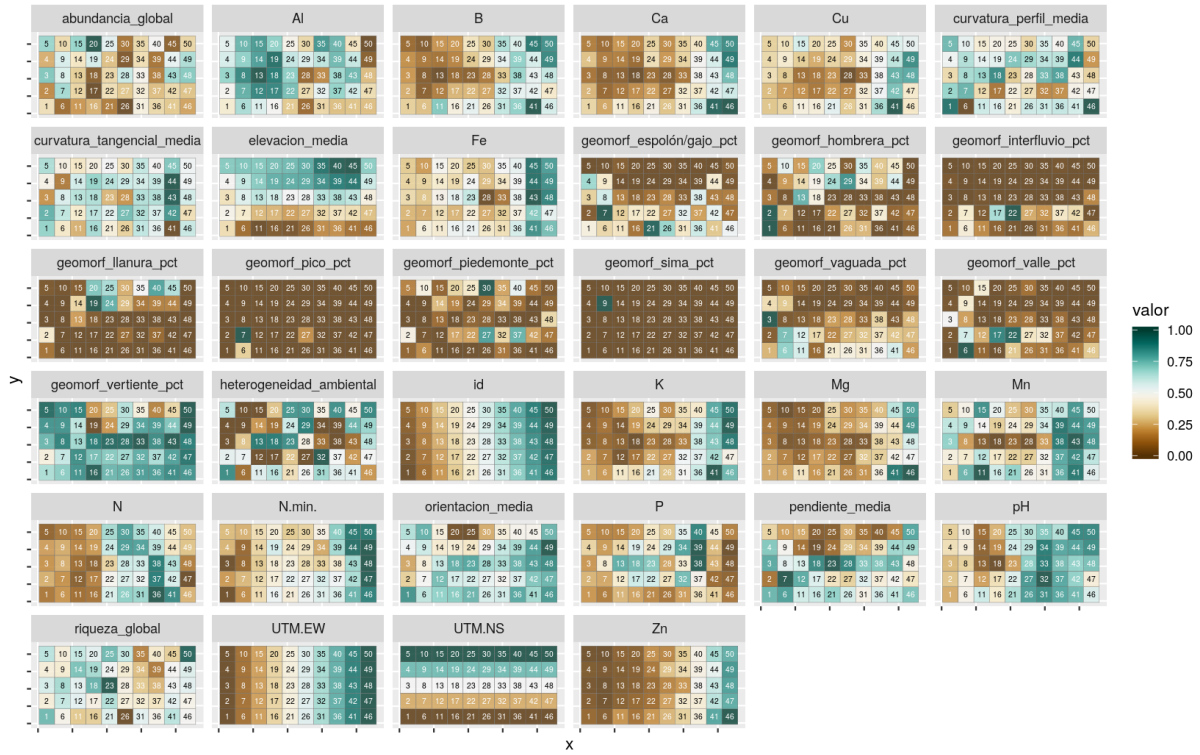


Figure 9: variables ambientales numericas

Cuadros de 1 Ha de BCI. Variables ambientales nominales

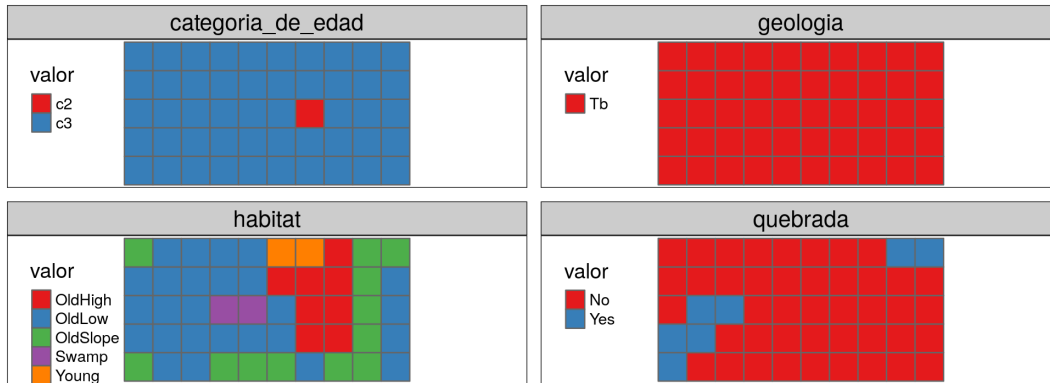


Figure 10: variables ambientales nominales

El índice de similitud 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 11). Las variables geomorfológicas presentan asociación con la abundancia y riqueza, lo cual la figura 12, muestra que hay mucha similitud entre estas variables. Las pruebas de correlación entre los grupos 1 y 2 formulados por upgma... (ver figura 13).

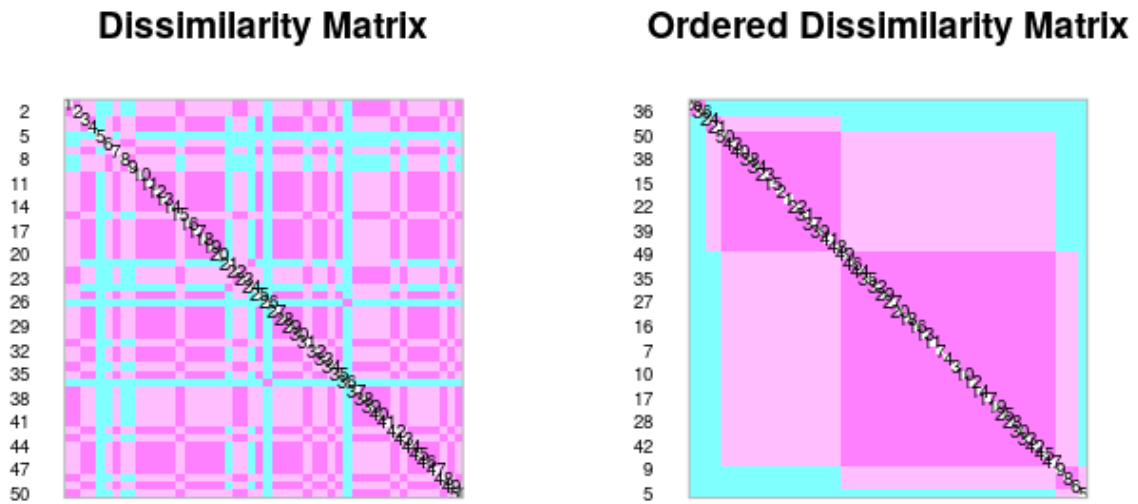


Figure 11: Similaridad de Jaccard(color fucsia (magenta, rosa) significa “corta distancia=muy similares”, y cian (celeste) significa “gran distancia=poco similares”)

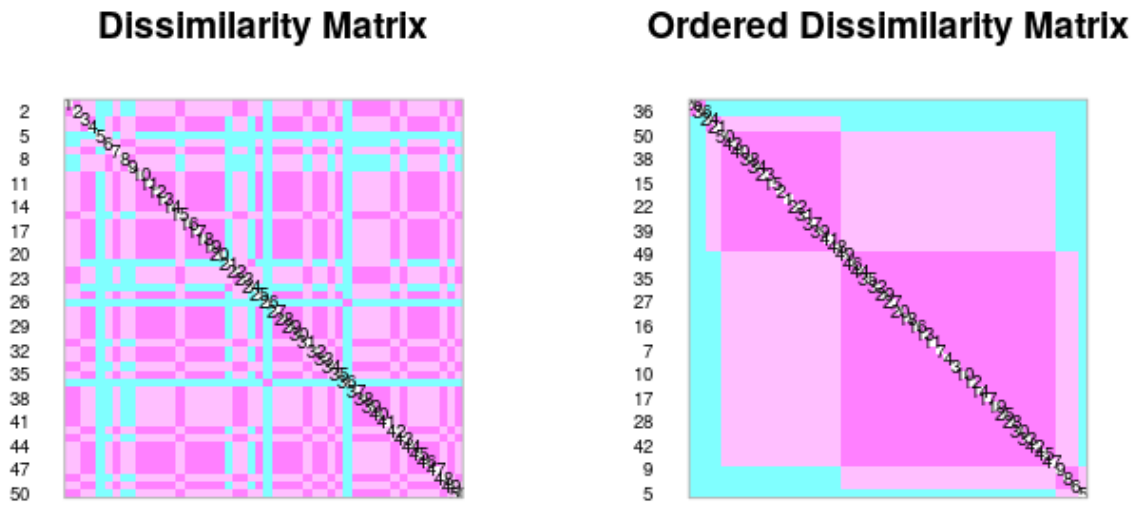


Figure 12: Panel de correlacion de Spearman entre los datos de la comunidad y las variables geomorfológicas

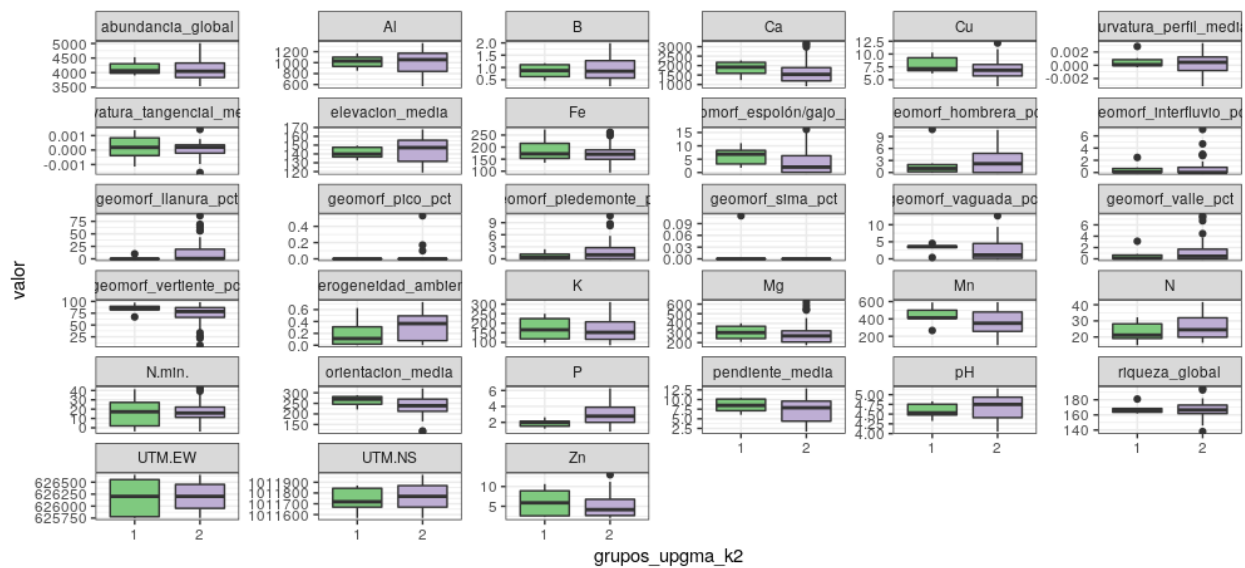


Figure 13: Diagramas de caja de las variables que tuvieron un efecto, segun las pruebas de igualdad de medias

La repartición de sitios en los grupos formulados por enlace upgm... (ver figura 14).

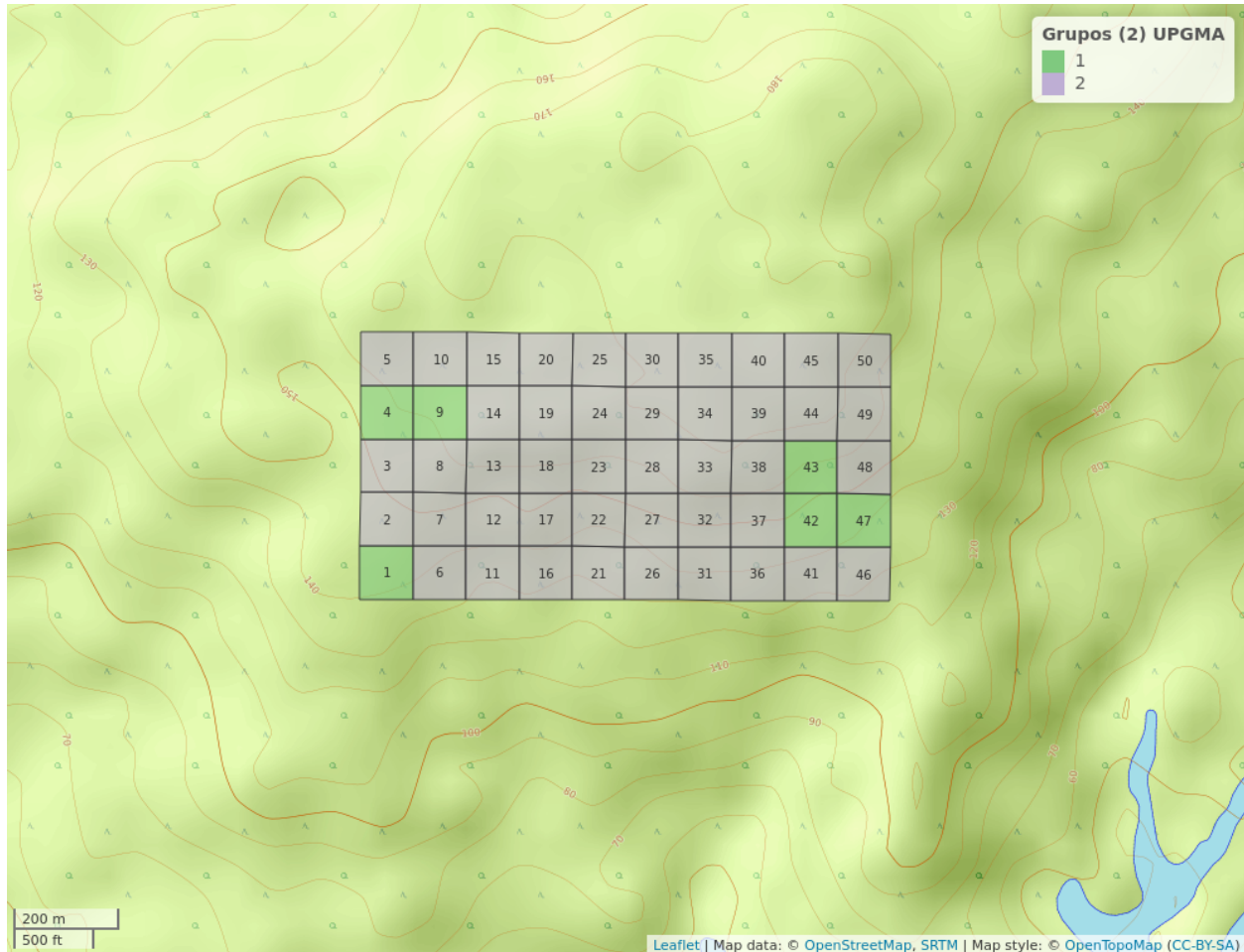


Figure 14: Mapa en el que se presenta la distribución de sitios en los grupos formulados por enlace upgm

Las especies indicadoras fueron... (verificar análisis de agrupamiento 4)

Análisis de especies indicadoras mediante IndVal Association function: IndVal.g Significance level (alpha): 0.05

Total number of species: 5 Selected number of species: 2 Number of species associated to 1 group: 2

List of species associated to each combination:

Group 1 #sps. 1 A B stat p.value

Chrysophyllum argenteum 0.6565 1.0000 0.81 0.005 **

Group 2 #sps. 1 A B stat p.value

Pouteria reticulata 0.6505 1.0000 0.807 0.001 ***

grado de correlacion que existe en cado uno de los indices... (ver figura 15).

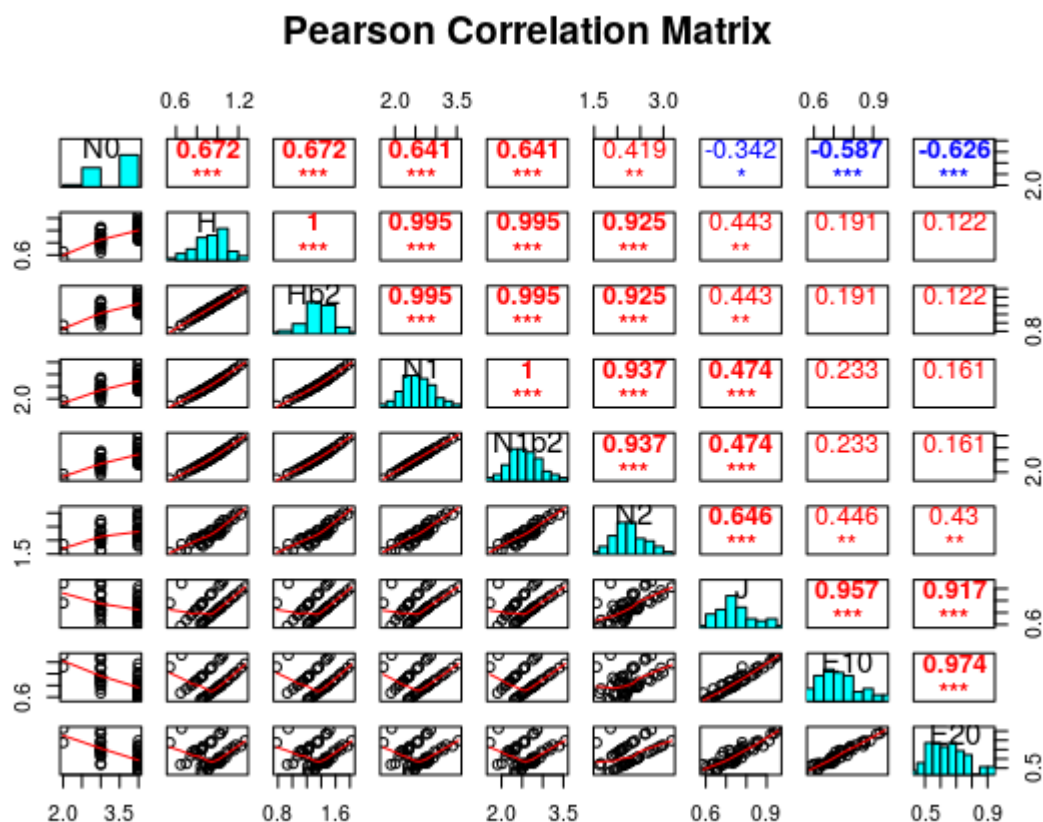


Figure 15: Grado de correlacion entre cada uno de los indices. N0: riqueza de especies; H: entropia de Shannon; Hb2: entropia de Shannon con 2 como base del logaritmo; N1 y N2: Numeros de Hill; N1b2: Numero de Hill 1 en base log 2; J: equidad de Pielou; E10 y E20: ratios de Hill 1 y 2

La riqueza de la familia Sapotaceae aumenta en función del contenido de hierro, nitrógeno y cobre, tambien aunmenta con la equidad (ver figura 16).

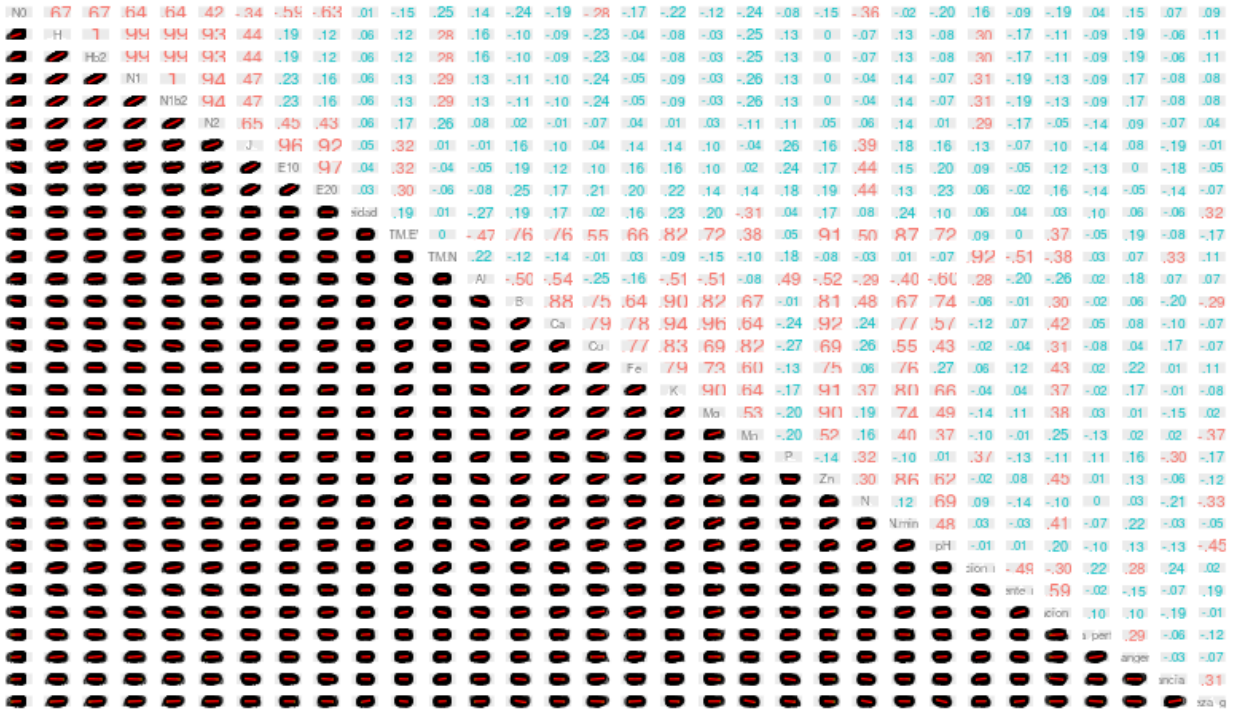


Figure 16: Correlacion entre diversidad/equidad y algunas de las variables ambientales

Sitios que tienen mayores valores de equidad (azul y verde)... (ver figura 17).

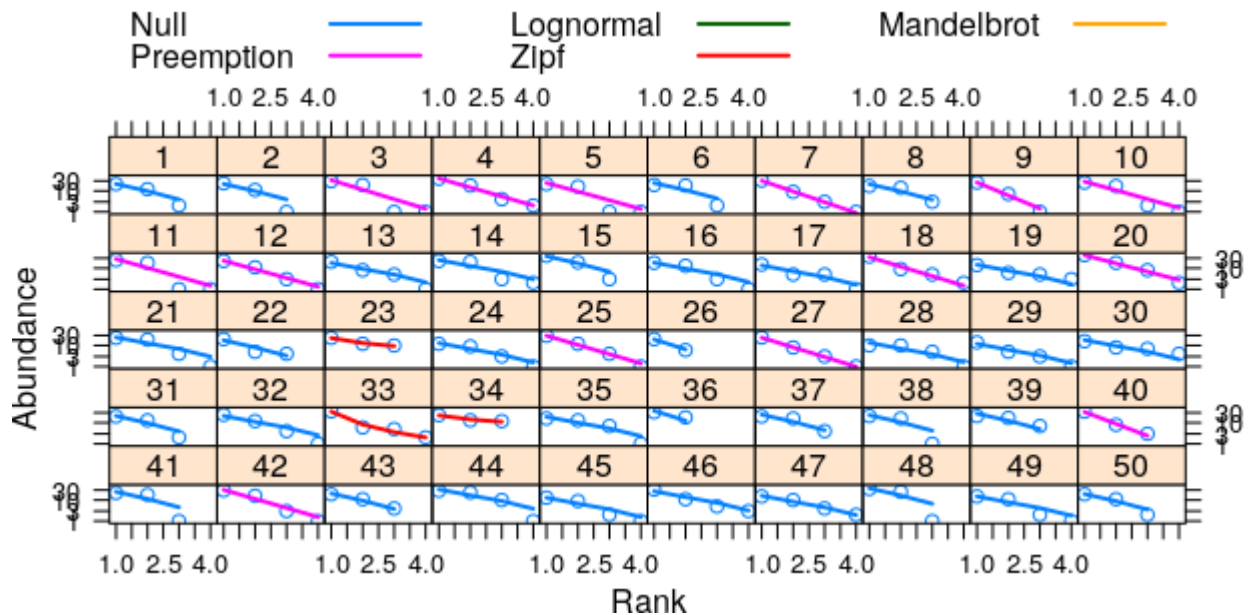


Figure 17: Grafico dque presenta los valores de equidad por sitios

Curva de rarefaccion de los sitios, teniendo en cuenta la riqueza y la abundancia... (ver figura

18). analizar Analisis de diversidad 1

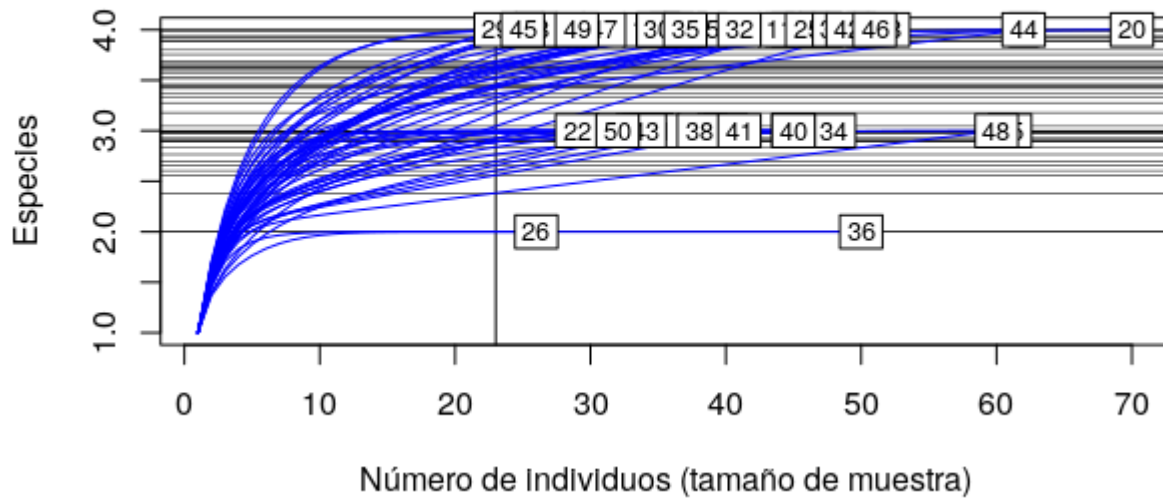


Figure 18: Curva de rarefaccion de los sitios

asymptotic diversity estimates along with related statistics. Observed Estimator Est_s.e. 95%
 Lower 95% Upper Species Richness 5.000 5.000 0.217 5.000 5.481 Shannon diversity 2.786 2.789
 0.045 2.786 2.876 Simpson diversity 2.403 2.404 0.038 2.403 2.478

Acumulacion de especies en funcion de numeros de individuos... (ver figura 19).

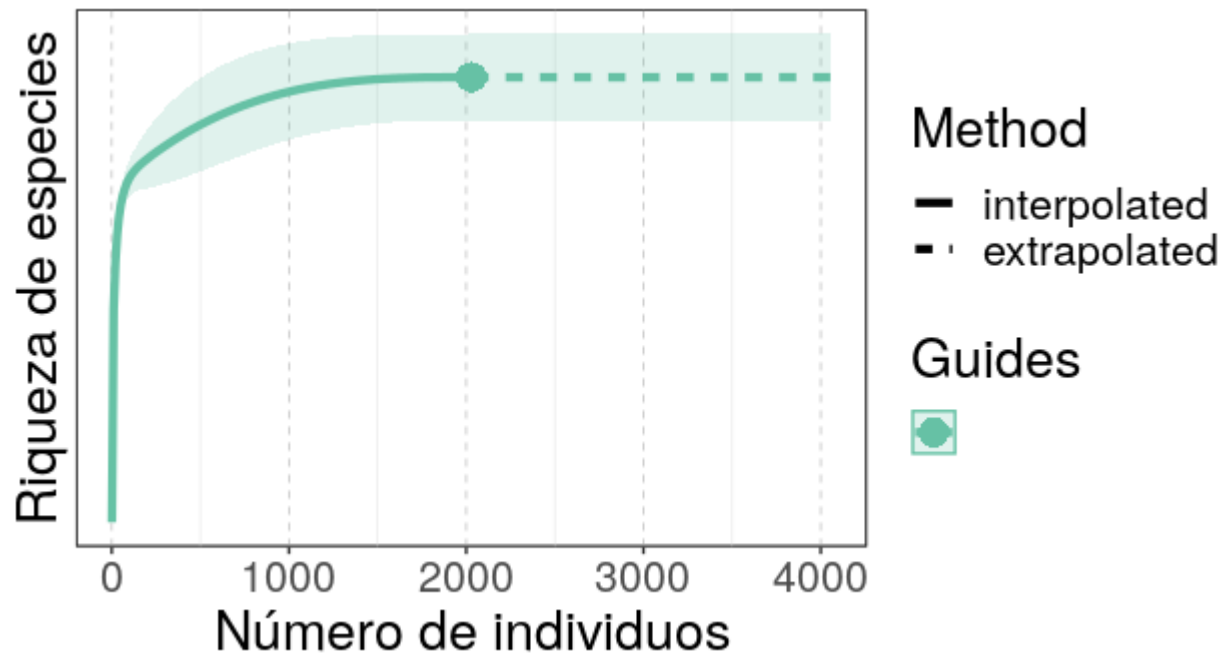


Figure 19: Grafico de acumulacion de especies en funcion de numeros de individuos

Valores de diversidad beta por cada una de las especies y cuales son su contribucion (comparar cuales son las especies que contribuyen mas a la diversidad beta) especies_contribuyen_betadiv
 Chrysophyllum argenteum Chrysophyllum cainito Pouteria stipitata 0.2504234 0.3147978 0.2658814
 \$sitios_contribuyen_betadiv [1] "9" "40"

Estos sitios presentan contribucion a la diversidad beta por la incidencia de algunas variables ambientales (habitat, y variables numericas...)(ver figura 9 y 10).

Componentes principales de la varianza en las variables de suelo y geomorfología en BCI. En estos gráficos se incluye el comportamiento de la varianza explicada, 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) (ver figura 20).

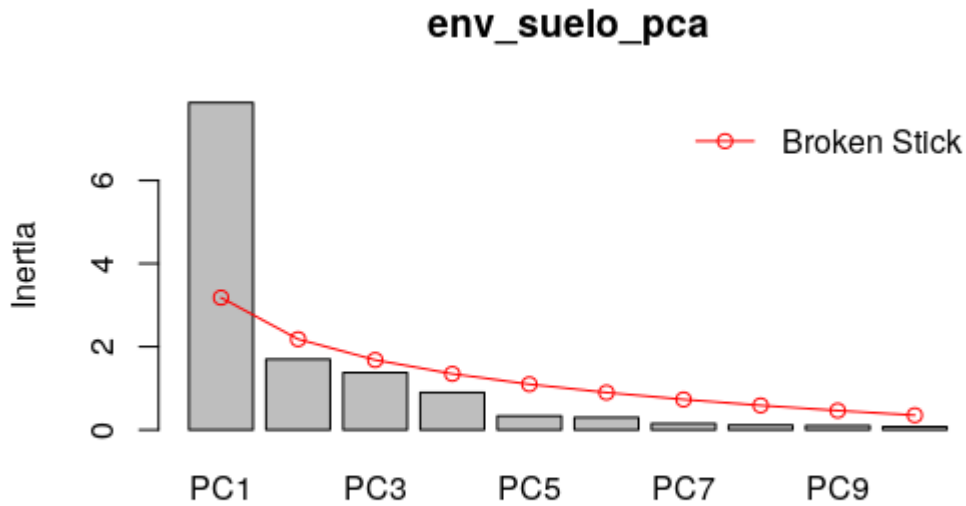


Figure 20: grafico de los componentes principales de la varianza en las variables suelo y geomorfologia en BCI

Se observa que 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 21).

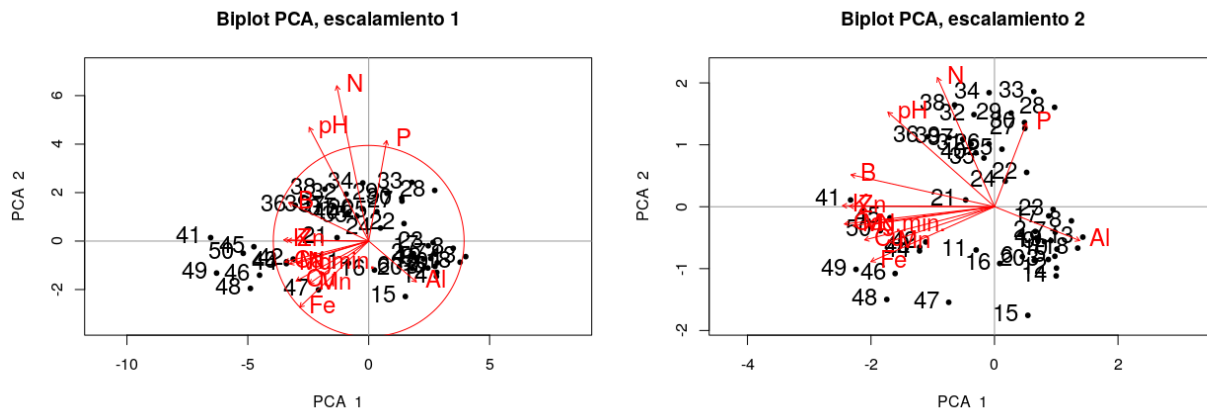


Figure 21: Biplots generados en el PCA de las viariables de suelo

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. Sin embargo, aparecen también unos cuantos cuadrantes con valores atípicos y más alejados. Se nota como las especies (mencionar especies) presentan una contribución desproporcionada a la varianza total, en comparación con el resto de las especies (ver figura 22).

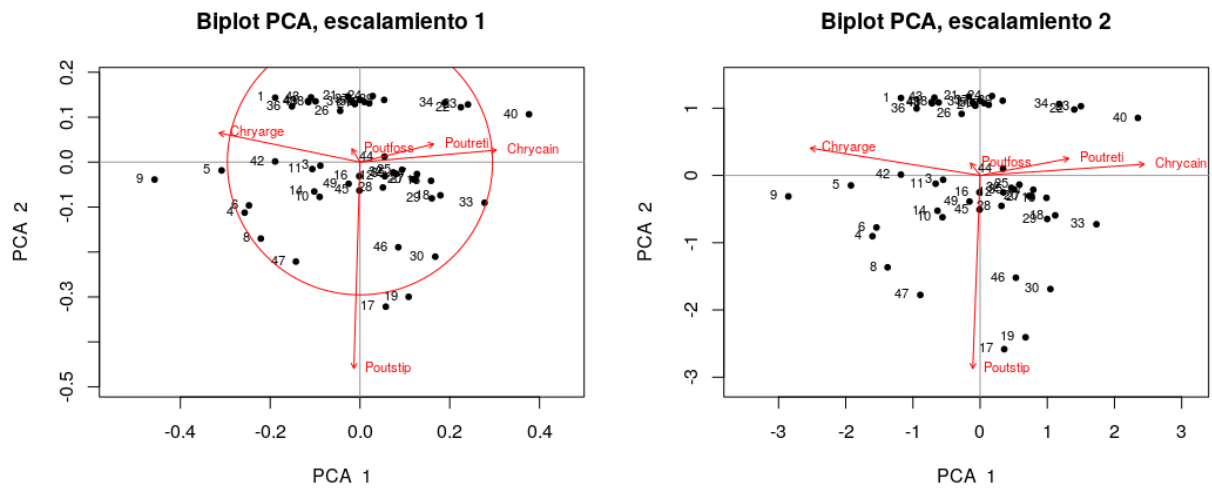


Figure 22: Biplots generados en el PCA de las variables de suelo

Biplot del análisis de correspondencia de los datos de abundancia de las especies de Sapotaceae (ver figura 23).

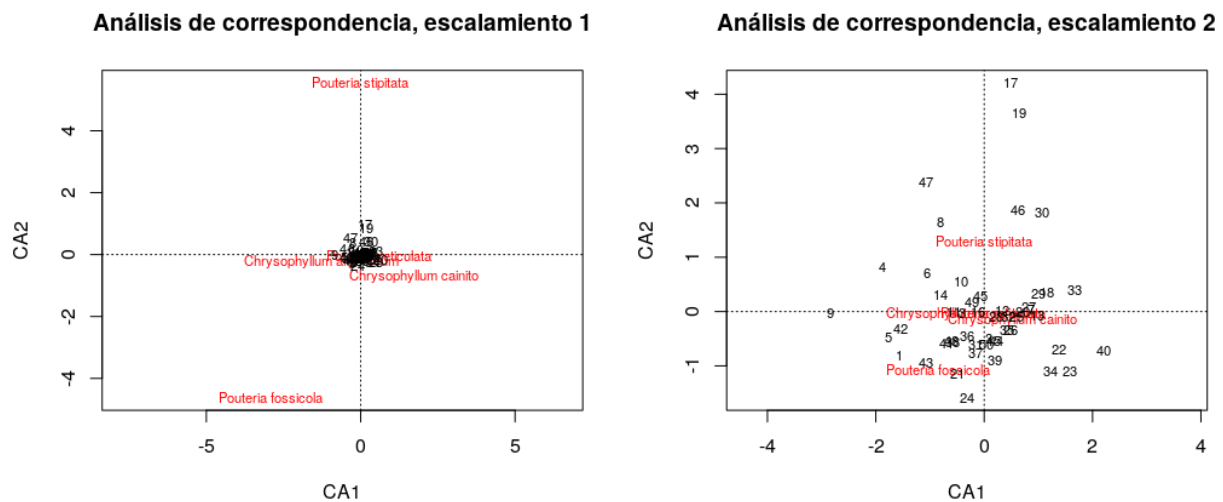


Figure 23: Biplot del analisis de correspondencia de los datos de abundancia de las especies de Sapotaceae

(ver figura 25).

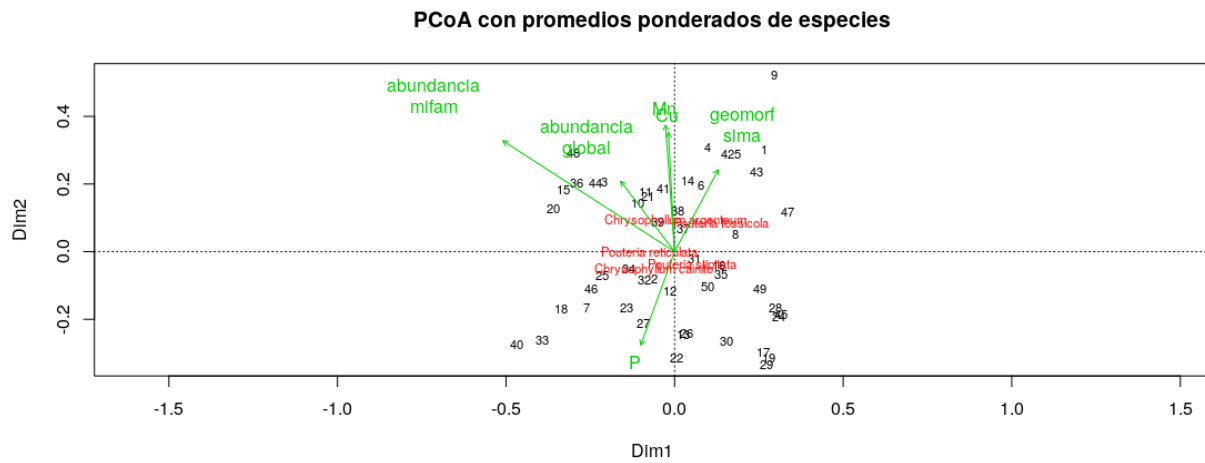


Figure 24: PCoA con promedios ponderados de especies

(ver figura 25).

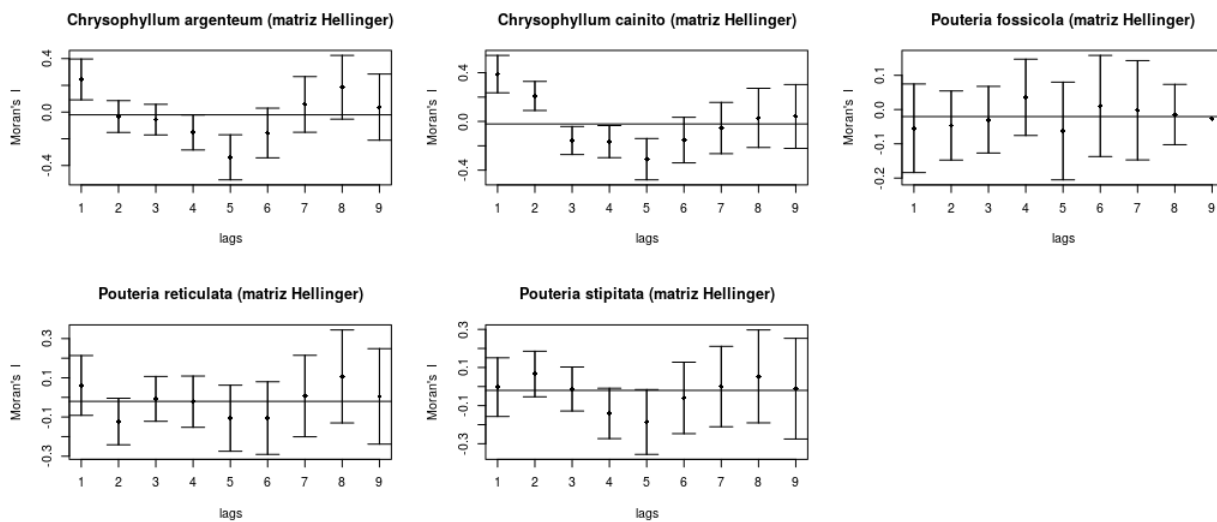


Figure 25: Abundancia de especies (matriz de comunidad transformada)

- 4 Discusión
- 5 Agradecimientos
- 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>
- Carmona-Galindo, V. D., & Carmona, T. V. (2013). La diversidad de los análisis de diversidad la diversidad de los analisis 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 P 'e rez. (2017). Tendencias demográficas y clima durante 35 años en la parcela de 50 ha de barro colorado. *Forest Ecosystems*, 4(1), 1–13.
- Conjuntos de especies y especies indicadoras: La necesidad de un enfoque asimétrico flexible. (1997). *Monografías Ecológicas*, 67(3), 345–366.
- croata, T. B. (1978). *Flora de la isla barro colorado*. Stanford University Press.
- De Caceres, 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/>
- Fisher, R. A., Corbet, A. S., & Williams, C. B. (1943). The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *The Journal of Animal Ecology*, 42–58.
- 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.
- Shannon, C. E. (1948). Una teoría matemática de la comunicación. *El Diario Técnico Del Sistema*

Bell, 27(3), 379–423.

Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148), 688–688.

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.

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. (n.d.). *Estructura e historia de la vegetación de la isla barro colorado ecología de un bosque tropical: Ciclos estacionales y cambios a largo plazo*.