

Inventario de las poblaciones de la familia Arecaceae presentes en la parcela permanente de 50ha, Barro Colorado.

Estudio poblacional, biodiversidad, agrupamiento y asociación.

Ecología numérica con R

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

Resumen del manuscrito

Keywords: Arecaceae, BCI, Lago Gatún, Panamá

1 Introducción

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.

Forma parte de The Center for Tropical Science, una red compuesta por alrededor de 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). Esto con el fin de recolectar y analizar datos ecológicos para monitorear la dinámica de poblaciones y la diversidad en localidades 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 Metodología

2.1 Área de estudio

El área de estudio es la parcela de 50ha en Isla Barro Colorado, localizada en el Lago Gatún en Panamá (Hubbell, Condit, & Foster, 2005) (ver figura 1). Cuenta con una extensión de terreno de 54km², cada hectarea tiene 1km²; la familia de plantas a examinar es Arecaceae Schultz Sch.

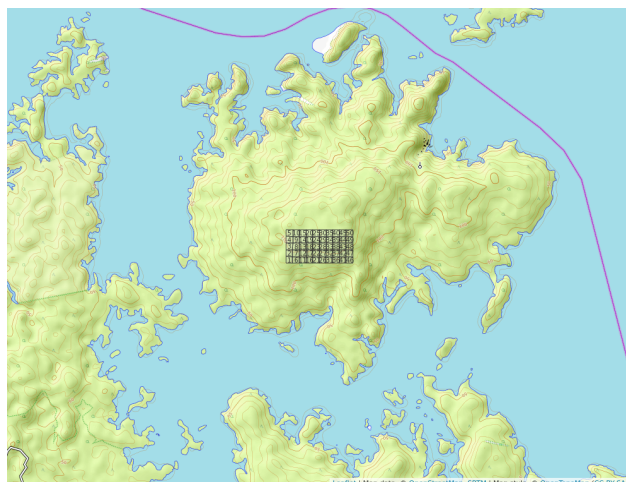


Figure 1: Área de estudio, parcela de 50ha, Isla Barro Colorado.

2.2 Materiales y métodos

Para este estudio se utilizó el software estadístico R (R Core Team, 2020), los paquetes *vegan* (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), y scripts del repositorio “Scripts de análisis de BCI” (Batlle, 2020).

También se realizaron análisis exploratorios de datos, determinación de presencia-ausencia y abundancia/riqueza de especies de la familia, para observar en cuales sitios había mayor o menor número de especies y cuales sitios presentaron las abundancias más altas o más bajas; análisis de agrupamiento, para determinar cuales sitios compartían similitudes y características que los pudieran identificar como grupo. Mediciones de asociación, con el fin de explorar las variables (geomorfológicas, ambientales, suelo, etc.) asociadas a distintas especies y sitios; diversidad biológica para evaluar como están estructuradas las comunidades en los sitios muestrados (R. Kindt & Coe, 2005); y ecología espacial que nos permite evaluar la autocorrelación inherente al área de estudio.

Se utilizó una matriz ambiental con los datos generales del área muestreada, una tabla censal de la familia estudiada; índices de Jaccard, transformada de Hellinger, Bootstrap, y distancia Euclídea para el estudio de biodiversidad, agrupamiento y determinar que sitios tienen las mayores probabilidades de formar clusters.

R Core Team (2020), R es un lenguaje y un entorno para la computación y los gráficos estadísticos, proporciona una amplia variedad de técnicas estadísticas (modelado lineal y no lineal, pruebas estadísticas clásicas, análisis de series de tiempo, clasificación, agrupamiento, etc.) y técnicas gráficas, y es altamente extensible, uno de los puntos fuertes de R es la facilidad con la que se pueden producir gráficos con calidad de publicación bien diseñados, incluidos símbolos matemáticos y fórmulas cuando sea necesario.

El paquete *vegan* proporciona herramientas para la ecología descriptiva de comunidades. Tiene las funciones más básicas de análisis de diversidad, ordenación de comunidades y análisis de disimilitud. La mayoría de sus herramientas multivariadas también se pueden utilizar para otros tipos de datos (Oksanen et al., 2019).

Con el paquete ‘*leaflet*’ se pueden crear y personalizar mapas interactivos usando la librería de JavaScript y el paquete ‘*htmlwidgets*’ (Cheng et al., 2018).

Paquete 'ez', las funciones de este paquete tienen como objetivo proporcionar una especificación simple, intuitiva y coherente de análisis y visualización de datos; las funciones de visualización también incluyen la visualización del diseño para la auditoría de datos previos al análisis y la visualización de la matriz de correlación; finalmente, este paquete incluye funciones para el análisis no paramétrico, incluidas las pruebas de permutación y remuestreo bootstrap (Lawrence, 2016).

Paquete 'psych', utilizado para el análisis multivariado y la construcción de escalas utilizando análisis factorial, análisis de componentes principales, análisis de conglomerados y análisis de confiabilidad, aunque otras proporcionan estadísticas descriptivas básicas (Revelle, 2019).

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

En la Tabla 1 se muestran las especies presentes en la parcela permanente y la abundancia de individuos de cada especie, siendo *Oenocarpus mapora* la especie con el mayor número de individuos y *Chamaedorea tepejilote* la especie con el menor número de individuos; en la figura 2 vemos la distribución de las especies en la parcela, la cantidad de individuos de las especies presentes en cada sitio y cuáles especies tienen mayor o menor presencia en el área de estudio, donde *Oenocarpus mapora* es la especie que mayor presencia presenta, se encuentra en todos los sitios muestreados, y *Elaeis oleifera* la especie con menor presencia, solo encontrada en tres sitios de muestreo.

Se obtuvieron datos de abundancia global por cuadrante de las especies de las familias presentes en BCI, con los cuadrantes 3, 5, 20, 43 y 48 mostrando la mayor abundancia de individuos; y los cuadrantes 22, 23, 31, 34 y 45 siendo los de menor abundancia, figura 3. Los cuadrantes que mostraron una mayor riqueza de especies a nivel global fueron los cuadrantes 1, 27 y 50 con 181, 195 y 193 especies respectivamente; los de menor riqueza fueron los cuadrantes 34, 35 y 41 con 138, 147 y 146 especies respectivamente, figura 4.

La abundancia de individuos para la familia Arecaceae se presenta en la figura 5, donde observamos que los sitios/cuadrantes que mayor abundancia presentaron fueron 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. Los cuadrantes que mayor riqueza mostraron tuvieron un número de cinco y seis especies, los que menos mostraron tuvieron dos y tres especies, ningún cuadrante mostró una sola especie, así mismo ninguno presentó la totalidad de especies presentes en la parcela, cuyo valor es de nueve especies (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).

3.2 Medición de asociación

3.2.1 Asociación de sitios

Se utilizó la matriz de comunidad de la familia para generar una matriz de distancia Euclídea mediante la transformación de Hellinger, para obtener los datos de asociación entre los sitios

muestreados. Estos datos en la matriz de disimilaridad ordenada, a la derecha, reflejan que existen al menos tres grandes grupos altamente asociados, mostrados en color fucsia, y en color cian los de baja asociación (ver figura 8).

3.2.2 Asociación de especies

Para la asociación de especies, los datos arrojaron que *Chamaedorea tepejilote* y *Bactris barronis* son las dos especies que no se asocian con otras especies; *Bactris coloniata* no presenta asociación con *Chamaedorea tepejilote*, *Elaeis oleifera* ni *Bactris major*; *Socratea exorrhiza* no se asocia con *Chamaedorea tepejilote*, *Bactris barronis* ni *Elaeis oleifera*, pero sí se asocia con *Bactris coloniata*, *Oenocarpus mapora*, *Astrocaryum standleyanum*, *Attalea butyracea* y *Bactris major*; *Oenocarpus mapora* no tiene asociación con las especies *Chamaedorea tepejilote* ni *Bactris barronis*, mientras que sí presenta asociaciones con las demás 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 sí con las otras especies; *Bactris major* carece de asociación con las especies *Chamaedorea tepejilote*, *Bactris barronis* y *Bactris coloniata*. Esto se puede visualizar en la figura 9, donde los colores cian significan nula asociación, y los colores fucsia la asociación que presentan las especies.

En la figura 10 se pueden leer los resultados de la distancia entre las especies, donde los colores cian denotan larga distancia Euclídea, y los colores fucsia la corta distancia.

3.2.3 Asociación de variables

Existen 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. Las variables geomorfológicas que mayor grado de asociación presentaron fueron las de pendiente media con con llanura, cuando un disminuía la otra aumentaba, creando de esta manera una correlación inversa; elevación media con vaguada, espolón/gajo e interfluvio mantiene una asociación inversa; hay asociación entre valle y vaguada; vaguada y se asocia con espolón/gajo de forma positiva, y de manera negativa con llanura; y hombrera se relaciona con llanura, (ver figura 11).

La abundancia de individuos estuvo asociada con nueve variables, de las cuales destacan las variables pH, Nitrogeno, Zinc y Boro, asociadas de de forma negativa. La variable pH estuvo asociada destacablemente con Nitrogeno, Zinc, Magnesio, Potasio, y Boro de forma positiva, y de manera negativa con el Aluminio. El grado mas alto de asociacion estuvo entre el Calcio y el Magnesio, figura 12.

3.3 Análisis de agrupamiento

En la figura 13 se muestran los sitios que tienen una alta probabilidad de formar grupos, representados en rectangulos de color azul, donde se forma un gran grupo con 27 sitios, tres grupos de tamaño medio con 7, 6 y 5 sitios, y dos grupos pequeños con 2 y 3 sitios cada uno. En el la figura 14 se muestra la distribución de estos grupos dentro de la parcela de 50ha de BCI. La distribución de los grupos es aleatoria, los grupos no se presentan de manera continua dentro de la parcela de 50ha de BCI, sino que, se visualizan de manera dispersa, esto puede deberse a distintas variables.

En la figura 15 se observa la asociación de variables a la distribución de estos grupos, destacando las asociaciones de las variables pH, Zinc, Magnesio, Manganeso, Fósforo, Aluminio, Nitrógeno, Curvatura, Pendiente, UTM y Hombrera. 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.

Mediante el análisis de especies indicadoras de IndVal, se obtuvo que el método de agrupamiento Complete con dos grupos, presentó una sola especie indicadora, encontrada en el grupo dos, la cual posee una abundancia de 500 individuos. Con el método Ward el grupo cuatro presentó como especies indicadoras a *Elaeis oleifera*, *Bactris major* y *Attalea butyracea*; con la suma de grupos 1+2 se encuentra *Socratea exorrhiza*, y para los grupos 4+5 *Astrocaryum standleyanum*.

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. Mientras que para la técnica Ward hay una variación, no hay especies que se vean asociadas a dos grupos o más, solo a un grupo, siendo, *Socratea exorrhiza* para el sitio dos; y *Elaeis oleifera*, *Bactris major* y *Attalea butyracea* para el grupo cuatro.

3.4 Análisis de diversidad

Para la matriz combinada de especies de la familia los análisis de diversidad de Chao y Jacknife muestran que la riqueza de especies está completamente representada, ya que, el número de especies de la familia presentes en BCI es de 9, mientras que el número de especies muestreadas fue exactamente de 9 especies.

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.

En diversidad alpha la Equidad de Pielou y la Ratios de Hill se ven asociadas con la elevación media y abundancia global. Las coordenadas UTM.NS se relacionan con la riqueza de especies (N0) de manera negativa, y de manera positiva con las Ratios de Hill y la Equidad de Pielou. En cuanto a diversidad beta, se encontró que tanto los sitios, como las especies, contribuyen a esta diversidad, siendo los sitios 13 y 23 los contribuyentes, y las especies *Astrocaryum butyracea*, *Socratea exorrhiza* y *Bactris major*.

3.5 Análisis de Ecología espacial

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).

Para la prueba Mantel existe autocorrelación para el orden 3, 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. *Elaeis oleifera* a su vez parece estar asociada o en dependencia de las variables Ca, B, Mn, y en menor medida con K, Cu, Zn, N, pH, cuando estos valores son bajos; y con Al cuando son altos.

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.

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

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

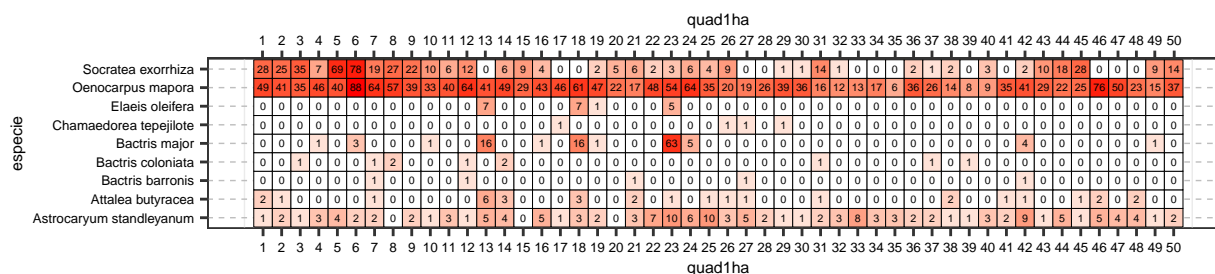


Figure 2: Abundancia de individuos por especie en cada cuadrante.

4 Discusión

5 Agradecimientos

6 Información de soporte

...

7 Script reproducible

...

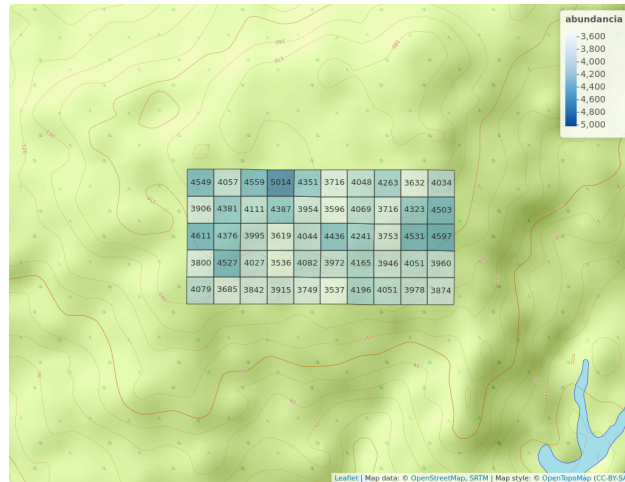


Figure 3: Mapa de abundancia global.

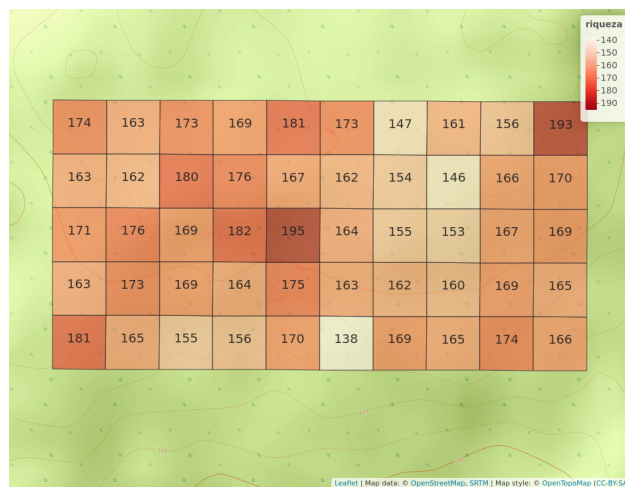


Figure 4: Mapa de riqueza global.

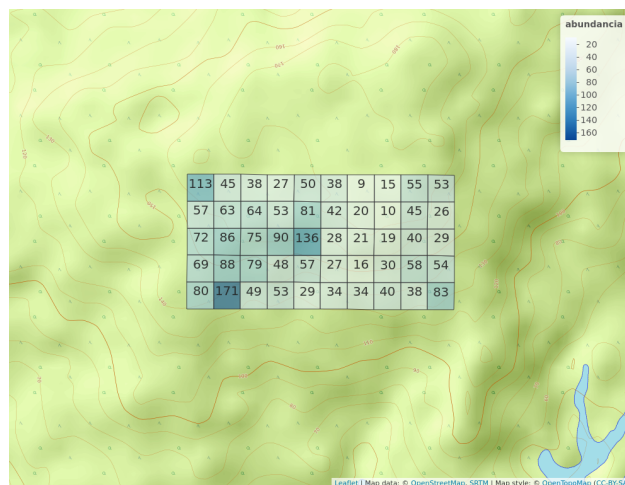


Figure 5: Mapa de abundancia de individuos por cuadrante de la familia Arecaceae.

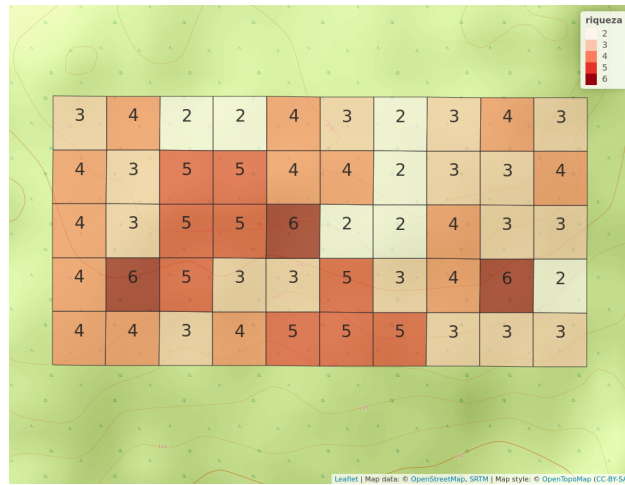


Figure 6: Mapa de riqueza de especies de la familia Arecaceae.

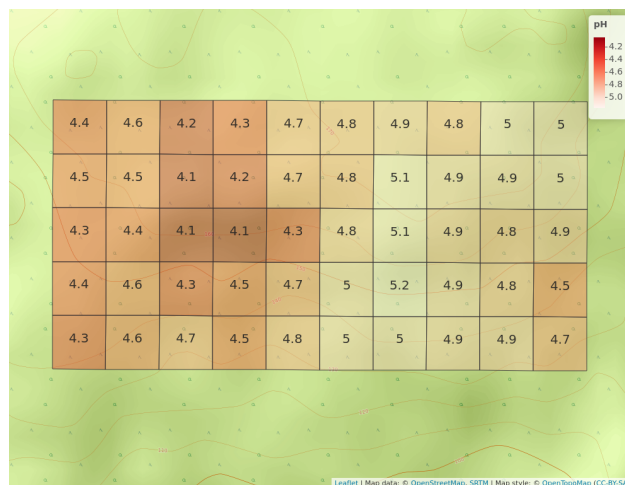


Figure 7: Mapa de pH, parcela de 50ha.

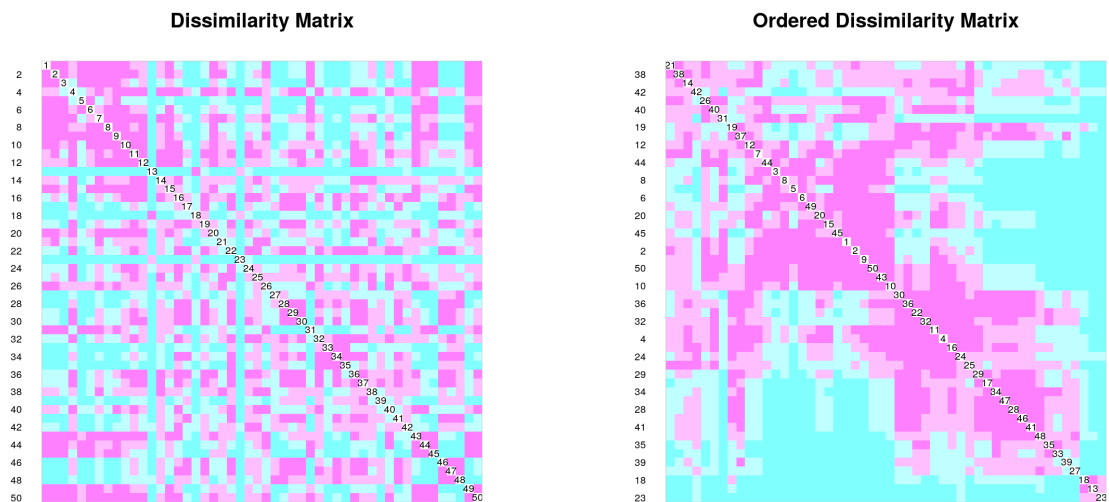


Figure 8: Matriz de correlacion entre sitios.

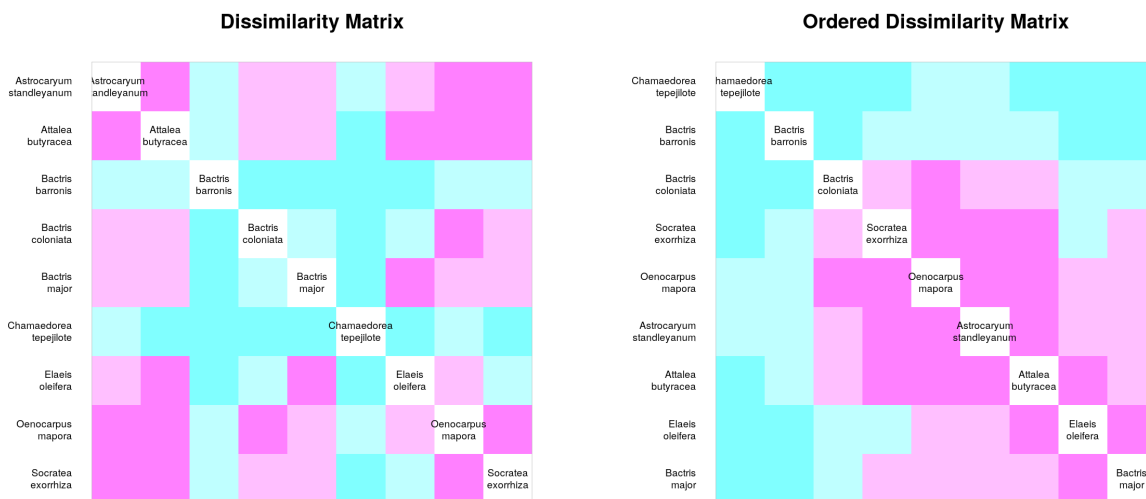


Figure 9: Matriz de asociacion entre especies.

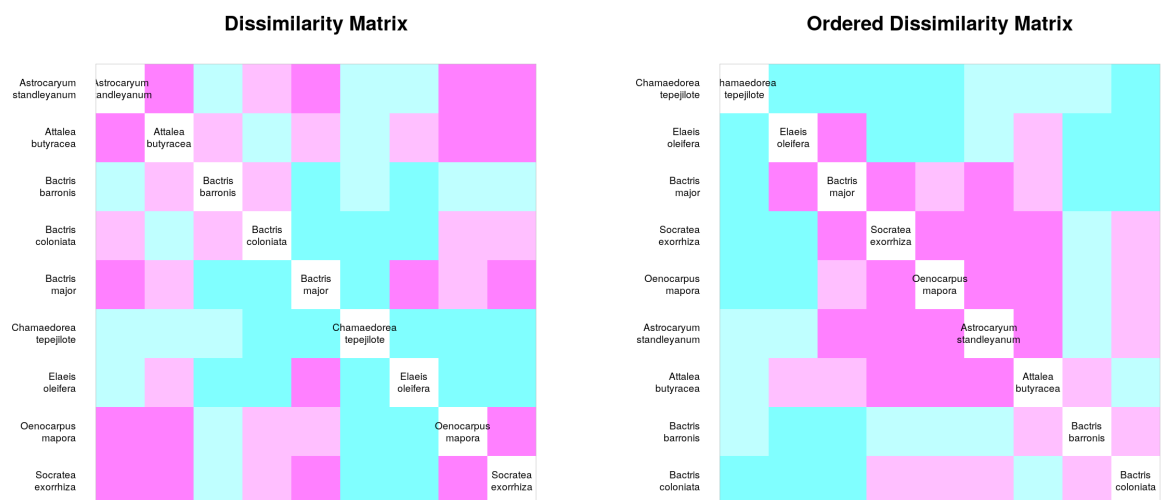


Figure 10: Matriz de distancia entre especies.

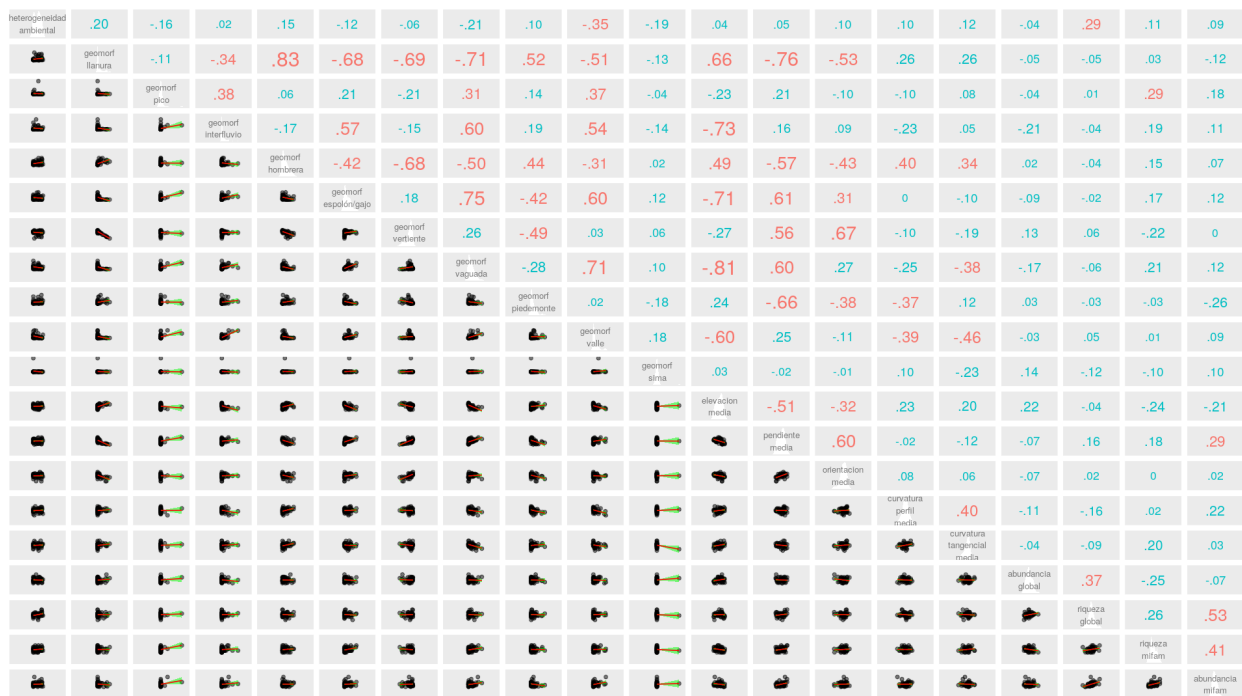


Figure 11: Matriz de correlacion de variables geomorfológicas y abundancia-riqueza.

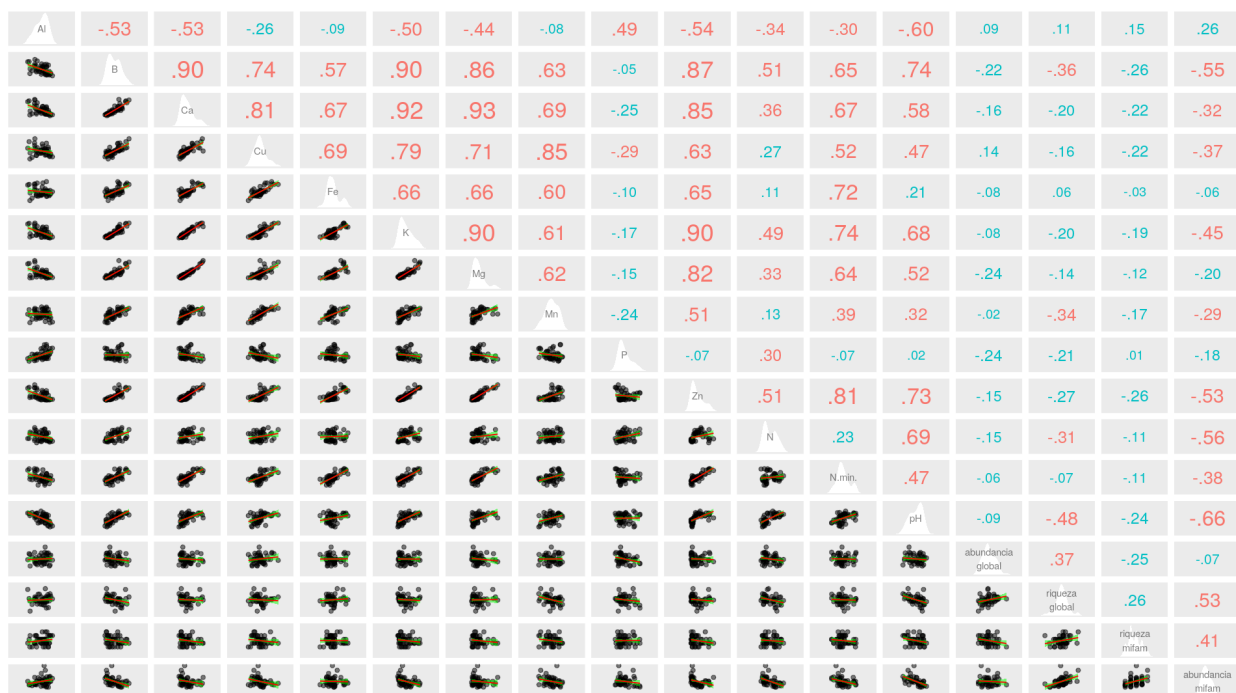


Figure 12: Matriz de correlacion de variables suelo y abundancia-riqueza.

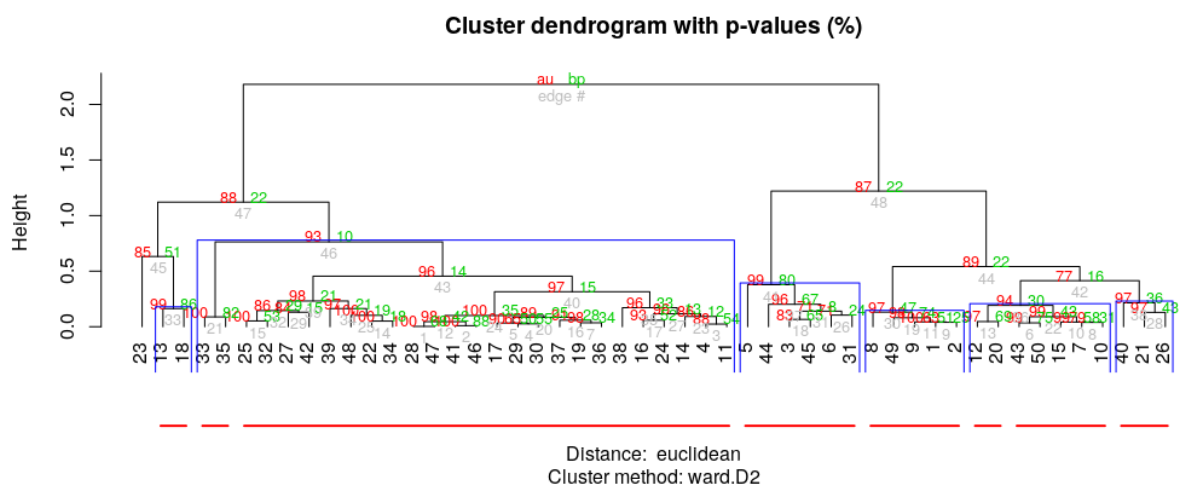


Figure 13: Dendrograma de distancia Euclidea con remuestreo de Bootstrap.

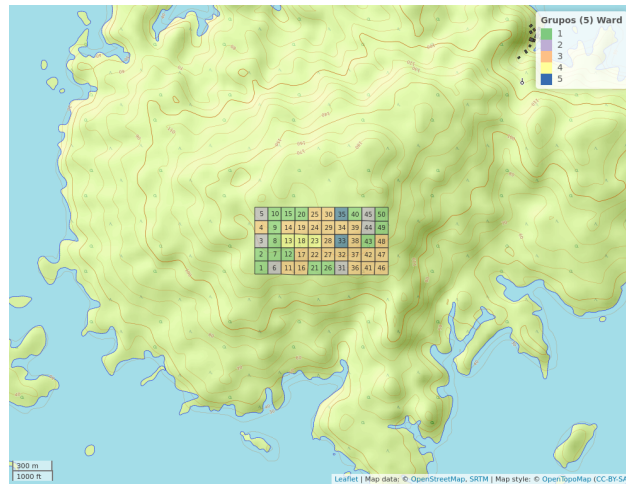


Figure 14: Mapa distribución de sitios agrupados.

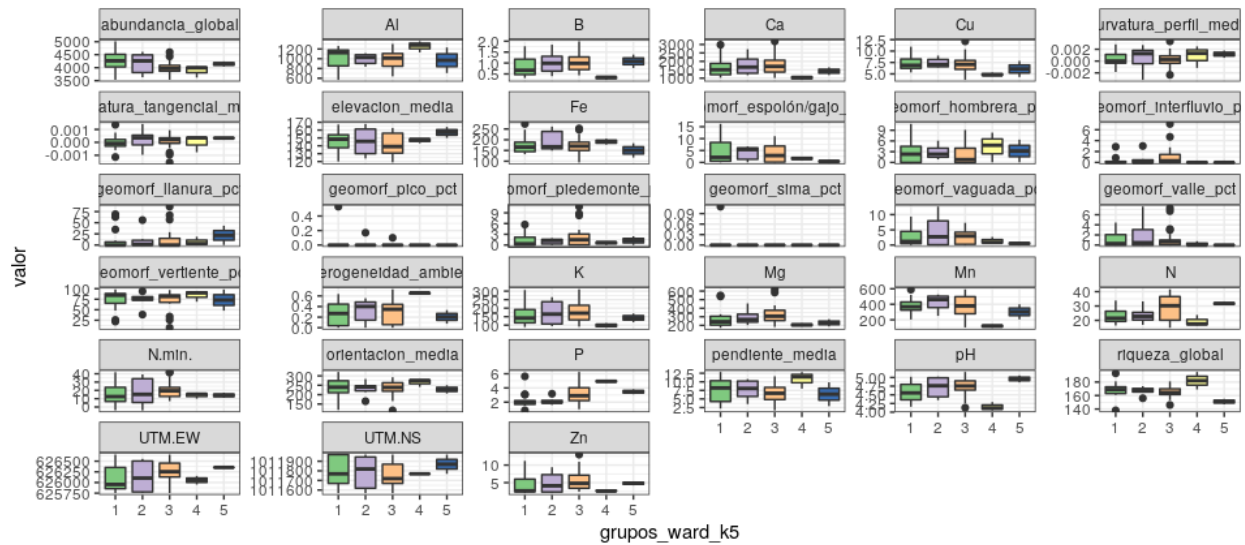


Figure 15: Grafico de correlacion entre variables y grupos de sitios.

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>
- Battle, 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>
- 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.
- Hubbell, S., Condit, R., & Foster, R. (2005). *Forest census plot on barro colorado island*. <http://ctfs.si.edu/webatlas/datasets/bci/>.
- 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>
- Lawrence, M. A. (2016). *Ez: Easy analysis and visualization of factorial experiments*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=ez>
- 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>
- Wickham, H. (2017). *Tidyverse: Easily install and load the 'tidyverse'*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse>