



CIMAT

Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.

**ANÁLISIS DE LA ASOCIACIÓN ENTRE LOS FACTORES
ABIÓTICOS Y LA VARIACIÓN MORFOMÉTRICA DE
ESPECIES DE PLANTAS DE LA TRIBU MICONIEAE
(MELASTOMATACEAE) DE COSTA RICA.**

T E S I N A

Que para obtener el grado de

Especialista en Métodos Estadísticos

Presenta

Rocío Amaranta González Moreno

Director de Tesina:

M. en E. Sergio Martín Nava Muñoz

Co-director de Tesina:

Dr. Gilberto Alejandro Ocampo Acosta

Autorización de la versión final

Aguascalientes, Ags., 28 de febrero de 2018

Índice

Resumen	3
Capítulo I. Marco teórico	4
Justificación	4
Capítulo II. El problema	5
Planteamiento del problema	5
Objetivos de la investigación	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	6
Hipótesis	6
Alcances y limitaciones	6
Capítulo III. Marco metodológico	7
Diseño de investigación	7
a. Tipos de diseños de investigación	7
b. Población muestra	7
c. Variables del estudio	7
d. Tipos de variables	7
e. Técnicas y métodos	8
f. Procesamiento de Datos	9
Capítulo IV. Análisis de resultados/datos	11
Resultados y Discusión	11
Conclusión	21
Recomendaciones	22
Referencias bibliográficas	24
Anexo	27
Glosario	34

Resumen

Melastomataceae es una de las familias más grandes de plantas con flores y posee una distribución amplia en zonas tropicales y subtropicales. La familia tiene cerca de 3,000 especies en los neotrópicos, donde más de dos tercios de ellas se distribuyen en Centro y Sudamérica. Miconieae es una de las 20 tribus de Melastomataceae y comprende cerca de 17 géneros y 1,850 especies endémicos del Nuevo Mundo. Las especies de esta tribu tienen un papel ecológico muy importante, ya que son componentes vitales para la recuperación de hábitats tropicales perturbados. A pesar de esto, su importancia económica es relativamente poca, ya que solo algunas especies se cultivan con fines ornamentales, comestibles o maderables.

Las especies de la tribu Miconieae cuentan con una gran diversidad de estructuras, formas y hábitos cuyo origen, aún en la actualidad, no ha podido ser explicado. Se especula que las características morfológicas y morfométricas están relacionadas con las condiciones ambientales más que con su historia evolutiva, lo que nos indica que podrían ser características adaptativas. Se define como carácter morfológico a toda aquella característica con una forma y/o estructura definida en cualquier nivel de organización; por otro lado, un carácter morfométrico es la forma cuantitativa de describir formas, es decir, cualquier carácter del que se pueda obtener una medida de longitud. En este trabajo, se estudiaron ambos tipos de características, por lo que se obtuvieron caracteres morfológicos (hábito, raíz adventicia, hojas dimórficas y dimorfismo del estambre), como morfométricos (altura de la planta, longitud de hojas, ancho de hojas, longitud de la inflorescencia, longitud del pedicelo, longitud de lóbulo del cáliz, longitud de los dientes del cáliz, longitud de los pétalos, ancho de los pétalos, longitud de las anteras, ancho de los frutos y longitud de las semillas) de especies de la tribu Miconieae en Costa Rica. Utilizando estos datos, se trató de correlacionar la variación morfológica y morfométrica de las especies bajo estudio con las condiciones abióticas a través de modelos lineales generalizados y análisis de correlación canónica. Con lo anterior, se intentó encontrar una hipótesis que explicara la diversidad morfológica de las especies de Miconieae.

Nota: Al final se encontrará un anexo de imágenes, así como un glosario con los términos resaltados en negritas dentro del texto.

Capítulo I. Marco teórico.

Familia Melastomataceae

Melastomataceae es una de las familias más grandes de plantas con flores con aproximadamente 179 géneros y más de 5,400 **especies** distribuidas principalmente en zonas tropicales y subtropicales del mundo (Wurdack, Renner y Morley, 1993; Almeda, 2003). Melastomataceae es una familia de relativamente poca importancia económica. Algunas especies se cultivan con fines ornamentales por sus flores blancas, rosadas o moradas. Otras tienen frutos comestibles, pero en general no muy apetecidos; los troncos de varias de las especies más robustas (e.g., *Astronia* Blume, *Memecylon* L.) son maderables, por lo que se emplean en carpintería y construcción (Almeda, 1993).

Esta familia es común en la vegetación secundaria, cuyas estrategias de vida incluyen adaptaciones como la gran producción y dispersión eficiente de semillas, así como las tasas altas de germinación y de crecimiento de las **plántulas**, las cuales pueden proporcionar la activación de los procesos ecológicos que intervienen en la regeneración natural de los hábitats perturbados (Albuquerque, L. B., Aquino, F. G., Costa, L. C., Miranda, Z. J., y Sousa, S. R. 2013). Las especies de esta familia explotan un rango amplio de hábitats; crecen frecuentemente en **bosques primarios** en donde pueden llegar a ser árboles grandes, o bien, crecen en **hábitats sucesionales tempranos o perturbados**, en donde son arbustos (Hokche y Ramírez, 2008).

Tribu Miconieae

Miconieae es una de las 20 **tribus** de Melastomataceae que incluye más de 1,850 especies y aprox. 17 géneros restringidos al Nuevo Mundo (Ocampo, G., Michelangeli, F.A., & Almeda, F., 2014). Los miembros de Miconieae muestran una gama amplia de diversidad morfológica, especialmente en formas de vida, tipos de inflorescencias, tipos de semillas y caracteres florales (Michelangeli *et al.*, 2008).

Justificación

La tribu Miconieae es una de las más ampliamente distribuidas en zonas tropicales y subtropicales del Nuevo Mundo y cuenta con más de 1,850 especies. **Análisis filogenéticos**

han demostrado que los caracteres morfológicos utilizados para elaborar su clasificación han evolucionado en múltiples ocasiones dentro de la tribu. Los trabajos que se han realizado revelan que la mayoría de los géneros no son **monofiléticos** (Michelangeli *et al.*, 2004; Michelangeli *et al.*, 2008; Goldenberg, Penneys, Almeda, Judd y Michelangeli, 2008). Estudios de caracteres diagnóstico tales como la posición de la inflorescencia y el ápice de los pétalos han demostrado que estas características, además de ser **homoplásticas**, son en ocasiones difíciles de definir (Martin, Little, Goldenberg y Michelangeli, 2008). Por lo anterior, los caracteres morfológicos por sí solos aparentemente no contienen datos que nos informen acerca de la historia evolutiva del grupo. Debido a la amplia distribución de las especies de la tribu, se especula que las características morfológicas y morfométricas están relacionadas con las condiciones ambientales más que con su historia evolutiva, lo que nos indica que podrían ser características adaptativas. Por ello, se quiere explorar el comportamiento de las características de las especies de la tribu con respecto a las condiciones ambientales; así se podría probar si la morfometría y morfología de las especies están influenciadas por las condiciones del área en las que se distribuyen.

Capítulo II. El problema

Planteamiento del problema

Debido a los pocos estudios basados en la morfometría de las especies de esta familia, se desea efectuar un análisis que pueda describir el patrón de los caracteres morfométricos y morfológicos de las especies de la tribu Miconieae que se encuentran distribuidas en Costa Rica con respecto a los **factores abióticos** a los que están expuestas.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Comprobar si existe una asociación entre las variables morfométricas y morfológicas de las especies de la tribu Miconieae (Melastomataceae) con factores abióticos.

Objetivos específicos

Si existe una correlación, encontrar qué factores abióticos tienen algún posible efecto sobre las variables morfométricas.

Explorar el efecto de la temperatura media anual con las variables morfométricas.

Explorar el efecto de la temperatura estacional con las variables morfométricas.

Explorar el efecto de la precipitación anual con las variables morfométricas.

Explorar el efecto de la precipitación estacional con las variables morfométricas.

Explorar el efecto de la altitud con las variables morfométricas.

Hipótesis

Los factores abióticos tienen influencia sobre algunas características morfométricas de las especies de la tribu Miconieae (Melastomataceae).

Alcances y limitaciones.

Para la muestra se consideraron tres etapas. Primero se tomó como base los datos descriptivos de 166 especies de la tribu Miconieae reportadas en el trabajo de Almeda (2009) para Mesoamérica. En la segunda etapa se obtuvieron del portal de datos Global Biodiversity Information Facility (GBIF; <http://www.gbif.org/>) las coordenadas geográficas de lugares en donde se han colectado especies de Miconieae; el mayor número de registros georreferenciados provienen de Costa Rica, por lo que se decidió efectuar este estudio solamente con taxa de la tribu en este país. Para la última etapa, las coordenadas geográficas de cada especie se utilizaron para obtener las condiciones climáticas, las cuales se extrajeron del conjunto de datos de BioClim (<http://www.worldclim.org/bioclim>). Por medio de estas etapas se eliminaron las especies de plantas que no tenían registros morfométricos o de georreferenciación. Por lo anterior, la proyección de los resultados solo podrá servir para describir a las 154 especies de la tribu Miconieae reportadas en este estudio que se encuentran en Costa Rica.

Capítulo III. Marco Metodológico

Diseño de investigación

a. Tipos de diseños de investigación

Se trata de una investigación de tipo retrospectivo, transversal y descriptivo.

b. Población muestra

154 especies de la tribu Miconieae descritas en el trabajo de Almeda (2009) para Mesoamérica, de las cuales se tienen ejemplares de herbario colectados en Costa Rica.

c. Variables del estudio.

En el estudio se habla de variables tanto morfológicas como morfométricas. La morfología es la parte de la biología que trata de la forma y estructura en cualquier nivel de organización (Curtis, E., Barnes, S., & Schenek, A., 2008), mientras que la morfometría se define como el estudio de la forma y dimensiones de los mismos seres vivos, es decir, es la forma cuantitativa de abordar las comparaciones de las formas (Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., y Sheets, H. D. 2012). De las variables morfológicas se obtuvieron valores categóricos, pues se basa en formas, tamaños (grande, mediano, pequeño) y texturas, entre otras. De las variables morfométricas se obtuvieron valores numéricos, ya que se toman medidas de longitud. En el estudio se englobaron las variables morfológicas dentro de las variables morfométricas para así referirnos a un solo término, ya que solo se evaluaron cuatro variables morfológicas de tipo categóricas y el resto serán variables morfométricas de tipo continuas.

d. Tipos de variables.

Variable		Categoría		Unidad de medición
Morfológica	Hábito	1	Arbusto	No aplica
		2	Epífitas	
		3	Hierba	
		4	Árbol pequeño	
		5	Árbol	
	Raíz adventicia	1	Ausente	

Morfológica		2	Presente	No aplica
	Hojas dimórficas	1	Ausente	
		2	Presente	
	Dimorfismo del estambre	1	Ausente	
		2	Presente	
Morfométrica	Altura de la planta		No aplica	Metros
	Longitud de hojas			Centímetros
	Ancho de hojas			Centímetros
	Longitud de la inflorescencia			Centímetros
	Longitud del pedicelo			Milímetros
	Longitud de lóbulo del cáliz			Milímetros
	Longitud de los dientes del cáliz			Milímetros
	Longitud de los pétalos			Milímetros
	Ancho de los pétalos			Milímetros
	Longitud de las anteras			Milímetros
	Ancho de los frutos			Milímetros
Longitud de las semillas		Milímetros		

Tabla 1. Variables respuesta del estudio. Ver Anexo para observar las estructuras usadas en este estudio.

Variable	Descripción
Bio1	Temperatura media anual.
Bio4	Temperatura estacional (desviación estándar*100).
Bio12	Precipitación anual.
Bio15	Precipitación estacional (coeficiente de variación).
Elevación	Promedio de la elevación registrada para cada especie.

Tabla 2. Descripción de las variables predictoras del estudio.

e. Técnicas y métodos

Los datos de georreferenciación (incluyendo elevación) de los ejemplares de las especies de Miconieae se obtuvieron de la base de datos GBIF. Una vez que se obtuvo la información de cada punto de colecta, se extrajeron las variables bioclimáticas (BioClim) de la base de datos WorldClim-Global Climate Data (<http://www.worldclim.org/bioclim>) por medio del programa DIVA-GIS (<http://www.diva-gis.org/>), el cual es un programa de Sistema de

Información Geográfica (SIG). Del total de variables de BioClim se trabajó con cuatro, las cuales reflejan de manera global la variación en temperatura y precipitación. Las variables que se utilizaron fueron Bio1 = Temperatura media anual, Bio4 = Temperatura estacional (desviación estándar*100), Bio12 = Precipitación anual, Bio15 = Precipitación estacional (coeficiente de variación). Para cada una de las especies se obtuvo el promedio de las variables de BioClim mencionadas ya que cada especie presentaba un número variable de registros climáticos.

La información morfométrica proviene de 154 especies descritas por Almeda (2009). Se obtuvieron un total de 6,649 registros de BioClim, pertenecientes a las 154 especies. La obtención de datos para este estudio se representa a manera de diagrama en la **Figura 1**.

f. Procesamiento de datos

Los datos se procesaron utilizando los modelos lineales generalizados (GLM's, por sus siglas en inglés), tales como la regresión lineal, regresión lineal múltiple y regresión logística; esta última se utilizó para evaluar las variables categóricas del estudio. También, se utilizó el análisis de correlación canónica (CCA por sus siglas en inglés) para estimar la correlación entre el conjunto de variables; en este modelo solo se evaluaron las variables numéricas y se omitieron las variables de tipo categórico. Previamente se realizaron estadísticas descriptivas para observar el comportamiento de las variables.

Los datos fueron analizados por medio del software R (versión 3.4.0), utilizando la interfaz RStudio (versión 3.2.4). Los diagramas y coeficientes de relación se obtuvieron con el paquete “**graphics**” y “**stats**” que vienen incluidos en la librería de R. Para analizar los diversos modelos de regresión se utilizó el paquete “**leaps**” (<https://cran.r-project.org/package=leaps>) y el paquete “**stats**”, para el análisis de correlación canónica el paquete “**CCA**” (<https://cran.r-project.org/web/packages/CCA/index.html>).

Los coeficientes de correlación se evaluaron utilizando los valores de correlación de Pearson, los cuales toman valores comprendidos entre -1 a +1. Cuanto más extremo sea el coeficiente, mayor asociación lineal existe entre el par de variables; cuando es cercano a cero, no existirá una asociación lineal. El signo positivo nos indica que la asociación es

→**Figura 1.** Diagrama de flujo que muestra el proceso por el cual se obtuvo la tabla de datos de las variables morfológicas, morfológicas y abióticas.

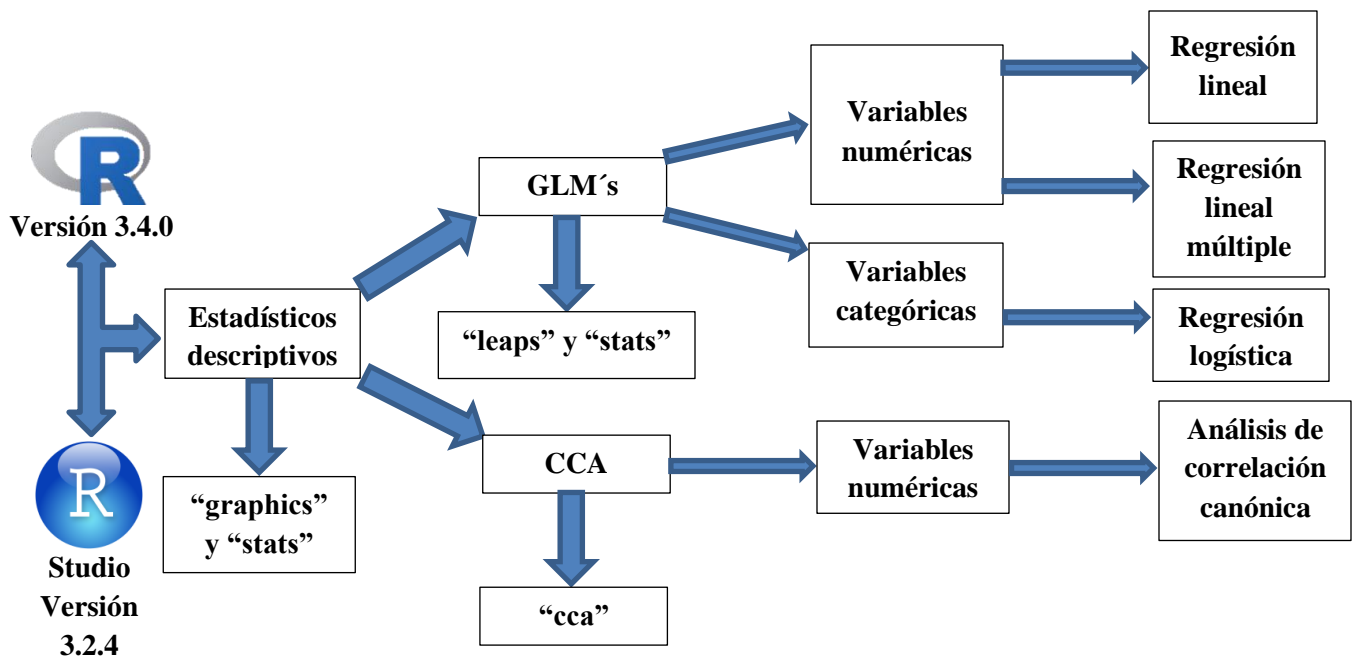


Figura 2. Diagrama de flujo que muestra los pasos que se siguieron para el procesamiento de los datos; los paquetes empleados en este estudio se muestran entre comillas.

Capítulo IV. Análisis de resultados

Resultados y discusión.

Uno de los principales pasos para empezar con los análisis fue observar el comportamiento observado entre las variables morfológicas y entre las variables abióticas. Con ello, se trató de establecer si se presentaba alometría (variables morfológicas), el cual se refiere a los cambios de dimensión relativa de las partes corporales correlacionadas con los cambios en el tamaño total (Gayon, 2000), o bien, problemas de colinealidad (variables abióticas).

Para los dos tipos de variables se obtuvieron matrices de diagrama de dispersión y coeficientes de correlación. En el caso de las variables abióticas, se observó una posible asociación entre las variables elevación, temperatura media anual (bio1) y temperatura estacional/desviación estándar*100 (bio4); también, la variable temperatura media anual

presentó una asociación con la temperatura estacional/desviación estándar*100, esta se puede observar en la **Figura 3**. Las relaciones anteriores representan un problema del análisis de regresión, denominado colinealidad, el cual consiste en que los predictores del modelo están relacionados, constituyendo una combinación lineal (González, E. L., 1998); si se utilizaran todas las variables que tuvieron alguna relación, los resultados en los GLM's no serían necesariamente verdaderos, ya que esta colinealidad puede dar como resultado una falsa asociación entre los factores abióticos y la morfometría. Por lo anterior, se eliminó la variable de elevación y bio4, ya que elevación presentaba asociación con dos de las variables. Se descartó bio4, que representa la temperatura estacional, y se decidió trabajar con bio1, la temperatura media anual, que es una medida que se ha probado tiene una relación con la morfología de las plantas (Wiemann, M. C., Manchester, S. R., Dilcher, D. L., Hinojosa, L. F., y Wheeler, E. A., 1998; Xu, F., Guo, W., Xu, W., Wei, Y., y Wang, R., 2009), y descartar bio4, que representaba la temperatura estacional. Al hacer este cambio, las variables predictoras nombradas en un principio como variables abióticas, ya que contenían la elevación, se renombraron como variables climáticas, esto para poder realizar los análisis de regresión propuestos.

Al eliminar las variables antes mencionadas, la correlación marcada que se observaba entre las variables predictoras se redujo, al igual que los valores de los coeficientes de correlación, esto se puede observar de manera más clara en la **Figura 4**.

En el caso de las variables morfométricas se observó en la **Figura 5** una posible asociación positiva entre las siguientes variables:

- Longitud del cáliz y longitud del lóbulo del cáliz.
- Ancho del pétalo y longitud de la antera.
- Longitud del pétalo y longitud de la antera.
- Longitud del pétalo y ancho del fruto.
- Longitud del pétalo y longitud del cáliz.
- Ancho del fruto y longitud de la antera.
- Ancho del fruto y longitud del cáliz.

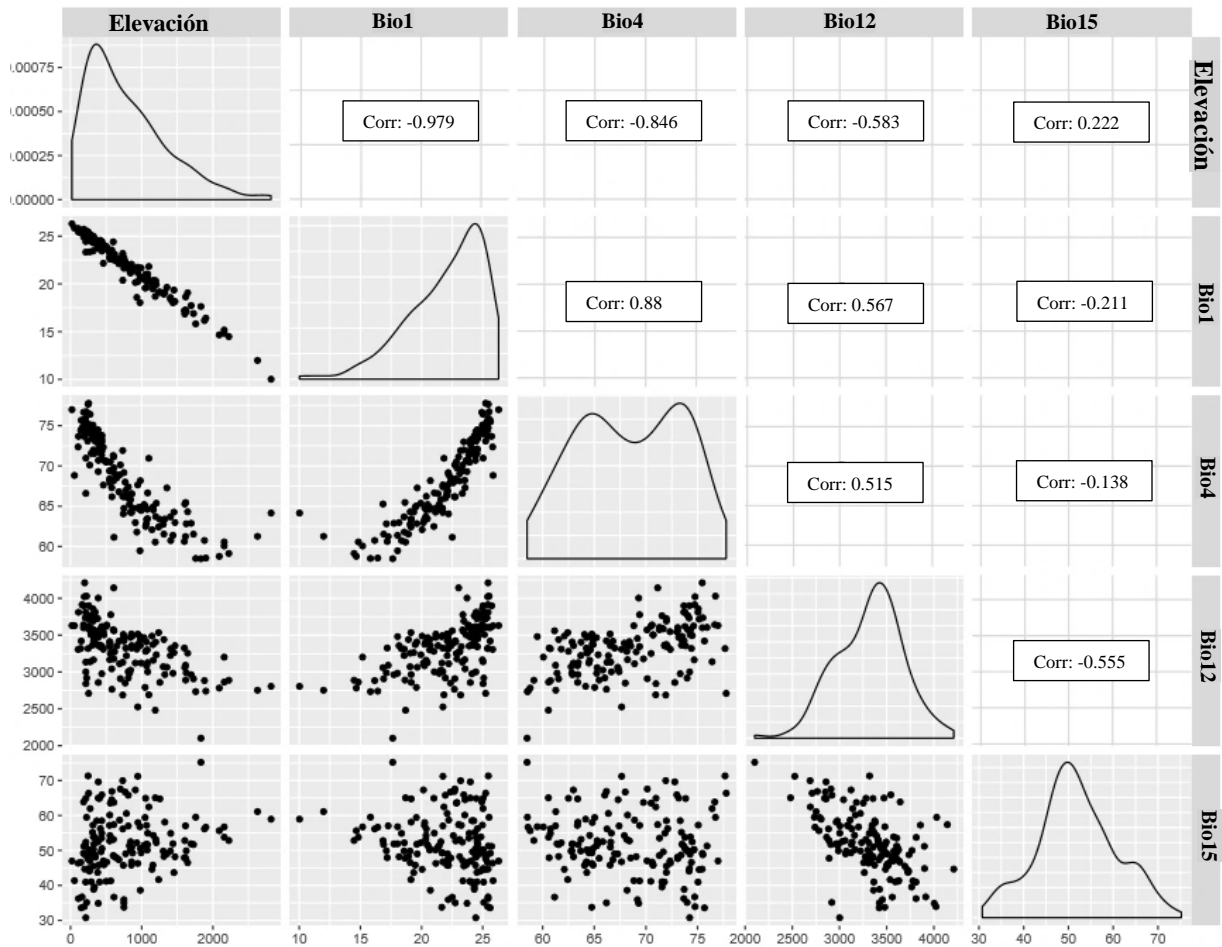


Figura 3. Matriz de correlación de las variables abióticas. Se observa que existe una posible correlación negativa entre bio1 (temperatura media anual) y bio4 (temperatura estacional/desviación estándar*100) con la elevación. Existe una posible correlación positiva entre la temperatura media anual y la temperatura estacional (desviación estándar*100). En el caso de la variable bio12 (precipitación anual), la posible correlación no es tan fuerte, mostrando que a medida que la elevación aumenta la precipitación anual disminuye.

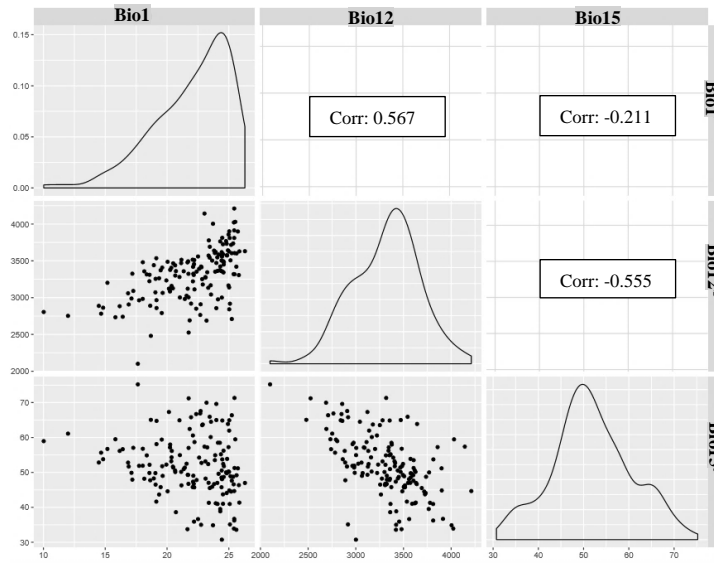
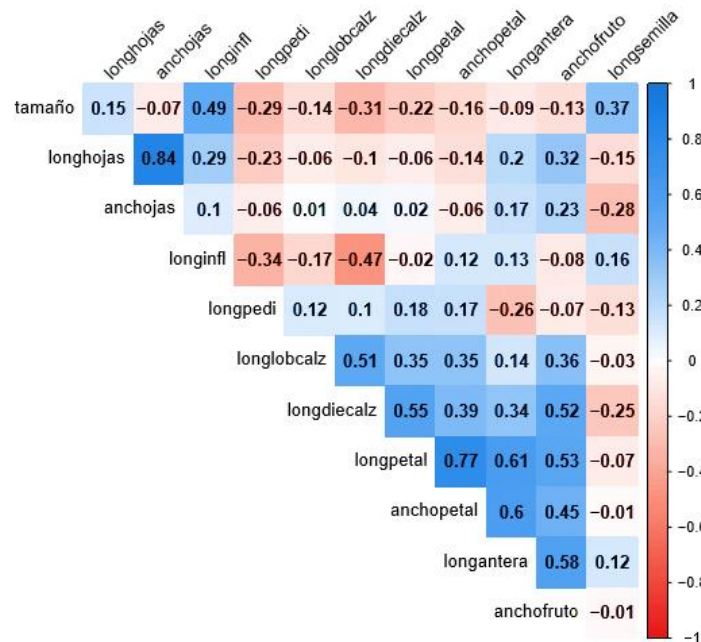


Figura 4. Matriz de correlación de las variables renombradas como variables climáticas. Al eliminar las variables, la correlación marcada que se observaba entre las variables predictoras se redujo. Los coeficientes de correlación no son mayores al 60% por lo que ya no consideramos el problema de colinealidad entre las variables predictoras.



→**Figura 5.** Coeficientes de correlación entre las variables morfométricas. El color azul representa las asociaciones positivas de las variables, mientras que el color rojo representa las asociaciones negativas. La intensidad del color representa qué tan fuerte es la asociación.

Esta relación concuerda con lo observado por Reginato y Michelangeli en 2016 en el estudio que realizaron con *Leandra s.str.*, que es uno de los géneros pertenecientes a Miconieae, en la cual encontraron que las estructuras florales se correlacionaban entre sí y con el diseño de la inflorescencia. Esto corresponde a un fenómeno denominado alometría el cual determina el crecimiento de una parte del organismo en relación con el organismo entero o alguna parte del mismo (Gayon, 2000).

Una vez que se observó el comportamiento de las variables y se modificaron, se procedió a correr cada uno de los GLM's propuestos, utilizando todas las variables morfométricas y las variables climáticas. Cada uno de los modelos dio como resultado la ausencia de relación entre las variables; es decir, no se encontró evidencia de que la diversidad morfológica de la tribu Miconieae se debiera a las condiciones climáticas encontradas en Costa Rica.

En el caso de la regresión lineal de cada una de las variables morfométricas continuas contra las variables climáticas, estas no mostraron relación alguna. Se evaluaron los coeficientes con un $P = 0.05$, ninguno mostro una relación significativa. Los valores de R^2 variaron entre el 0% y 15%.

En la regresión lineal múltiple se utilizó como herramienta el paquete leaps, el cual se basa en la Regresión Stepwise para hacer la selección de variables a incluir, ya que no necesariamente el modelo con más variables será el mejor.

Se corrieron los “mejores” modelos obtenidos por el paquete leaps. Los modelos que parecían significativos eran descartados por los valores de R^2 ajustado, que indicaban que la variabilidad se debía a las propias variables y no a que el modelo reflejara la relación de las variables morfométricas con las variables abióticas. Se evaluó con una $P = 0.05$ considerando valores mayores a 0.8 de R^2 ajustado (**Tabla 3**).

Variable respuesta.	Variabes predictoras.	Valor de P calculado.	R² ajustado.	Valor de P calculado del modelo.
**Longitud de la antera.	Bio1 Bio15	0.001378 0.000229	0.132	2.785x10 ⁻⁵
Longitud del diente del cáliz.	Bio1 Bio12 Bio15	0.2302 0.1759 0.0261	0.0262	0.08
Longitud de las hojas.	Bio1 Bio12	0.0000104 0.0588	0.24	1.758x10 ⁻¹¹
**Longitud de la inflorescencia.	Bio15	0.0358	0.03375	0.048
Longitud del glóbulo del cáliz.	Bio1 Bio15	0.544 0.766	-0.01079	0.49
**Longitud del pedicelo.	Bio1	5.60E ⁻⁰⁷	0.1533	1.5x10 ⁻⁹
Longitud del pétalo.	Bio15	0.121	0.0093	0.1208
Longitud de la semilla.	Bio1 Bio15	0.1220 0.0273	0.02752	0.017
**Tamaño.	Bio12 Bio15	0.000524 0.003296	0.07385	0.00122
Ancho del fruto.	Bio1	0.05748	0.02031	0.0516
Ancho de las hojas.	Bio1 Bio12	0.00205 0.23635	0.122	2.356x10 ⁻⁷
Ancho de los pétalos.	Bio15	0.0707	0.01677	0.076

Tabla 3. Resumen de valores de los modelos de regresión lineal múltiple. Se observan las variables seleccionadas por el paquete “leaps” y sus respectivos valores dentro del modelo, así como el valor calculado del modelo. ** Las variables muestran que son significativas al 1% o al 5%, sin embargo, aportan muy poco a la variabilidad del R².

Ya que la regresión logística evalúa variables dicotómicas para poder correr los modelos, se generaron variables Dummy con valores de 0 y 1, en el cual el 1 representa la presencia del carácter y el 0 es todo lo demás o la ausencia, según sea el caso (**Tabla 4**).

La variable de hábito debió ser reagrupada, debido a que los hábitos de hierba y epífita presentaban solo 4 y 3 observaciones respectivamente. En el caso de la raíz adventicia la regresión no arrojó información ya que solo una especie de la muestra presentaba ese carácter.

Variable morfológica	Variable dummy	
	0	1
Hábito	Otros	Árbol
	Otros	Arbusto
	Otros	Árbol pequeño
Raíz adventicia	Ausente	Presente
Hojas dimórficas	Ausente	Presente
Dimorfismo del estambre	Ausente	Presente

Tabla 4. Variables dummy generadas para correr la regresión logística.

Se corrió la regresión logística con cada una de las variables climáticas y después en conjunto con las variables que presentaban valores significativos en el modelo para ver si el conjunto de estas variables tenía una mayor asociación con la variable morfológica (**Tabla 5**). La asociación se evaluó con los valores de pseudo R^2 de Nagelkerke, ya que este se basa directamente en la verosimilitud y su rango de valores va de 0 a 1, por lo que puede interpretarse del mismo modo que el coeficiente de determinación de la regresión lineal clásica (Fernández, V. P., y Fernández, R. S. M., 2004). En este caso, para considerar que el modelo explicaba la posible asociación entre las variables, se tomaron valores arriba de 0.8, aunque ninguno de los modelos alcanzó valores arriba de 0.1.

Variable categórica	Step	Devianza	*Pseudo R ²
**Estambre dimórfico	1	-	0.059
	2- Precipitación anual	0.008430	
Hojas dimórficas	1	-	0.07
Hábito árbol	1	-	0.008
Hábito arbusto	1	-	0.01
Hábito árbol pequeño	1	-	0.008
	2- Precipitación estacional (coeficiente de variación)	0.0179441	
	3- Precipitación anual	1.2015871	

Tabla 5. Resumen de las salidas obtenidas en R de la regresión logística de las variables categóricas y las variables climáticas. En la columna step se observa los pasos, es decir, las variables que se eliminaron para obtener el “mejor” modelo. Cuando las variables eran igual de “buenas” o “malas” no se eliminaban del modelo y en la columna step aparece representado con un 1. *Valor de pseudo R² de Nagelkerke. ** En este caso nuevamente las variables muestran que son significativas al 1% o al 5%, sin embargo aportan muy poco a la variabilidad del R².

Para evaluar la correlación del conjunto de variables morfométricas (cuantitativas) con las variables abióticas se efectuó un CCA. Aquí se utilizaron todas las variables abióticas propuestas, ya que el fenómeno de colinealidad no afecta a este análisis; además, se evaluaría la mejor combinación de variables, tanto abióticas como morfométricas, para encontrar las condiciones abióticas necesarias para tener ciertas características morfométricas de las especies de Miconieae bajo estudio. Al correr el análisis de correlación canónica se encontró que las variables abióticas elevación, temperatura media anual (Bio1) y en menor medida la precipitación anual (Bio12), tenían un efecto significativo en la correlación 1, la cual consideraríamos la mejor combinación de las variables abióticas. Por otro lado, en el caso de las variables morfométricas, las variables

que mostraron tener un efecto significativo en la correlación 1 fueron longitud del lóbulo del cáliz, longitud del diente del cáliz y ancho del fruto; sin embargo, los coeficientes de correlación del modelo obtenido en el CCA fueron muy bajos, ya que el mejor modelo que correspondería a la dimensión 1 tenía un valor de 0.51. debido a esto, se encontraron correlaciones significativas (**Tabla 6-8**) entre las variables a un valor de 0.01 y 0.05, pero debido a los coeficientes de los modelos, que no aportaban a la variabilidad, se consideró que no había una correlación entre las variables, lo que confirma el resultado de los GLM's.

Coefficientes de correlación canónica de las variables				
Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3	Dimensión 4	Dimensión 5
0.51	0.45	0.31	0.26	0.15

Tabla 6. Coeficientes de correlación canónica. Los coeficientes se consideran muy bajos ya que se esperan valores por arriba de 0.8.

Coefficientes de correlación de X (abióticas)					
	Correlación 1	Correlación 2	Correlación 3	Correlación 4	Correlación 5
Elevación	2.00	2.75	1.27	-3.43	0.33
Bio 1	2.58	2.35	-0.06	-3.43	0.33
Bio 4	-0.21	0.92	0.90	1.35	-1.05
Bio 12	-1.02	-0.01	0.73	-0.64	0.42
Bio 15	-0.01	-0.44	0.89	-0.03	0.72

Tabla 7. Coeficientes de correlación de las variables abióticas. **Nota.** Las variables fueron estandarizadas para una mejor visualización e interpretación de los resultados.

Coefficiente de correlación de Y (morfométricas)					
	Correlación 1	Correlación 2	Correlación 3	Correlación 4	Correlación 5
Tamaño	0.64	-1.84	-0.06	-0.30	0.32
Long. Hojas	1.06	-1.03	0.93	-0.07	-0.87
Ancho hojas	1.11	0.90	-1.21	0.33	-0.62
Long. Inflorescencia	-0.57	-0.70	0.24	0.98	0.98
Long. Pedicelo	-0.71	-0.74	-1.79	-0.19	-0.68
*Long. Lóbulo del cáliz	-1.99	1.00	0.13	-0.37	0.94
*Long. Diente del cáliz	1.65	0.79	0.24	-0.67	0.31
Long. Pétalo	0.70	-0.14	0.67	0.39	-0.33
Ancho pétalo	-0.92	1.77	-0.15	1.31	-0.25
Long. Antera	-0.94	-0.28	0.62	-0.95	0.51
*Ancho fruto	1.58	0.28	-0.30	0.36	-0.25
Long. Semilla	-0.17	-0.42	-0.14	-0.97	-0.05
Hábito	-0.40	0.48	0.71	0.14	1.07
Hojas dimórficas	0.05	0.82	0.86	-0.24	-1.02
Estambre dimórfico	-0.86	-0.21	-1.04	0.04	-0.59
Raíz adventicia	0.97	-0.62	0.11	-0.26	0.84

→**Tabla 8.** Coeficientes de correlación de las variables morfométricas obtenidos del modelo de correlación canónica. **Nota.** Las variables fueron estandarizadas para una mejor visualización e interpretación de los resultados.

Se debe mencionar que la regresión es otro método que también se utiliza comúnmente en morfometría para explicar la variación de la forma con respecto a otra variable continua, como la temperatura, la ubicación geográfica (coordenadas), la talla, el peso o la edad (Zeldicht *et al.*, 2004).

La diversidad en la morfología de la familia Melastomataceae no ha sido completamente explorada ni descrita. Ocampo, G., Michelangeli, F.A. y Almeda, F. (2014) realizaron un estudio en semillas de diversas especies de la familia Melastomataceae, en el cual se descartó a la historia evolutiva como un factor que explique la diversidad morfológica de la tribu Miconieae. Lo anterior concuerda con la ausencia de alguna asociación significativa en *Leandra s.str.*, en el estudio realizado por Reginato, M. y Michelangeli, F.A. (2016), en donde evaluaron la correlación entre las estructuras florales, cambios, patrones convergentes y la asociación de estos rasgos con la elevación.

Existen estudios similares realizados con las hojas de plantas dicotiledóneas, en donde han encontrado que sí existe una relación fuerte entre la morfometría de la hoja y la temperatura media anual y, en menor medida, con la precipitación de temporada de crecimiento (Wiemann, M. C. *et al.*, 1998).

Conclusión

No se encontró evidencia que apoye una asociación entre los factores abióticos y la diversidad morfométrica de las especies de la tribu Miconieae de Costa Rica; ningún factor abiótico tuvo efecto significativo sobre la morfología de las plantas incluidas en este estudio. Los factores que dirigen la diversidad morfológica de la tribu siguen siendo un misterio y por el momento se sabe que la temperatura, la precipitación, la elevación y la historia evolutiva del grupo no explican la variación morfológica entre especies de Miconieae.

Los GLM's son un recurso que se ha utilizado en estudios similares para poder identificar las posibles asociaciones morfométricas con factores ambientales. Por lo anterior, no se puede descartar su uso como una herramienta para estudiar la morfología de otros grupos de plantas.

Se han aplicado análisis de correspondencias canónicas en otros trabajos para estudiar la relación de la morfología de las plantas con las condiciones climáticas. En particular, este tipo de herramientas han sido importantes para estimar las condiciones paleoclimáticas que predominaban en otros tiempos geológicos, las cuales se pueden deducir gracias a las características morfológicas presentes en fósiles de diversas plantas. Por lo anterior, con el CCA se esperaba encontrar una relación entre la morfología y factores abióticos, con lo cual podríamos predecir el comportamiento morfológico de las especies bajo estudio al estar expuesta a la variación de los factores climáticos. No obstante, al igual que con el uso de los GLM's, el CCA no arrojó algún resultado que explicara la diversidad morfológica de las especies de Miconieae.

Recomendaciones

Para dar un seguimiento al estudio se recomienda contar con la información morfométrica obtenida directamente de cada ejemplar. De esta forma, se conservará la variabilidad de cada individuo, ya que para este estudio se utilizó información proveniente de un tratado taxonómico, en el cual se describe a las especies y no siempre se contó con el valor máximo o el mínimo de las estructuras descritas, por lo que se utilizaron los promedios para evitar la pérdida de información. Asimismo, todas las plantas georreferenciadas no fueron necesariamente las plantas que fueron revisadas por el autor del tratado taxonómico.

Las herramientas estadísticas, tales como los GLM's y el CCA, son análisis que pueden ser de gran utilidad debido a la cantidad de variables que podemos introducir para evaluar el comportamiento de la morfología vegetal, tanto de variables numéricas como de las variables categóricas. Por lo anterior, se recomienda seguir utilizando estas herramientas, ya que son fáciles de aplicar e interpretar. Otra herramienta que se sugiere utilizar es la de análisis de conglomerados para verificar si existe una subagrupación razonable dentro de esta tribu que pueda arrojar mayor información.

También se sugiere tomar en cuenta otros factores que pueden estar relacionados con la diversidad en la morfología de las plantas, tales como la disponibilidad de luz recibida, polinización, la composición edáfica y concentración de nitrógeno, entre otros factores, así mismo utilizar las otras variables bioclimáticas obtenidas del portal de BioClim, ya que esta cuenta con 19 variables y en el estudio solo se utilizaron 3 que reportaban haber tenido relación con caracteres morfológicos de las plantas de otros grupos.

Referencias bibliográficas

- Albuquerque, L. B., Aquino, F. G., Costa, L. C., Miranda, Z. J., & Sousa, S. R. (2013). Especies de Melastomataceae Juss. con potencial para la restauración ecológica de la vegetación riparia del cerrado/savana. *Polibotánica*, (35), 1-19.
- Almeda, F. (2003). Melastomataceae, princess flowers. In: Goodman S, Benstead J, editors. *The Natural History of Madagascar*. Chicago: University of Chicago Press. pp. 375–379.
- Almeda, F. (2009). MELASTOMATACEAE Descripción de la familia y clave genérica. En Davidse, G., Sousas, M., Knapp, S., Chiang, F., (Ed.), *Flora Mesoamericana*, volumen 4, parte 1, CUCURBITACEAE a POLEMONIACEAE. (pp.164-337), México, D. F., México. UNAM.
- Audesirk, T., Audesirk, B., Byers, B.E. (2008). *Biología: La vida en la Tierra*. 8va.edición. México. Pearson. 1024 pp.
- Curtis, E., Barnes, S., Schenek, A. (2008). *Biología*. Ed. Médica Panamericana. 7ma. edición. 1160 pp.
- Fernández, V. P., y Fernández, R. S. M. (2004). Regresión logística multinomial. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (18).
- Gayon, J. (2000). History of the Concept of Allometry 1. *American Zoologist*, 40(5), 748-758.
- González, E. L. (1998). Tratamiento de la colinealidad en regresión múltiple. *Psicothema*, 10(2), 491-507.
- Goldenberg, R., Penneys, D.S., Almeda, F., Judd, W.S., & Michelangeli, F.A. (2008). Phylogeny of *Miconia* (Melastomataceae): patterns of stamen diversification in a megadiverse neotropical genus. *International Journal of Plant Sciences*, 169(7), 963-979.

- Hokche, D., Omaira y Ramírez, N. (2008). Sistemas reproductivos en especies de Melastomataceae en la gran sabana (estado Bolívar, Venezuela), *Acta Bot.Venez.* 31 (2):387-408.
- Martin, C.V., Little, D.P., Goldenberg, R., Michelangeli, F.A. (2008). A phylogenetic evaluation of *Leandra* (Miconieae, Melastomataceae): a polyphyletic genus where the seeds tell the story, not the petals. *Cladistics* 24: 315-327.
- Michelangeli, F.A., Penneys, D.S., Giza, J., Soltis, D., Hils, M.H., Skean, J.D. (2004). A preliminary phylogeny of the tribe Miconieae (Melastomataceae) based on nrITS sequence data and its implications on inflorescence position. *Taxon* 53: 279–290.
- Michelangeli, F.A., Judd, W.S., Penneys, D.S., Skean, J.D., Bécquer-Granados, E.R., Goldenberg, R., & Martin, C.V. (2008). Multiple events of dispersal and radiation of the tribe Miconieae (Melastomataceae) in the Caribbean. *The Botanical Review. (Lancaster)* 74(1): 53–77.
- Ocampo, G., Michelangeli, F.A., & Almeda, F. (2014) Seed Diversity in the Tribe Miconieae (Melastomataceae): Taxonomic, Systematic, and Evolutionary Implications. *PLoS ONE* 9(6): e100561. doi:10.1371/journal.pone.0100561
- Reginato, M., & Michelangeli, F. A. (2016). Untangling the phylogeny of *Leandra s. str.* (Melastomataceae, Miconieae), [Abstract]. *Molecular phylogenetics and evolution*, 96, 17-32.
- Wiemann, M. C., Manchester, S. R., Dilcher, D. L., Hinojosa, L. F., & Wheeler, E. A. (1998). Estimation of temperature and precipitation from morphological characters of dicotyledonous leaves. *American Journal of Botany*, 85(12), 1796-1802.
- Wurdack J.J., Renner, S.S. y Morley, T. (1993) Melastomataceae. In: Görts van Rijn, A.R.A. (Ed.) *Flora of the Guianas*. No. 13. Koeltz Scientific Books, Koenigstein, pp. 1–425.
- Xu, F., Guo, W., Xu, W., Wei, Y., & Wang, R. (2009). Leaf morphology correlates with water and light availability: What consequences for simple and compound leaves? *Progress in Natural Science*, 19(12), 1789-1798.

Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., & Sheets, H. D. (2012). Geometric morphometrics for biologists: a primer. Academic Press.

Hábito



Clidemia radicans. Hierba

Foto de Federico Oviedo-Brenes.



Clidemia epiphytica. Epífita.

Foto de R. Kriebel.



Miconia affinis. Árbol.

Foto de Shalene Jha.



Miconia lacera. Arbusto

Foto de R. Aguilar



Conostegia xalapensis. Árbol pequeño

Foto de Jindřiška Vančurová

Hojas



Tococa platyphylla. L: Longitud de la hoja. A: Ancho de la hoja.

Foto de F. Almeda.



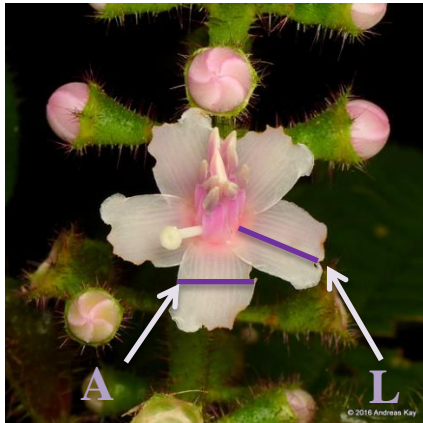
Tococa guianensis. Hojas dimórficas.

Foto de The New York Botanical Garden.

Flores



Miconia ampla. Dimorfismo del estambre.
Foto de Reinaldo Aguilar.



Tococa guianensis. A: ancho del pétalo. L: longitud del pétalo.
Foto de Andreas Kay.



Ossaea elliptica L: longitud de las anteras.
Foto de F.A. Michelangeli.

Inflorescencia

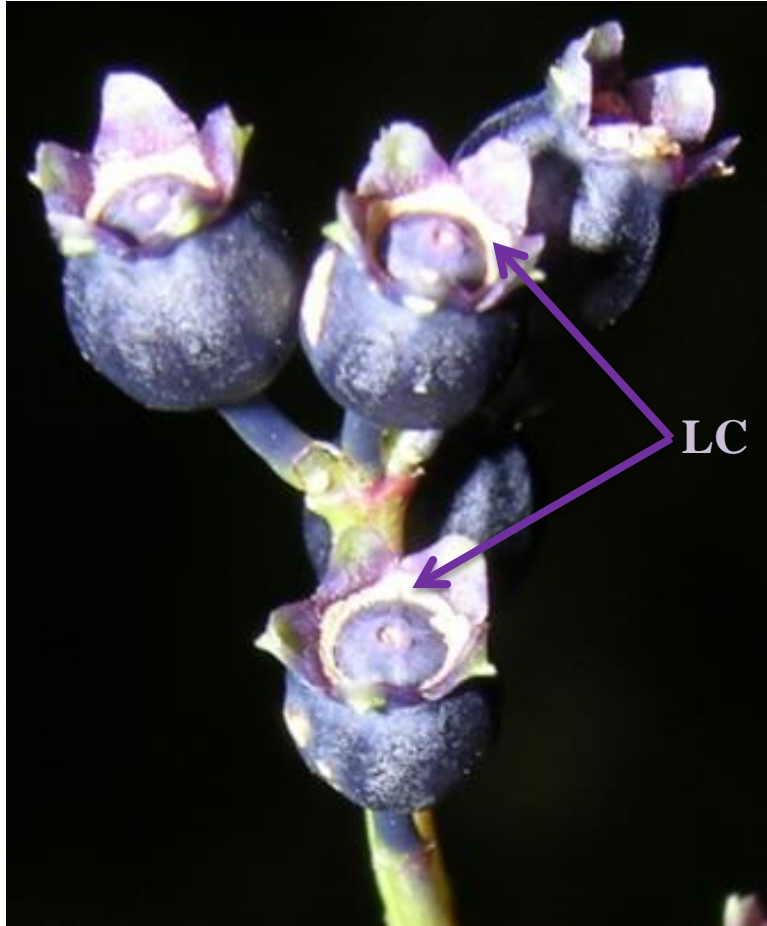


Miconia mirabilis. Longitud del pedicelo.
Foto de F.A. Michelangeli.

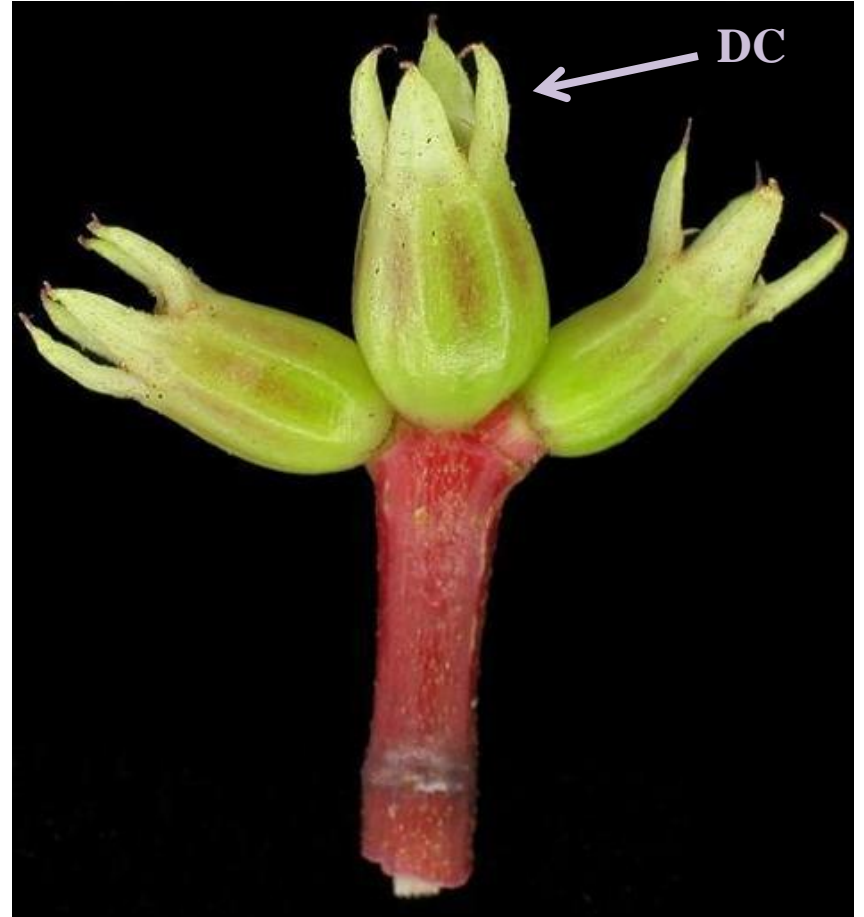


Tococa guianensis. Longitud de la inflorescencia.
Foto de Juvenal Batista.

Cáliz

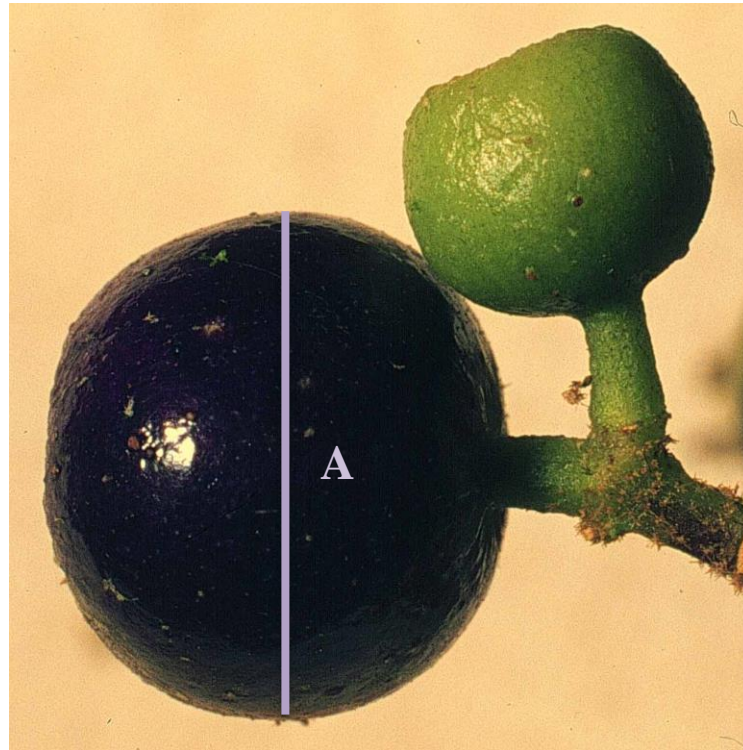


Miconia longibracteata.
LC: Lóbulo del cáliz.
Foto de R. Kriebel.



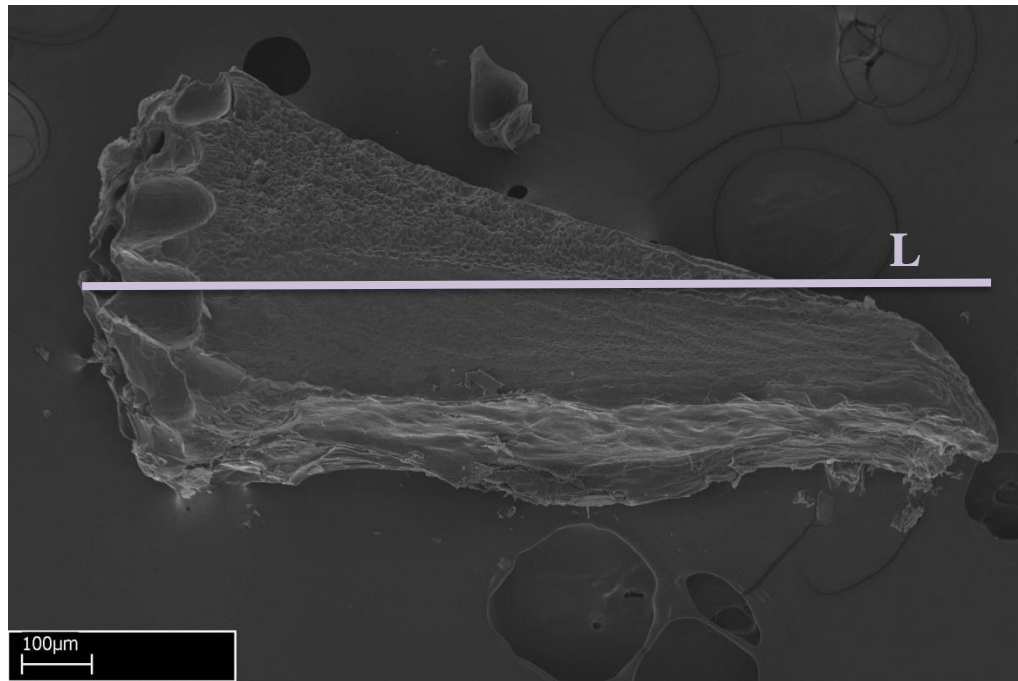
Miconia lateriflora.
DC: Dientes del cáliz.
Foto de Steven Paton.

Fruto



Conostegia micrantha. A: Ancho del fruto.
Foto de R. Espinoza.

Semilla



***Miconia mirabilis*. L: Longitud de la semilla.**

Foto de Gilberto Ocampo Acosta.

Glosario. Obtenido de (Audesirk, T., Audesirk, B., Byers, B.E. 2008; Curtis, E., Barnes, S., Schenek, A. 2008).

Análisis filogenéticos: estudio que estima las relaciones evolutivas entre los organismos.

Antera: en las flores, aquella porción que lleva el polen en un estambre.

Bosques primarios: un bosque intacto (u original) que no ha sido explotado, fragmentado, o influido directa o indirectamente por el hombre.

Cáliz: verticilo floral formado por los sépalos.

Corola: conjunto de pétalos que constituyen el verticilo interior del perianto.

Dimorfismo: presencia de diferencias de forma, tamaño, color, etc., entre seres vivos de una misma especie.

Epífitas: grupo de plantas que, por diversas razones, han abandonado el hábito terrestre y se han adaptado a vivir sobre otras plantas para obtener los recursos que necesitan para desarrollarse.

Especies: la unidad básica de la clasificación taxonómica consistente en una población o una serie de poblaciones de organismos estrechamente relacionados y similares.

Factores abióticos: distintos componentes que determinan el espacio físico en el cual habitan los seres vivos; entre los más importantes podemos encontrar: el agua, la temperatura, la luz, el pH, el suelo, la humedad, el oxígeno y los nutrientes.

Hábitat: lugar en el que pueden encontrarse habitualmente los individuos de una especie determinada.

Hábitat perturbado: suceso discreto en el tiempo (puntual, no habitual) que altera la estructura de los ecosistemas, de las comunidades o de las poblaciones y cambia los recursos, la disponibilidad de hábitats aptos y/o el medio físico.

Hemiepífitas: plantas que se caracterizan por manifestar, a lo largo de su ciclo de vida, una asociación a dos sustratos de crecimiento potencialmente contrastantes (forofito y/o suelo).

Homoplástico: presencia de una característica en varias especies que no está presente en su antecesor más cercano. Puede resultar de una convergencia evolutiva, una evolución paralela o de una reversión evolutiva.

Monofilético: dicese de un grupo de organismos que contiene a todos los descendientes conocidos de una especie ancestral.

Pedículo: el tallo que une cada flor al eje de la inflorescencia.

Plántulas: al estadio del desarrollo del esporófito que comienza cuando la semilla rompe su dormancia y germina y termina cuando el esporofito desarrolla sus primeras hojas no cotiledonares maduras, es decir, funcionales.

Raíz adventicia: raíces que se originan a partir de células no meristemáticas; por lo general éstas pueden surgir de los tallos. Las raíces adventicias pueden desempeñar la función de sostén y absorben sustancias.

Sucesión: proceso gradual por el cual cambia la composición de especies en una comunidad.

Tribu: Subcategoría de una familia en la escala de clasificación taxonómica que consiste en un grupo compuesto de géneros.