

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia  
Programa Experiencias Docentes con la Comunidad  
Subprograma Biología

**INFORME FINAL DE DOCENCIA, SERVICIO, INVESTIGACIÓN  
HERBARIO BIGU  
PERIODO DE REALIZACION  
ENERO 2017 – ENERO 2018**

Alexei Morán  
Profesor supervisor de EDC: Lic. Billy Alquijay  
Asesor institucional: Ing. Mario Véliz

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	3
II.	RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES DE LA EXPERIENCIA DOCENTE CON LA COMUNIDAD (EDC).....	4
III.	ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE LA PRÁCTICA DEL EDC .....	4
	a) Actividades de servicio.....	4
	b) Actividades de docencia.....	6
IV.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	7
	ÍNDICE INVESTIGACIÓN.....	10
I.	RESUMEN .....	11
II.	INTRODUCCIÓN.....	11
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
IV.	JUSTIFICACIÓN.....	12
V.	REFERENTE TEÓRICO.....	13
	a) Descripción de <i>Cyathea Sm.</i> .....	13
	b) Problemática para identificación taxonómica de <i>Cyathea Sm.</i> .....	13
	c) Morfología foliar .....	13
	d) Morfometría geométrica .....	13
VI.	OBJETIVOS .....	14
	General .....	14
	Específicos .....	14
VII.	HIPÓTESIS .....	14
VIII.	METODOLOGÍA.....	15
	a) DISEÑO.....	15
	Población .....	15
	Muestra .....	15
	b) TÉCNICAS USADAS EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN .....	15
	Material de estudio y toma de muestras .....	15
	Toma de los datos morfométricos .....	15
	Caracterización de la forma de la venación de la pinna e identificación de las especies.....	16
IX.	RESULTADOS.....	16
X.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	19
XI.	CONCLUSIONES.....	19

<b>XII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>19</b>
<b>XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>20</b>
<b>XIV. ANEXOS.....</b>	<b>23</b>
Anexo 1. Ficha técnica de la investigación .....	23
Anexo 2. Sinonimias dentro del género <i>Cyathea</i> Sm.....	24

## **I. INTRODUCCIÓN**

El Herbario BIGU, de la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tienen por misión contribuir al conocimiento de la flora de Guatemala a través del estudio taxonómico de las especies, su distribución, las comunidades vegetales, el uso de las plantas, colecciones de herbario y la capacitación a estudiantes, docentes y profesionales (BIGU, 2017).

Esta unidad de investigación es la encargada de ejecutar proyectos de carácter nacional, base para comprender la diversidad florística, comunidades y su distribución en Guatemala. Apoya investigaciones de EDC, EPS, tesis de grado y posgrado de diversas unidades de la USAC, brinda capacitación taxonómica a estudiantes, docentes e investigadores nacionales e internacionales que consultan su colección sobre diversidad florística ya registrada de Guatemala y Mesoamérica. Provee servicio y extensión a través de la sección de herborización y cuarentena. Documenta la diversidad florística con colecciones de herbario. También colabora con el mapeo de la vegetación por unidades fisiográficas, cuencas, municipios y departamentos; realiza diagnósticos de la vegetación; colabora en cursos de las carreras de Biología y Química Farmacéutica (BIGU, 2017).

Es por ello que se escogió dicha Unidad para la realización del Ejercicio Docente con la Comunidad (EDC), a fin de poder participar activamente de las actividades que el Herbario BIGU realiza para contribuir a la ciencia y las políticas ambientales del país promoviendo el conocimiento y valoración de la diversidad biológica y sus componentes (ecosistemas, especies y genes); así como la sistematización e integración del conocimiento científico. Se ejercitaron herramientas y metodologías para la investigación y categorización de información sobre la diversidad florística en todos sus ámbitos, con lo cual es posible impulsar el desarrollo de las ciencias de la vida y ciencias asociadas a la misma, sus aplicaciones y divulgación. Todo ello por medio de la documentación de la flora del país con información fidedigna.

Cabe aclarar que también se realizaron veinte horas de servicio en las colecciones malacológicas e ictiológicas del Museo de Historia Natural (MUSHNAT) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## II. RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES DE LA EXPERIENCIA DOCENTE CON LA COMUNIDAD (EDC)

**Cuadro 1. Resumen de las actividades del EDC**

Actividad		Fecha de la actividad	Horas EDC ejecutadas
<b>A. Servicio</b>			
1	Mantenimiento de la colección ictiológica (MUSHNAT)	Enero-Febrero	16
2	Elección de ejemplares para actividad de divulgación educativa (MUSHNAT)	Enero-Febrero	3
3	Traslado parcial de la colección ictiológica (MUSHNAT)	Enero-Febrero	1
4	Ordenamiento de colección de líquenes (BIGU)	Febrero	4
5	Inventariado de ejemplares de herbario (BIGU)	Febrero-Mayo	6
6	Montaje y etiquetado de ejemplares (BIGU)	Febrero - Julio	273
7	Intercalado de ejemplares de herbario (BIGU)	Febrero-Mayo	19
8	Habilitación de equipo para el procesamiento de datos digitales (BIGU)	Febrero	3
9	Digitalización de ejemplares de herbario (BIGU/USCG)	Febrero-Mayo	52
10	Elaboración de manual de herbario (BIGU)	Abril-Mayo	30
<b>Total Servicio</b>			<b>407</b>
<b>B. Docencia</b>			
1	Capacitación en la utilización del programa <i>Specify</i> para colecciones científicas	Febrero	5
2	Apoyo en la capacitación de protocolos básicos de herbario (BIGU)	Febrero – Mayo	3
3	Sistemática y distribución de <i>Pinophyta</i> y <i>Magnoliophyta</i> de Guatemala (BIGU)	Febrero – Noviembre	156
<b>Total Docencia</b>			<b>164</b>
<b>TOTAL Servicio + Docencia</b>			<b>571</b>

## III. ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE LA PRÁCTICA DEL EDC

### a) Actividades de servicio

**Actividad 1:** Mantenimiento de la colección ictiológica (MUSHNAT)

**Objetivos:** preservar los especímenes de la colección ictiológica albergados en el MUSHNAT

**Descripción:** cambio de etanol para los especímenes, así como limpieza profunda de los contenedores.

**Resultados:** 225 contenedores limpios y con etanol nuevo. Media de ejemplares por contenedor 22.

**Limitaciones o dificultades presentadas:** ninguna.

**Actividad 2:** Elección de ejemplares para actividad de divulgación educativa (MUSHNAT)

**Objetivos:** seleccionar especímenes de la colección ictiológica para actividad “*De Darwin a Dary*”.

**Descripción:** se procedió a la elección de especímenes de la colección ictiológica para la actividad educativa “*De Darwin a Dary*”. Estos ejemplares se escogieron teniendo en cuenta su representatividad de la región y su rareza.

**Resultados:** 60 ejemplares revisados, 20 ejemplares seleccionados.

**Limitaciones o dificultades presentadas:** ninguna.

**Actividad 3:** Traslado parcial de la colección ictiológica (MUSHNAT)

**Objetivos:** trasladar la colección ictiológica albergada en el MUSHNAT.

**Descripción:** debido al cambio inminente del techo del recinto que alberga la colección en líquido del MUSHNAT esta debe trasladarse temporalmente a otro recinto.

**Resultados:** traslado de 225 contendores y su estantería a recinto temporal.

**Limitaciones o dificultades presentadas:** ninguna

**Actividad 4:** Ordenamiento de colección de líquenes (BIGU)

**Objetivos:** Ordenar alfabéticamente la colección de líquenes albergada en el BIGU.

**Descripción:** se apoyó en el ordenamiento alfabético de los ejemplares de la colección de líquenes del BIGU

**Resultados:** toda la colección de líquenes adecuadamente ordenada.

**Limitaciones o dificultades presentadas:** ninguna.

**Actividad 5:** Inventariado de ejemplares de herbario (BIGU)

**Objetivos:** Inventariar los ejemplares de la colección.

**Descripción:** se registró de manera manual cada uno de los ejemplares que han de ingresar a la colección del BIGU, para lo cual se les asignó un número único de identificación el cual quedó escrito tanto en el libro de actas como en el ejemplar.

**Resultados:** ejemplares de herbario debidamente inventariados.

**Limitaciones o dificultades presentadas:** ninguna.

**Actividad 6:** Montaje y etiquetado de ejemplares de herbario (BIGU)

**Objetivos:** preparar adecuadamente los ejemplares de herbario para su ingreso en la colección de referencia del BIGU.

**Descripción:** sobre un formato de papel texcote C14 de 23.5 x 42.5 cm se pega el espécimen herborizado, tratando que el mismo quede de una manera natural y estética, luego se coloca la etiqueta en la parte inferior derecha del formato. En dicha etiqueta está descrita toda la información del espécimen. Las replicas de cada planta se separan con sus respectivas etiquetas para que puedan formar parte de los grupos de especímenes de intercambio con otros herbarios.

**Resultados:** enriquecimiento de la colección de referencia del herbario BIGU.

**Limitaciones o dificultades presentadas:** ninguna.

**Actividad 7:** Intercalado de ejemplares de herbario (BIGU)

**Objetivos:** depositar en su sitio adecuado los ejemplares de herbario.

**Descripción:** los ejemplares de herbario se ordenan según un arreglo filogenético, basado en Cronquist, en los diferentes armarios que existen para su uso.

**Resultados:** ejemplares de herbario correctamente colocados en su lugar.

**Limitaciones o dificultades presentadas:** ninguna.

**Actividad 8:** Habilitación de equipo para el procesamiento de datos digitales (BIGU)

**Objetivos:** habilitar equipo para el procesamiento de datos.

**Descripción:** se habilitó el equipo de informática ya presente en el BIGU el cual consta de CPU, monitor, teclado, mouse, impresora laser y escáner.

**Resultados:** equipo para el procesamiento de datos digitales habilitado completamente funcional.

**Limitaciones o dificultades presentadas:** ninguna.

**Actividad 9:** Digitalización de ejemplares de herbario (BIGU/USCG)

**Objetivos:** Digitalizar los ejemplares de la colección de herbario.

**Descripción:** se digitalizó los ejemplares de la colección botánica de herbario correspondiente a la familia Cyatheaceae.

**Resultados:** totalidad de los ejemplares de la colección botánica de herbario correspondiente a la familia Cyatheaceae completamente digitalizados.

**Limitaciones o dificultades presentadas:** ninguna.

**Actividad 10:** Manual de herbario (BIGU)

**Objetivos:** elaborar un borrador para el manual de herbario.

**Descripción:** se elaboró un borrador para el manual de herbario, el cual se dirige a estudiantes y público interesado. Dicho manual abarca las nociones básicas de los protocolos básicos del herbario BIGU en cuanto a colecta y preservación de ejemplares.

**Resultados:** borrador de manual de herbario terminado y entregado.

**Limitaciones o dificultades presentadas:** ninguna.

## **b) Actividades de docencia**

**Actividad 1:** Capacitación en la utilización del programa *Specify* para colecciones científicas (MUSHNAT).

**Objetivos:** comprender y manejar los lineamientos básicos de la implementación del programa *Specify*.

**Descripción:** el programa *Specify* brinda un soporte digital robusto para las colecciones científicas de referencia en diversas partes del mundo. Está diseñada específicamente para dicho tipo de colecciones cubriendo y estandarizando las necesidades básicas de las mismas. Poniendo a disposición de investigadores, estudiantes, docentes y público interesado las bases de datos científicas de manera abierta y gratuita.

**Resultados:** capacitación completa de los protocolos básicos para la utilización de esta plataforma informática. Comprensión de los derechos y obligaciones que conlleva su utilización.

**Limitaciones o dificultades presentadas:** ninguna.

**Actividad 2:** Apoyo en la capacitación de protocolos básicos de herbario (BIGU).

**Objetivos:** apoyar al herbario BIGU en la capacitación de protocolos básicos de una colección botánica científica.

**Descripción:** explicación a estudiantes del curso de Botánica II de la Escuela de Biología acerca de los fundamentos de la herborización, montaje e intercalado de ejemplares botánicos para que éstos sean aceptados en una colección botánica científica de referencia.

**Resultados:** estudiantes del curso de Botánica II de la Escuela de Biología capacitados en los fundamentos básicos de protocolo de herbario.

**Limitaciones o dificultades presentadas:** ninguna.

**Actividad 3:** Sistemática y distribución de *Pinophyta* y *Magnoliophyta* de Guatemala (BIGU)

**Objetivos:** Capacitarse en taxonomía y distribución de *Magnoliophyta* y *Pinophyta* de Guatemala

**Descripción:** teoría y práctica en cuanto a la sistemática y distribución de *Magnoliophyta* y *Pinophyta* de Guatemala.

**Resultados:** Comprensión total de los conceptos básicos para las relaciones filogenéticas de las plantas con flor, los sistemas de clasificación y la descripción y tipos básicos de las partes básicas de las plantas. Capacitado en la utilización de claves taxonómicas para la determinación de especies vegetales presentes en el país.

**Limitaciones o dificultades presentadas:** ninguna.

#### IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaraz, F., Clemente, M., & Álvarez, R. (1999). Fundamentos de la clasificación de la vegetación. En *Manual de teoría y práctica de geobotánica* (págs. 71-87). Murcia: ICE Universidad de Murcia.

Arnelas, I., Invernón, V., de la Estrella, M., López, E., & Devesa, J. (2012). Herbario. *Reduca*, 5 (2), 15-24.

Ayala, H. (1999). *Conservando los recursos genéticos de Guatemala*. Guatemala: CONAMA.

Azurdia Pérez, C. (1989). Flora de Guatemala: riqueza y extinción. *Tikalía*, 31-48.

Bailey, J. (Ed.). (2003). *The facts on file dictionary of botany*. New York: Checkmark Books.

Bailey, L. (2010). APG. En *Cultivated plants* (págs. 322-383). New York: Macmillan Publishing.

Bermúdez, M., & Sánchez, J. (2000). *Identificación de vacíos de información botánica en Centroamérica*. Heredia: WWF.

BIGU. (16 de Abril de 2015). Catalogo físico de la colección de herbario. Guatemala.

BIGU. (2009). *Herbario BIGU*. Obtenido de <http://www.bigu.260mb.com/>

Cascante, A. (2008). *Guía para la recolecta y preparación de muestras botánicas*. San José: Museo Nacional de Costa Rica.

Castañeda, C. (2008). Diversidad de ecosistemas en Guatemala. En *Guatemala y su biodiversidad* (págs. 181-225). Guatemala: CONAP.

CONAP. (2011). *Política nacional de diversidad biológica, acuerdo gubernativo 220-2011*. Guatemala: CONAP.

Crisci, J., & López, M. (2001). *Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica*. México D.F.: OEA.

Cronquist, A. (1981). *An integrated system of classification of flowering plants*. New York: Columbia University Press.

Escuela de Biología. (2009). *Diversidad vegetal*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.

Font Quer, P. (2001). *Diccionario de botánica*. Barcelona: Ediciones Península.

Gall, F. (1983). *Diccionario geográfico de Guatemala*. Guatemala: IGN.



González, A. (2008). Métodos de recolección de especies amenazadas y conservación. En IUCN (Ed.), *The botanic gardens conservation strategy* (págs. 107-130). Washington: The IUCN Botanic Garden Conservation Secretariat Gland.

González, M. (2005). Anexo 7: guía de colecta. En *Guía breve para la recolección de ejemplares de herbario* (págs. 18-23). México D.F.: Proyecto Global de Maíces Nativos.

Guerrero, P. (2009). Manejo de cactáceas. En *Lineamientos para un plan de gestión del sitio priorizado Estepa Jeinimeni-Lagunas de Bahía Jara* (págs. 21-26). Santiago de Chile: Universidad de Chile.

INAB. (2001). *Ecosistemas vegetales de Guatemala*. Guatemala: INAB-BM.

INBIO. (2009). *Protocolo de manejo de colecciones de hongos*. San José: Instituto Nacional de Biodiversidad.

INBIO. (2006). *Protocolo de manejo de colecciones de plantas vasculares*. Heredia: Instituto Nacional de Biodiversidad.

IUCN. (2003). *Guidelines for application of IUCN red list criteria at regional levels*. Cambridge: IUCN.

Lot, A., & Chiang, F. (1986). *Manual de herbario*. México D.F.: Consejo Nacional de la Flora de México A.C.

Missouri Botanical Garden. (2017). *Tropicos*. Obtenido de <http://www.tropicos.org>

Moreno, N. (1984). *Glosario botánico ilustrado*. México D.F.: Compañía Editorial Continental.

ONU. (2015). *Objetivos de desarrollo del milenio*. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas.

ONU. (2016). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas.

Sánchez, A., & Ledesma, M. (2004). Técnicas de recolección de plantas. En L. Aguirre (Ed.), *Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos* (págs. 123-133). México D.F.: Consejo Nacional de la Flora de México.

Simmons, J., & Muñoz, Y. (2005). *Cuidado, manejo y conservación de las colecciones biológicas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Véliz, M. (2008). Diversidad florística de Guatemala. En *Guatemala y su biodiversidad* (págs. 261-291). Guatemala: CONAP.

Véliz, M. (2017). *Sistemática y distribución de Pinophyta y Magnoliophyta de Guatemala: Manual del curso*. Guatemala: BIGU.

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia  
Programa Experiencias Docentes con la Comunidad  
Subprograma Biología

**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**  
**VARIABILIDAD INTER ESPECÍFICA EN LA MORFOLOGÍA VENAL FOLIAR DE LAS ESPECIES DE *Cyathea* Sm.**  
**(CYATHEACEAE) PRESENTES EN GUATEMALA**  
**HERBARIO BIGU**  
**PERIODO DE REALIZACION**  
**ENERO 2017 – ENERO 2018**

Alexei Morán

## ÍNDICE INVESTIGACIÓN

I.	RESUMEN .....	11
II.	INTRODUCCIÓN.....	11
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
IV.	JUSTIFICACIÓN.....	12
V.	REFERENTE TEÓRICO.....	13
	a) Descripción de <i>Cyathea</i> Sm. ....	13
	b) Problemática para identificación taxonómica de <i>Cyathea</i> Sm. ....	13
	c) Morfología foliar .....	13
	d) Morfometría geométrica .....	13
VI.	OBJETIVOS .....	14
	General.....	14
	Específicos .....	14
VII.	HIPÓTESIS .....	14
VIII.	METODOLOGÍA.....	15
	a) DISEÑO.....	15
	Población .....	15
	Muestra .....	15
	b) TÉCNICAS USADAS EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN .....	15
	Material de estudio y toma de muestras .....	15
	Toma de los datos morfométricos .....	15
	Caracterización de la forma de la venación de la pinna e identificación de las especies.....	16
IX.	RESULTADOS.....	16
X.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	19
XI.	CONCLUSIONES.....	19
XII.	RECOMENDACIONES .....	19
XIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
XIV.	ANEXOS.....	23
	Anexo 1. Ficha técnica de la investigación .....	23
	Anexo 2. Sinonimias dentro del género <i>Cyathea</i> Sm.....	24

## I. RESUMEN

En Guatemala se encuentran helechos arborescentes de los géneros *Cyathea*, *Dicksonia*, *Alsophila* y *Sphaeropteris*. Estas especies, típicas de bosques nubosos y selvas húmedas, están incluidas dentro del Apéndice II de CITES y posiblemente sean las especies de helechos con mayores amenazas por la presión humana, ya que de ellas se obtienen fibras para la preparación de artesanías, la construcción y el uso ornamental (Véliz M. , 2008). El género *Cyathea* Sm. está representado en Guatemala por nueve especies: *C. bicrenata* Liebm.; *C. costaricensis* (Mett. ex. Kuhn) Domin.; *C. divergens* var. *tuerckheimii* (J.F. Gmel.) R.M. Tryon; *C. fulva* (M. Martens et. Galeotti) Fée; *C. microdonta* (Desv.) domin.; *C. multiflora* Sm.; *C. myosuroides* (Liebm.) Domin.; *C. schiedeana* (Schltdl. ex. C. Presl.) Hieron; y *C. godmanii* Domin (Véliz & Vargas, 2006).

La identificación taxonómica de las especies del género *Cyathea* Sm presenta muchas dificultades debido a a que presentan rasgos muy similares. En este estudio se analizó la venación foliar de las nueve especies del género *Cyathea* Sm. descritas para Guatemala, con el fin de poder distinguirlas utilizando dicho rasgo. Se utilizaron un total de 217 ejemplares provenientes de los herbarios BIGU y USCG, los cuales fueron digitalizados para luego ser analizados con el paquete Geomorph de programa R.

No fue posible discriminar las especies con esta metodología, pues la venación foliar de las mismas no se encuentra ligada a su identidad taxonómica, más bien parece deberse a condiciones ambientales a las que cada individuo responde. Pero esto último no se comprobó en el presente estudio.

## II. INTRODUCCIÓN

Los helechos arborescentes de la familia Cyatheaceae son conocidos por sus peculiares frondas. Es el segundo linaje de helechos vivientes más antiguo dentro de las Monilophyta. Presentan amplia distribución geográfica y pronunciados endemismos locales. Ésta familia está compuesta por cerca de 700 especies en todo el mundo, distribuidos en bosques tropicales y subtropicales lluviosos, regiones cálidas, montañas y alpinas. Desde tierras bajas húmedas hasta elevaciones medias. Algunas especies únicamente se encuentran en áreas de alta montaña a elevaciones superiores a los 3500 msnm. Muchas de las especies de la familia Cyatheaceae poseen escamas, cáudice masivo, erecto, grueso no ramificado y arborescente. Usualmente tiene hojas grandes (aproximadamente 5 m), de lámina bipinada – tripinatifida, venación libre del margen, simple o bifurcada. Indusio o exoindusio aparentemente en el ápice o en la superficie de la vena. Esporas tetraédricas, triletes, no perinados, exina suave o granulosa (Brownsey & Perrie, 2015).

En Guatemala se encuentran helechos arborescentes de los géneros *Cyathea*, *Dicksonia*, *Alsophila* y *Sphaeropteris*. Estas especies, típicas de bosques nubosos y selvas húmedas, están incluidas dentro del Apéndice II de CITES y posiblemente sean las especies de helechos con mayores amenazas por la presión humana, ya que de ellas se obtienen fibras para la preparación de artesanías, la construcción y el uso ornamental (Véliz M. , 2008). El género *Cyathea* Sm. está representado en Guatemala por nueve especies: *C. bicrenata* Liebm.; *C. costaricensis* (Mett. ex. Kuhn) Domin.; *C. divergens* var. *tuerckheimii* (J.F. Gmel.) R.M. Tryon; *C. fulva* (M. Martens et. Galeotti) Fée; *C. microdonta* (Desv.) domin.; *C. multiflora* Sm.; *C. myosuroides* (Liebm.) Domin.; *C. schiedeana* (Schltdl. ex. C. Presl.) Hieron; y *C. godmanii* Domin (Véliz & Vargas, 2006).

Debido a sus características ecológicas los helechos resultan ser muy apropiados como especies indicadoras del cambio ambiental y de diversidad biológica. Estas cualidades son útiles para el planteamiento de estudios sobre el manejo de los recursos naturales (Jiménez, 2009). Para ello es necesario conocer la identidad taxonómica de los individuos, algo que en muchas ocasiones se dificulta debido al material fragmentado con el

que se cuenta. Por lo que se propone una discriminación entre individuos por medio de las venas de sus frondes utilizando la técnica de morfometría geométrica.

La morfometría es el estudio de la covariación de la forma con factores subyacentes. Su desarrollo en las últimas décadas ha alcanzado áreas de la biología tradicionalmente dedicadas al estudio descriptivo, como las ciencias morfológicas, las que con las nuevas herramientas morfométricas geométricas han logrado no sólo objetivar la evaluación cuantitativa de los cambios morfológicos sino también la evaluación cualitativa a través de la recuperación de la forma en estudio. Esto es posible gracias a la aplicación de técnicas biométricas, instrumentos y programas computacionales que permiten la captura y análisis de datos en forma de matrices de morfocoordenadas que representan la geometría de un espécimen y no se limitan a la obtención de datos lineales de él como medidas de alto o ancho, elementos que carecen de la precisión y la riqueza de los datos geométricos (López, 2015). El análisis morfométrico geométrico consta de tres etapas fundamentales: obtención de los datos primarios, obtención de las variables de la forma, y análisis estadístico. El extenso uso que se le ha dado en los últimos años en áreas afines a las ciencias morfológicas hace necesario el conocimiento de la técnica tanto con fines formativos como para su aplicación a la solución de problemas en los que la morfología juega un rol esencial (Jaramillo, 2011).

### **III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La identificación taxonómica de los helechos es sumamente compleja, ya que se requieren numerosas estructuras de un individuo para realizarlo de manera correcta. Entre éstas estructuras se pueden mencionar el tipo de indusio, peciolo y raquis, entre otros. La dificultad estriba en que no siempre se cuenta con dichas estructuras clave, ya sea porque se trata de una muestra incompleta; que al momento de su colecta el individuo no presentara las estructuras clave (p.ej. por temporalidad) o bien que se trata de una especie dimorfica y se requieren ambos individuos para su determinación (Stolze, 1976).

Existen muy pocos caracteres diagnósticos universalmente aceptados. El mejor carácter es el anillo helicogiroide del esporangio, que es una sinapomorfia para el orden Cyatheaales; infortunadamente no siempre se cuenta con este rasgo en las muestras (Christenhusz & Chase, 2014).

### **IV. JUSTIFICACIÓN**

Todas las especies de helechos, incluso las menos raras, son vulnerables o están amenazadas debido a la fuerte fragmentación y cambio de uso de la tierra sobre las áreas con bosque tropical húmedo en Guatemala. Dicha vulnerabilidad se evidencia en que todas las especies de *Cyathea* Sm. se encuentran en el apéndice II de la Convención Internacional para el tráfico de especies de flora y fauna Amenazadas o en peligro (CITES) y en la lista roja de Guatemala. Estos criterios de vulnerabilidad son útiles en la toma de decisiones respecto al manejo de las especies de helechos arborescentes (IUCN, 2017).

Adicionalmente, los bosques nublados ya tienen un patrón biogeográfico de islas, lo que implica que como hábitat su disponibilidad es afectada tanto por su superficie como por la distancia a otras áreas de bosque nublado (parches). El contexto donde ocurre un parche de bosque nublado puede ser muy perjudicial para este, especialmente cuando el límite de este y el inicio de un área con diferente uso de la tierra (borde), es muy abrupto. Esta condición puede reducir la cantidad efectiva de hábitat para algunas especies de helechos arborescentes, especialmente cuando el hábitat aledaño a un bosque es un área descampada o un potrero (Véliz & Vargas, 2006).

Sin embargo no existe hasta el momento un estudio para la discriminación de especies del género *Cyathea* Sm. basado en la morfometría geométrica de las venas de sus de sus frondas. Dicho estudio facilitaría el trabajo taxonómico ya en muchas ocasiones únicamente se cuenta con fragmentos de los especímenes. De esta manera en trabajos de campo bastaría con tomar un fragmento adecuado de la fronda para poder determinar su identidad taxonómica.

## V. REFERENTE TEÓRICO

### a) Descripción de *Cyathea* Sm.

Terrestres, raramente epífitas o rupícolas; tallo erecto, generalmente masivo, raramente ausente; hojas 1.2-7 m; pecíolo liso a espinoso, escamoso basalmente, pinnas aflebioides ausentes en la base o (en *Cyathea suprastrigosa*) ocasionalmente presentes y subaflebioides, las escamas sin setas apicales oscuras, concoloras a fuertemente bicoloras, las células diferentes, las del borde ligera a fuertemente diferenciadas de las del centro en tamaño, forma, orientación y grosor de la pared; lámina 1-4(-6) m, típicamente 2-pinnado-pinnatífida, en algunas especies 1-pinnadas o 1-pinnado-pinnatífidas, el ápice atenuado, pinnatífido o raramente similar en forma a las pinnas laterales; pinnas y pínulas continuas con el raquis o raramente articuladas; pínulas generalmente incisas hasta más de la mitad de la distancia hacia las cóstulas; raquis, costas y cóstulas generalmente sin espinas, pelosas adaxialmente, los tricomas estrigosos, multicelulares, subulados; nervaduras libres o (en 3 spp.) anastomosadas, que terminan arriba de la base del seno; soros redondeados; receptáculo elevado; indusios presentes o ausentes, globosos o ciatiformes, que rodean completamente la base del receptáculo, o escumiformes y unidos sólo por el lado costular del receptáculo; esporas tetraédricas, generalmente 64 por esporangio, sin poros ecuatoriales, no estriadas;  $x=69$ . Aprox. 115 spp (Morán, 1995).

### b) Problemática para identificación taxonómica de *Cyathea* Sm.

Muchos autores difieren de los límites de éste género pues es muy cercano a *Trichipteris* Presl y suele confundirse con este; por lo general se diferencian por la presencia o ausencia de indusio. Sin embargo en especímenes estériles o en aquellos con los que únicamente se cuenta con partes de la fronda, distinguirlos es muy difícil (Stolze, 1976).

Como producto de la dificultad que conlleva su correcta identificación taxonómica los organismos del género *Cyathea* Sm. han tenido diversas sinonimias (cuadro 3, anexo 1). En algunos casos se continúan teniendo estas por validas pues muchos especialistas toman diferentes factores taxonómicos para validarlos (Christenhusz & Chase, 2014).

### c) Morfología foliar

La morfología foliar es un rasgo clave de las plantas que afecta en gran medida a la ecología y la evolución de las interacciones entre plantas y hábitat. Entender todos los factores ambientales (el gradiente ambiental a lo largo del rango de distribución), bióticos (interacciones con polinizadores, pero también con depredadores y dispersores de semillas) y genéticos (la base genética y los mecanismos celulares que generan variabilidad foliar) que expliquen la gran variabilidad en morfología foliar observada representa el objeto de estudio de muchos investigadores (Picó & Bosch, 2005).

### d) Morfometría geométrica

Los métodos morfométricos proveen un conjunto de técnicas analíticas muy poderosas para cuantificar la variación morfológica y examinar los componentes genético y ambiental de los rasgos examinados. A partir de un conjunto de mediciones (variables continuas) los análisis permiten obtener nuevas variables que describen la conformación de una estructura biológica, la cual es libre de la variación no biológica (aquella relacionada con la escala, la posición y la orientación de la estructura morfológica en el espacio) y resulta de la historia

evolutiva particular del conjunto de organismos que la comparten. Paralelamente, también se obtiene una estimación del tamaño, el cual podría ser explicado por factores fisiológicos ocurriendo durante la ontogenia o por adaptaciones acaecidas durante la historia evolutiva. El objetivo de los análisis es estudiar por separado la variación en la conformación y el tamaño, relacionando entre sí estos componentes morfométricos con el entorno interno y externo de las poblaciones, suponiendo que ambos son modificados por razones biológicas diferentes (Jaramillo, 2011).

Uno de los conceptos fundamentales en morfometría geométrica es de la forma, que es una propiedad geométrica de un objeto y que no toma en cuenta la escala, rotación y traslación. Aunque el concepto de forma señala que esta propiedad geométrica no varía por efecto del tamaño, en morfometría geométrica, no ha sido posible analizar separadamente la “forma” del “tamaño”, debido a que son características biológicas que están íntimamente ligadas, es decir, organismos de diferentes tamaños tendrán diferentes formas aunque sean de la misma especie, lo que se debe al desarrollo y crecimiento natural u ontogenético de los organismos vivos. (Jaramillo, 2011)

Este tipo de estudios, en los que se analiza los cambios en la forma con respecto al tamaño de los organismos a través de su ciclo de vida, se conocen como “estudios de alometría”. Los estudios de morfometría geométrica utilizan dos fuentes de información para los análisis, uno es la homología biológica y el otro es la localización geométrica. La homología biológica hace referencia a la correspondencia biológica de determinadas estructuras o partes entre individuos, mientras que la localización geométrica se refiere a la configuración espacial en dos o tres dimensiones de estas estructuras o partes (Toro, Manriquez, & Suazo, 2010).

Para la localización de estas estructuras homólogas, en morfometría geométrica se utilizan principalmente dos variables: *outlines* (contornos) y los *landmarks*, que son loci anatómicos que no alteran su posición topológica relativamente a otros *landmarks*, proveen una cobertura adecuada de la forma y pueden ser ubicados fácil y repetidamente entre un organismo y otro. Existen tres tipos de landmarks: tipo I son yuxtaposiciones discretas de tejido, tipo II son zonas de máxima o mínima curvatura y tipo III son puntos extremos. En ocasiones, las estructuras biológicas son superficies planas o lisas en las que es difícil establecer *landmarks* o éstos no cubren totalmente la forma a analizar, para solucionar esta limitante, se utilizan puntos distribuidos uniformemente a lo largo de esta superficie, los cuales se conocen como *semilandmarks* (Toro, Manriquez, & Suazo, 2010).

## VI. OBJETIVOS

### General

- Caracterizar las diferencias de la morfología venal foliar para distinguir las especies del género *Cyathea* Sm. presentes en Guatemala.

### Específicos

- Registrar las coordenadas geométricas de las venas de las especies del género *Cyathea* Sm. presentes en Guatemala.
- Comparar las variaciones en la morfología venal foliar de las especies del género *Cyathea* Sm. presentes en Guatemala

## VII. HIPÓTESIS

Se pueden distinguir las especies del género *Cyathea* Sm. (*Cyatheaceae*), presentes en Guatemala, por medio de la morfología de las venas de las pinnulas de sus frondes.

## VIII. METODOLOGÍA

### a) DISEÑO

#### Población

Especies del género *Cyathea* Sm. (Cyatheaceae) presentes en Guatemala.

#### Muestra

Ejemplares de las 9 especies del género *Cyathea* Sm. (Cyatheaceae) presentes en Guatemala albergados en los herbarios BIGU y USCG.

### b) TÉCNICAS USADAS EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

#### Material de estudio y toma de muestras

Los datos se obtuvieron de los ejemplares del género *Cyathea* Sm. albergados en los herbarios BIGU y USCG. Se descartaron aquellos ejemplares en los cuales existía duda de su identidad taxonómica y aquellos cuyos segmentos de pinnas se encontraban muy deteriorados para poder observar con detalle su venación.

De los 217 ejemplares seleccionados se digitalizaron tres pinnulas por espécimen, una apical, una media y una basal, todo esto en relación al raquis central del fronde. Para ello se utilizó un escáner hp scanjet 5590 (resolución de 600dpi) con una escala grafica de referencia numérica. Se empleó un fondo blanco para aumentar el contraste de la imagen y se importaron como archivos de mapa de bits (24 bits). Luego de ello las imágenes fueron procesadas en el programa Photoshop CS6 versión 3.3.

#### Toma de los datos morfométricos

Se colocaron 29 puntos clave en la venación de las pinnulas, con el empleo de una rejilla, cuyo inicio y final fue ajustado a la base y el ápice de la pinna. Esto garantizó colocar en todas las pinnas, independientemente de su tamaño, igual número de puntos clave (fig. 1). De estos, dos fueron de Tipo I o anatómicos, en los cuales la homología es apoyada por evidencias locales (base y ápice de la pinna) y 27 fueron de Tipo II o matemáticos, donde la homología es apoyada por la geometría, o sea, no son funcionalmente equivalentes. A la matriz de coordenadas "x" y "y" de los puntos claves se les realizó un registro Procrustes generalizado.



Figura 1. Puntos clave colocados en la venación de la pinnulas de los ejemplares de *Cyathea* Sm.



Este procedimiento re-escala y rota las configuraciones de puntos hasta lograr su máxima superposición hasta que se minimicen las medias procrustes (el promedio de las distancias entre parejas de puntos claves homólogos). Posteriormente se redujo la información de la matriz estandarizada de puntos claves con un análisis de componentes principales (PCA).

Se caracterizó el contorno por los coeficientes Elípticos de Fourier de los primeros 10 armónicos. Los contornos cerrados de las pinnas fueron automáticamente extraídos y descritos por código de cadena, un sistema de código que describe la información geométrica de las formas. A partir del código de cadena se calcularon los coeficientes de los descriptores elípticos de Fourier (DEF), mediante el procedimiento basado en la elipse del primer armónico. Estos fueron normalizados para eliminar las diferencias de tamaño, posición, rotación y punto de partida del trazado del contorno entre las diferentes hojas y analizar posteriormente sólo las variaciones de forma.

Los coeficientes normalizados de los DEF no pueden ser usados directamente como características de forma de la hoja, pues el número de coeficientes es muy grande y el significado morfológico de cada coeficiente es difícil de interpretar. Por lo que se realizó un análisis de componentes principales según lo propuesto por Rohlf y Archie (1984), con el objetivo de resumir la información contenida en los coeficientes de Fourier. Este se basó en la matriz de varianza-covarianza de los coeficientes. Para cada individuo se calculó el consenso de los puntos claves y la media de los Coeficientes Elípticos de Fourier entre las pinnas empleadas.

### Caracterización de la forma de la venación de la pinna e identificación de las especies

La variación en forma analizada por puntos clave se visualizó mediante las rejillas de deformación y se realizó la reconstrucción gráfica de los contornos para cada componente por transformación inversa de Fourier de los coeficientes calculados, según el procedimiento de Furuta y colaboradores (1995). En este procedimiento, los coeficientes de los DEF son calculados de forma tal que el puntaje para cada componente principal sea igual a la media más menos dos veces la desviación estándar (que es la raíz cuadrada del autovalor del componente) y los puntajes de los componentes restantes sean cero.

Con los puntajes de los primeros siete autovalores obtenidos de la reducción dimensional de la matriz estandarizada de puntos claves y de los Coeficientes Elípticos de Fourier para 10 armónicos, se realizaron análisis de función discriminante (AFD) para analizar la posibilidad de emplear la forma de la hoja para diferenciar las subespecies por ambos métodos. Los datos fueron analizados utilizando el paquete Geomorph versión 3.3.1, del programa R.

## IX. RESULTADOS

Las rejillas de deformación (figuras 2-10) no mostraron un consenso en ninguna de las especies de *Cyathea* Sm. analizadas. Esto se observó tanto entre las especies como dentro de las mismas.

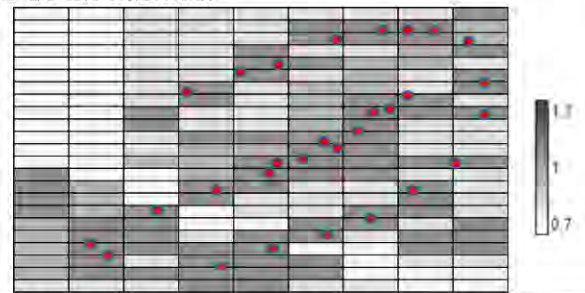
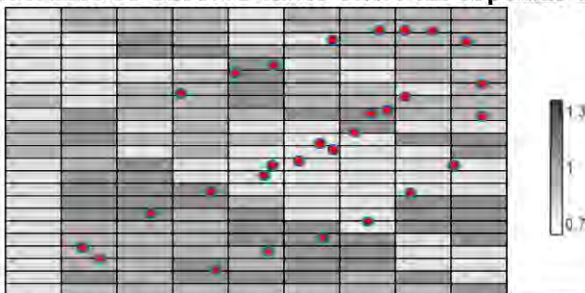


Figura 2. Deformación de las venas de *C. bicrenata* (tomada como configuración el consenso de la especie). En escala de grises valores de 1 representan que no hay deformación en ese punto, valores mayores que 1 indican expansión y menores que 1 indican compresión.

Figura 3. Deformación de las venas de *C. costaricensis* (tomada como configuración el consenso de la especie). En escala de grises valores de 1 representan que no hay deformación en ese punto, valores mayores que 1 indican expansión y menores que 1 indican compresión.



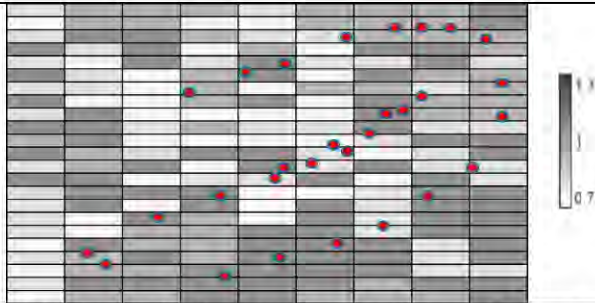


Figura 4. Deformación de las venas de *C. divergens* (tomada como configuración el consenso de la especie). En escala de grises valores de 1 representan que no hay deformación en ese punto, valores mayores que 1 indican expansión y menores que 1 indican compresión.

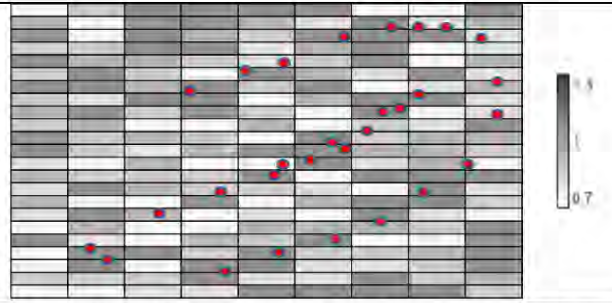


Figura 5. Deformación de las venas de *C. fulva* (tomada como configuración el consenso de la especie). En escala de grises valores de 1 representan que no hay deformación en ese punto, valores mayores que 1 indican expansión y menores que 1 indican compresión.

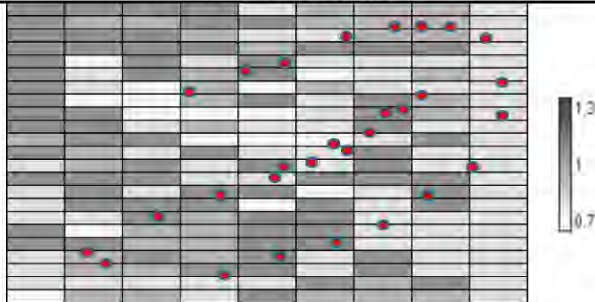


Figura 6. Deformación de las venas de *C. microdonta* (tomada como configuración el consenso de la especie). En escala de grises valores de 1 representan que no hay deformación en ese punto, valores mayores que 1 indican expansión y menores que 1 indican compresión.

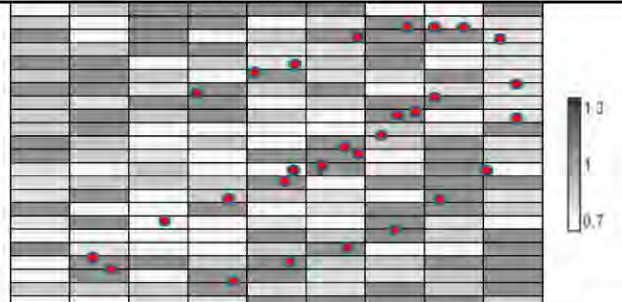


Figura 7. Deformación de las venas de *C. multiflora* (tomada como configuración el consenso de la especie). En escala de grises valores de 1 representan que no hay deformación en ese punto, valores mayores que 1 indican expansión y menores que 1 indican compresión.

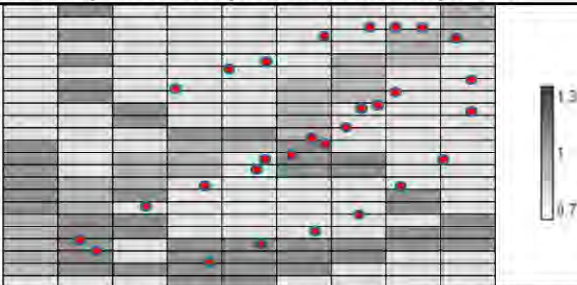


Figura 8. Deformación de las venas de *C. mysuroides* (tomada como configuración el consenso de la especie). En escala de grises valores de 1 representan que no hay deformación en ese punto, valores mayores que 1 indican expansión y menores que 1 indican compresión.

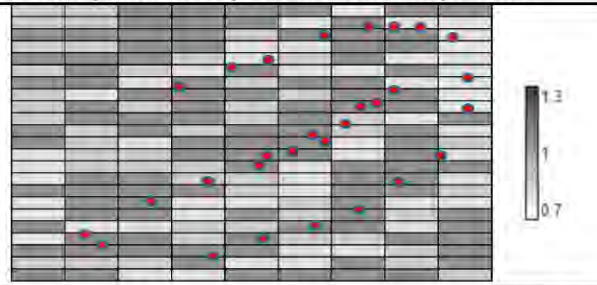


Figura 9. Deformación de las venas de *C. schiedeana* (tomada como configuración el consenso de la especie). En escala de grises valores de 1 representan que no hay deformación en ese punto, valores mayores que 1 indican expansión y menores que 1 indican compresión.

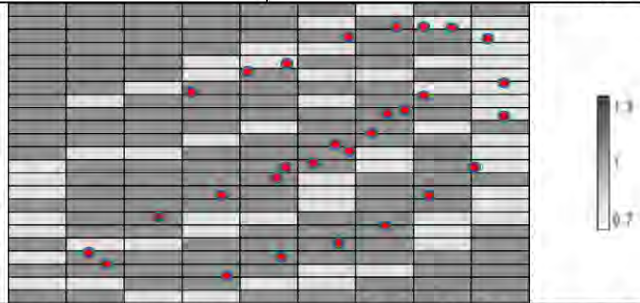


Figura 10. Deformación de las venas de *C. valdecrenata* (tomada como configuración el consenso de la especie). En escala de grises valores de 1 representan que no hay deformación en ese punto, valores mayores que 1 indican expansión y menores que 1 indican compresión.

Al analizar todos los individuos de manera simultánea, independientemente de la especie a la que pertenecían, se pudo caracterizar la variación de la forma de la venación en la especie. En el análisis de componentes principales con los datos de los puntos clave la varianza total no fue explicada por dichos componentes (figura 11). En el análisis de componentes principales con los datos del contorno, los dos primeros ejes tampoco lograron explicar la varianza. En ambos componentes se observan representantes de todas las especies estudiadas a lo largo de todo el eje de coordenadas, por lo que no se puede asociar a cada una de las subespecies con una forma extrema específica (figura 11).

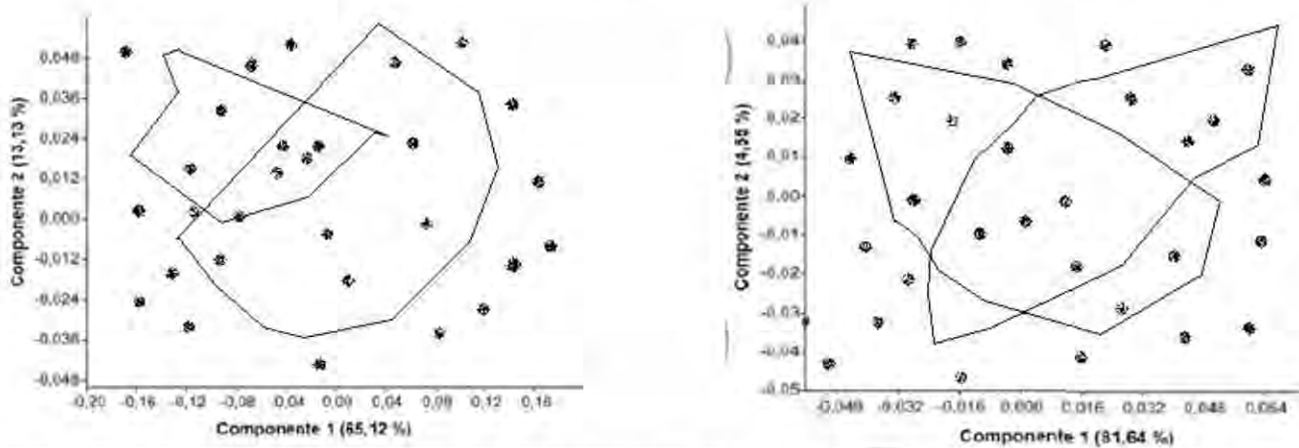


Figura 11: Representación del análisis de componentes principales de la matriz estandarizada de las coordenadas de los puntos claves (izquierda) y de los Coeficientes Elípticos de Fourier para armónicos (derecha) de las especies de *Cyathea* Sm. En la imagen de la izquierda las rejillas de deformación muestran las características de forma relacionadas con los extremos de variación a lo largo de cada eje. En la imagen de la derecha se muestra la reconstrucción de la variación de forma a lo largo de cada componente principal.

La representación gráfica del análisis discriminante que incluye como variables de forma los autovalores resultantes de la reducción dimensional de la matriz estandarizada de puntos claves y de los DEFs, no mostró superposición en la nube de puntos para ambos análisis (figura 12). La matriz de clasificación con las variables obtenidas por contorno no mostró una discriminación correcta mayor que la matriz resultante de los datos de los puntos clave.

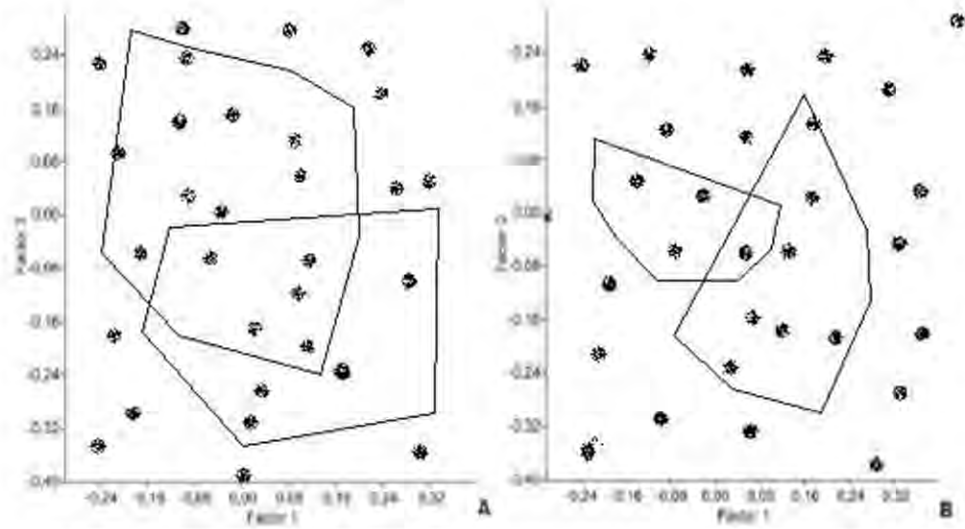


Figura 12. Representación del análisis discriminante, empleando como variables de forma los componentes principales resultantes de la reducción dimensional de la matriz estandarizada de las coordenadas de los puntos claves (A) y de los Coeficientes Elípticos de Fourier para armónicos (B) de las especies de *Cyathea* Sm.

## **X. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Los resultados mostrados por las rejillas de deformación muestran que no existe una correspondencia con la descripción de las especies de del género *Cyathea* Sm., reportadas para Guatemala, y su venación foliar. Esto posiblemente se deba a que dicha venación responde a condiciones ambientales como un rasgo funcional, modificándose según las necesidades que el individuo tuviera en el hábitat en que se encontraba al momento de ser colectado.

La reconstrucción gráfica de las venas de las pinnas de las especies no permitió visualizar el aporte a la forma de la fronda que realiza cada componente. Aunque en ocasiones se puede evaluar que parte de la variabilidad total explica cada componente en el presente estudio no se aprecia con claridad. Aun cuando la variación en la forma de las frondas tiene un componente taxonómico fuerte, ya que esta varía entre especies en los helechos, también es un rasgo altamente sensible a la influencia de factores bióticos y abióticos.

Numerosas investigaciones han demostrado que la forma de las hojas de las plantas está fuertemente afectada por la disponibilidad de agua, la temperatura o la iluminación. Los cambios ambientales pueden producir con frecuencia alteraciones en la morfología foliar, incluso para una misma especie que se desarrolle en diferentes hábitats.

Según Jensen (2003) el método por puntos claves es superior al de contorno, especialmente cuando los puntos claves representan puntos homólogos bien definidos biológicamente. Se debe tener en cuenta que en estos estudios se han utilizado variables derivadas de la matriz de puntos claves, como pueden ser el tamaño del centroide, la sumatoria de las distancias euclidianas o las distancias Procrustes. En la presente investigación no se tuvieron en cuenta pues se decidió emplear variables equivalentes en ambos métodos, que son precisamente los puntajes de los autovalores. En próximos estudios, se puede evaluar el poder discriminatorio de estas variables derivadas de la matriz de puntos clave para la clasificación de las especies.

En general, el análisis con puntos clave no permitió visualizar y caracterizar mejor las diferencias en la forma de las venas entre especies, lo mismo puede decirse del análisis de contorno, el cual no resultó eficiente en la determinación.

## **XI. CONCLUSIONES**

- No es posible distinguir las especies del género *Cyathea* Sm. reportadas para Guatemala, por medio de su venación foliar, ya que dicho patrón no está correlacionado con su identidad taxonómica.
- No es posible determinar que parte de la variabilidad total explica cada componente.
- Posiblemente los patrones de venación foliar obedecen a condiciones ambientales más que a aspectos filogenéticos.

## **XII. RECOMENDACIONES**

- Digitalizar únicamente el detalle de la venación de interés y no todo el espécimen completo a fin de evitar la manipulación excesiva de las imágenes por medio de programas para la edición de imágenes.
- Restringir el análisis de venación foliar a una sola especie, separando grupos por localidades de colecta.
- Aunque en el presente estudio no se logró la discriminación de las especies de *Cyathea* Sm., se debe considerar el empleo de la morfometría geométrica en la identificación de otras especies de difícil clasificación de la flora guatemalteca.

### XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, D., & Otarola-Castillo, E. (2013).** Geomorph: an R package for the collection and analysis of geometric morphometric shape data. *Methods in Ecology and Evolution* , 4, 393-399.
- Azurdiá Pérez, C. (1989).** Flora de Guatemala: riqueza y extinción. *Tikalía* , 31-48.
- Bailey, J. (Ed.). (2002).** *Dictionary of botany*. Nueva York: Market House Book.
- Benitez, H., & Puschel, T. (2014).** Modelling shape variance: geometric morphometric applications in evolutionary biology. *International Journal of Morphology* , 3 (32), 998-1008.
- BIGU. (2017).** Catalogo físico de la colección de herbario. Guatemala.
- Bookstein, F. (2003).** *Morphometric tools for landmark data*. New York: Cambridge University Press.
- Brombin, C., & Salmaso, L. (2013).** *Permutation test in shape analysis*. New York: Springer.
- Brownsey, P., & Perrie, L. (2015).** Re-evaluation of the taxonomic status of *Cyathea kermadecensis* and *C. milnei* (Cyatheaceae) supports their continued recognition. *Tuhinga* (26), 49-60.
- Canché, A., García, E., Vaca, S., & Cuevas, P. (2011).** Cambios en la morfología floral y foliar en *Crataegus tracyi*: importancia de la asimetría fluctuante como indicador de estrés ambiental. *Ciencias Biológicas Agropecuarias* , 13 (1), 44-49.
- Christenhusz, M., & Chase, M. (2014).** Trends and concepts in fern classification. *Annal of Botany* , 113 (4), 571-594.
- Claude, J. (2008).** *Morphometrics with R*. New York: Springer.
- Crisci, J., & López, M. (2001).** *Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica*. México D.F.: OEA.
- Daya, B. (2013).** *Mathematical morphology in geomorphology and GISci*. New York: Taylor & Francis.
- Dujardin, J. (2002).** *Introducción a la morfometría con énfasis en Triatominae y Phlebotominae*. Obtenido de <http://eclat.fcien.edu.uy/espaniol/Libros.htm>.01/09/2010.
- Elewa, A. (2004).** *Morphometrics applications in biology and paleontology*. New York: Springer.
- Ferrari, M., Spirito, S., & Sabalza, M. (1995).** Taxonomía numérica: su aplicación al análisis de los resultados de una evaluación. *Revista Brasileira de Ensino de Física* , 17 (2), 159-164.
- Font Quer, P. (2001).** *Diccionario de botánica*. Barcelona: Ediciones Península.
- Franco, T., & Hidalgo, R. (2003).** *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos*. Calí: IPGRI.



- Furuta, N., Ninomiya, S., Takahashi, S., & Ohmori, H. (1995).** Quantitative evaluation of soybean (*Glycine max* L., Merr.) leaflet shape by principal component scores based on elliptic Fourier descriptor. *Breed Science* (45), 315-320.
- Gutiérrez Elorza, M. (2008).** Geomorfología estructural. En *Geomorfología* (págs. 19-46). Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Hernández, M. (2014).** Identificación de las subespecies de *Magnolia cubensis* (Magnoliaceae) mediante análisis digital de imágenes de las hojas. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 3 (2), 53-60.
- Hertweck, K., Kinney, M., Stuart, S., Maurin, O., Mathews, S., Chase, M., y otros. (2015).** Phylogenetics, divergence times and diversification from three genomic partitions in monocots. *Botanical Journal of the Linnean Society* (178), 375-393.
- IUCN. (2017).** *The IUCN red list of threatened species*. Obtenido de <http://www.iucnredlist.org/>
- Jaramillo, N. (2011).** *Morfometría geométrica: principios teóricos y métodos de empleo*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/237522938>
- Jensen, R. (2003).** The conundrum of morphometrics. *Taxon* (52), 663-671.
- Jiménez, J. (2009).** *Los helechos del corredor del bosque nuboso de Baja Verapaz, Guatemala*. Santo Domingo de Heredia: Instituto Nacional de Biodiversidad.
- Korall, P., & Pryer, K. (2014).** Global biogeography of scaly tree ferns (Cyaeteaceae) evidence for Gondwanan vicariance and limited dispersal. *Journal of Biogeography* (41), 402-413.
- Krebs, C. (1989).** *Ecological methodology*. New York: Harper Collins.
- Legendre, P., & Legendre, L. (2003).** *Numerical ecology*. New York: Elsevier.
- Lehnert, M. (2011).** Species of *Cyathea* in America related to the western Pacific species *C. decurrens*. *Phytotaxa* (26), 39-59.
- López, A. (2015).** *Morfometría geométrica: el estudio de la forma y su aplicación en biología*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/290797572>
- Macleod, N., & Forey, P. (2004).** *Morphology, shape and phylogeny*. New York: Taylor & Francis.
- McDonald, J. (2008).** *Handbook of biological statistics*. Baltimore: Sparky House Publishing.
- McKillup, S. (2005).** *Statistics explained*. New York: Cambridge University Press.
- Missouri Botanical Garden. (2017).** *Tropicos*. Obtenido de <http://www.tropicos.org>
- Morán, R. (2004).** *A natural history of ferns*. Washington: Timber Press.
- Morán, R. (2015).** *Clave para los géneros de la familia Cyatheaceae*.

- Morán, R. (2015).** *Cyahtea clave*.
- Morán, R. (2015).** *Cyahtea Sm. description*. Flora Mesoamericana.
- Morán, R. (1995).** Cyatheaceae. En *Flora Mesoamericana Psilotaceae a Salviniaceae* (Vol. 1, págs. 88-104). Missouri: Missouri Botanical Garden.
- Morán, R. (2015).** *Cyatheaceae*.
- Morán, R. (1995).** The importance of mountains to Pteridophytes, with emphasis on neotropical montane forest. En *Biodiversity and conservation of neotropical montane forests* (págs. 50-92). Nueva York: The New York Botanical Garden.
- Moreno, N. (1984).** *Glosario botánico ilustrado*. México D.F.: Compañía Editorial Continental.
- Picó, F., & Bosch, J. (2005).** Resumen de la II reunión del grupo de trabajo de biología y evolución floral. *Ecosistemas*, 2 (14), 196-198.
- Quintanilla, M., Arenas, M., Campos, R., Camacho, B., & Jiménez, A. (2015).** Morphometric characterization of floral structures *Tagetes erecta* L. (Asteraceae) using digital image analysis and fractal dimension. *Gayana Botanical*, 1 (72), 137-144.
- Rand, W. (1971).** Objective criteria for the evaluation of clustering methods. *Journal of American Statistics Association* (66), 846-850.
- Remagnino, P., Mayo, S., Wilkin, P., Cope, J., & Kirkup, D. (2017).** *Computational botany methods for automated species identification*. Berlin: Springer.
- Robert, C., & Casella, G. (2010).** *Introducing Monte Carlo methods with R*. Nueva York: Springer.
- Rohlf, F., & Archie, J. (1984).** A comparison of Fourier methods for the description of wing shape in mosquitoes (*Ritiera culicidae*). *Systematic Zoology* (33), 302-317.
- Sarkar, D. (2008).** *Lattice multivariate data visualization with R*. Nueva York: Springer.
- Slice, D. (2005).** *Modern morphometrics in physical anthropology*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Small, C. (2006).** *The statistical theory of shape*. Ontario: Springer.
- Standley, P., & Williams, L. (1973).** *Flora of Guatemala*. Chicago: Field Museum of Natural History.
- Steel, R., & Torrie, J. (1988).** Análisis de varianza II: clasificaciones múltiples. En *Bioestadística principios y procedimientos* (págs. 188-230). México, D.F.: McGraw-Hill.
- Stolze, R. (1976).** *Ferns and ferns allies of Guatemala Part I Ophioglossaceae through Cyatheaceae*. Chicago: Field Museum of Natural History.

Toro, V., Manriquez, G., & Suazo, I. (2010). Geometric morphometry and the biologic shapes study. *International Journal of Morphology*, 28 (4), 977-990.

Véliz, M. (2008). Diversidad florística de Guatemala. En *Guatemala y su biodiversidad* (págs. 261-291). Guatemala: CONAP.

Véliz, M., & Vargas, J. (2006). *Helechos arborescentes de Guatemala*. Guatemala: BIGU.

Villar Anléu, L. (1998). *La flora silvestre de Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria.

Weller, J. (2005). Evolution in perspective. En *The course of evolution* (págs. 621-648). New York: McGraw-Hill.

Zelditch, M., Swiderski, D., Sheets, D., & Fink, W. (2004). *Geometric morphometrics for biologist: a primer*. San Diego: Elsevier.

#### XIV. ANEXOS

##### Anexo 1. Ficha técnica de la investigación

### VARIABILIDAD INTER ESPECÍFICA EN LA MORFOLOGÍA VENAL FOLIAR DE LAS ESPECIES DE *Cyathea* Sm. (CYATHEACEAE) PRESENTES EN GUATEMALA

Alexei Morán<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad -EDC-, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.  
(csrjrz2@gmail.com)

**Palabras clave:** Morfometría geométrica, *Cyathea*, Guatemala, venación, foliar, pinnas.

#### Resumen

En el presente estudio se caracterizó las diferencias de la morfología venal foliar para distinguir las especies del género *Cyathea* Sm. presentes en Guatemala. Para ello se registraron las coordenadas geométricas de las venas y se compararon las variaciones en la morfología venal foliar de las especies del género de dicho género.

Esto debido a que no existe hasta el momento un estudio para la discriminación de especies del género *Cyathea* Sm. basado en la morfometría geométrica de las venas de sus de sus frondas. Dicho estudio facilitaría el trabajo taxonómico ya en muchas ocasiones únicamente se cuenta con fragmentos de los especímenes. De esta manera en trabajos de campo bastaría con tomar un fragmento adecuado de la fronda para poder determinar su identidad taxonómica.

Los datos se obtuvieron de los ejemplares del género *Cyathea* Sm. albergados en los herbarios BIGU y USCG. Se digitalizaron tres pinnulas por espécimen, una apical, una media y una basal, todo esto en relación al raquis central del fronde Se colocaron puntos clave en la venación de las pinnulas, con el empleo de una rejilla A la matriz se les realizó un registro Procrustes generalizado. Se caracterizó el contorno por los coeficientes Elípticos de Fourier.

Los resultados de las rejillas de deformación no mostraron un conceso en ninguna de las especies de *Cyathea* Sm. analizadas. En el análisis de componentes principales con los datos de los puntos clave la varianza total no fue explicada por dichos componentes.

Por lo que se puede concluir que no es posible distinguir las especies del género *Cyathea* Sm. reportadas para



Guatemala, por medio de su venación foliar, ya que dicho patrón no está correlacionado con su identidad taxonómica. No es posible determinar que parte de la variabilidad total explica cada componente. Posiblemente los patrones de venación foliar obedecen a condiciones ambientales más que a aspectos filogenéticos.

Por esto se recomienda digitalizar únicamente el detalle de la venación de interés y no todo el espécimen completo a fin de evitar la manipulación excesiva de las imágenes por medio de programas para la edición de imágenes. Restringir el análisis de venación foliar a una sola especie, separando grupos por localidades de colecta. Aunque en el presente estudio no se logró la discriminación de las especies de *Cyathea* Sm., se debe considerar el empleo de la morfometría geométrica en la identificación de otras especies de difícil clasificación de la flora guatemalteca.

## Anexo 2. Sinonimias dentro del género *Cyathea* Sm.

**Cuadro 3. Sinonimias dentro del género *Cyathea* Sm.**

Nombre aceptado	Sinónimos
<i>Cyathea divergens</i> Kunze	<i>Cyathea petiolulata</i> H. Karst.
<i>Cyathea bicrenata</i> Liebm.	<i>Alsophila bicrenata</i> (Liebm.) E. Fourn.; <i>Alsophila ochroleuca</i> Christ.; <i>Alsophila pansamalana</i> Maxon.; <i>Alsophila scabriuscula</i> Maxon.; <i>Alsophila stipularis</i> Christ.; <i>Alsophila trichiata</i> Maxon.; <i>Cyathea aphlebioides</i> Christ.; <i>Cyathea stipularis</i> (Christ) Domin; <i>Cyathea trichiata</i> (Maxon) Domin; <i>Trichipteris bicrenata</i> (Liebm) R. M. Tryon; <i>Trichipteris pansamalana</i> (Maxon) R. E. Tryon; <i>Trichipteris scabriuscula</i> (Maxon) R. E. Tryon; <i>Trichipteris stipularis</i> (Christ) R. E. Tryon
<i>Cyathea costaricensis</i> (Mett. ex Kuhn) Domin	<i>Hemitelia costaricensis</i> Mett. ex Kuhn; <i>Trichipteris costaricensis</i> (Mett. ex Kuhn) Barrington
<i>Cyathea fulva</i> (M. Martens & Galeotti) Fée	<i>Alsophila fulva</i> M. Martens & Galeotti; <i>Cyathea aurea</i> Klotzsch; <i>Cyathea conspersa</i> Christ; <i>Cyathea delicatula</i> Maxon; <i>Cyathea furfuracea</i> Christ; <i>Cyathea mollis</i> Rosenst; <i>Cyathea molliuscula</i> Domin; <i>Cyathea onusta</i> Christ; <i>Cyathea papyracea</i> Christ; <i>Cyathea underwoodii</i> Christ
<i>Cyathea myosuroides</i> (Liebm.) Domin	<i>Alsophila myosuroides</i> Liebm; <i>Sphaeropteris myosuroides</i> (Liebm) R. M. Tryon
<i>Cyathea microdonta</i> (Desv.) Domin	<i>Alsophila aculeata</i> (Raddi) J. Sm; <i>Alsophila armata</i> Mart.; <i>Alsophila ferox</i> C. Presl; <i>Alsophila microdonta</i> (Desv.) Desv.; <i>Alsophila rufa</i> Fée; <i>Polypodium aculeatum</i> Raddi; <i>Polypodium microdontum</i> Desv.; <i>Trichipteris microdonta</i> (Desv.) R. M. Tryon
<i>Cyathea schiedeana</i> (C. Presl) Domin	<i>Alsophila chnoodes</i> Christ; <i>Alsophila crassifolia</i> Christ; <i>Alsophila schiedeana</i> C. Presl; <i>Cyathea chnoodes</i> (Christ) Domin; <i>Trichipteris crassifolia</i> (Christ) Gastony; <i>Trichipteris schiedeana</i> (C. Presl) R. M. Tryon
<i>Cyathea godmanii</i> Domin	<i>Alsophila godmanii</i> Hook; <i>Alsophila mexicana</i> Mart; <i>Trichipteris mexicana</i> (Mart) R. M. Tryon;

*Cyathea multiflora* Sm.

*Alsophila decussata* H. Christ; *Alsophila multiflora* (Sm.) C. Presl; *Cyathea alfonsiana* L.D. Gómez; *Cyathea austroamericana* Domin; *Cyathea hartii* (Baker) Domin; *Hemitelia denticulada* Hook; *Hemitelia hartii* Baker; *Hemitelia multiflora* (Sm.) Spreng; *Hemitelia nigricans* C. Presl; *Hemitelia squarrosa* Rosenst

Fuente: (Missouri Botanical Garden, 2017)