

SINOPSIS TAXONÓMICA Y MODELAMIENTO DE NICHOS DE LA FAMILIA
ZYGOPHYLLACEAE R. Br. PARA COLOMBIA Y SU RELACIÓN CON EL BOSQUE
SECO TROPICAL

ANGEE PAOLA GÓMEZ GAMARRA

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA Y QUÍMICA
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
SINCELEJO

2017

SINOPSIS TAXONÓMICA Y MODELAMIENTO DE NICHOS DE LA FAMILIA
ZYGOPHYLLACEAE R. Br. PARA COLOMBIA Y SU RELACIÓN CON EL BOSQUE
SECO TROPICAL

ANGEE PAOLA GÓMEZ GAMARRA

Trabajo de grado presentado para optar al título de biólogo

Director

Jorge David Mercado Gómez

Biólogo, M.Sc. Ph.D (c)

UNIVERSIDAD DE SUCRE

FACULTAD DE EDUCACIÓN Y CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA Y QUÍMICA

PROGRAMA DE BIOLOGÍA

SINCELEJO

2017

“ÚNICAMENTE LA AUTORA ES RESPONSABLE DE LAS IDEAS EXPUESTAS EN EL
PRESENTE TRABAJO”.

Artículo 30, resolución 13 de 2010.

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

A mis padres, Marcos e Isabel, a mi hermana María C. y a Mati, quienes fueron mi principal apoyo siempre.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a quien me ha iluminado y guiado por el mejor camino, a Dios.

Al profe Jorge, mi director, porque siempre me ha apoyado y tuvo la paciencia para dirigirme durante la realización de este trabajo, por su orientación, por sus enseñanzas, por motivarme a continuar y depositar su confianza en que podía sacar esto adelante. A él, MUCHAS GRACIAS!

A Pedro Álvarez, por “aguantarme” en el herbario, por facilitarme los equipos cuando los necesité y estar siempre dispuesto a colaborar.

Al profesor Luis Enrique Paternina, porque con su amabilidad y sencillez estuvo atento cuando lo necesité, Muchísimas gracias profe!

A Felipe Cardona, por abrirme las puertas del herbario de la Universidad de Antioquia y permitirme revisar los ejemplares de Zygophyllaceae depositados ahí; así mismo, quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a Lina Urrea, por su colaboración y ayuda en las fotografías tomadas a los ejemplares de esta familia en el HUA.

A Norberto López, un excelente ser dispuesto a colaborar, quien con una gran sonrisa y amabilidad recibe a los visitantes del herbario del jardín botánico de Medellín (JAUM).

Al profesor Jorge Pérez, a él mi gratitud por permitirme examinar los ejemplares de Zygophyllaceae en el herbario Gabriel Gutiérrez Villegas (Medel) de la Universidad Nacional, sede Medellín.

Al profesor Carlos Parra, a quien le agradezco haberme aceptado en el herbario Nacional Colombiano de la Universidad Nacional, sede Bogotá, que junto con los curadores del herbario y jóvenes estudiantes que a diario permanecían en ese lugar me hicieron sentir acogida.

A Alba Marina Torres, por permitir la revisión del herbario CUVC “Luis Sigifredo Espinal-Tascón” de la Universidad del Valle. A ella muchas gracias!

A los profesores Carlos Nelson Díaz y Jenny Corredor, por su tiempo en la revisión de este trabajo y por sus respectivas sugerencias en el mismo. A ellos mil gracias!

A la Universidad de Sucre por brindarme los mejores profesores en las enseñanzas recibidas.

A la familia Hernández Domínguez y Domínguez Álvarez por alojarme en su hogar durante mi estadía en Medellín en la revisión de herbarios, a Guido Meza, Johana Meza y a toda su familia por hacerme parte de ellos en la descocida y caótica Bogotá. Gracias, muchas gracias!

Finalmente, y no menos importante, quiero agradecerles a mis padres, Marcos e Isabel, a mi hermana María C., a Mati, a mis abuelos (Miguel y Catalina) y demás familiares que siempre fueron mi principal apoyo. A ellos solo les digo ¡GRACIAS!

TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO	PAG.
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	3
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos	3
2. MARCO DE ANTECEDENTES.....	4
2.1 Historia taxonómica de la familia Zygophyllaceae	4
3. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL.....	8
3.1 Concepto filogenético de especie.....	8
3.2 Taxonomía	8
3.3 Bosque seco tropical	8
3.4 Nicho ecológico	9
3.5 Modelos de distribución de especies (MDE)	9
3.6 Diagrama BAM.....	10
3.7 MaxEnt (Máxima Entropía)	10
4. MATERIALES Y MÉTODOS	12
4.1. Fase de herbario	12
4.2. Sinopsis taxonómica	12
4.3 Modelo de nicho y distribución potencial.....	12
5. RESULTADOS	15
5.1 Tratamiento taxonómico para la familia Zygophyllaceae en la flora de Colombia.....	15
5.2 Clave para géneros y especies de Zygophyllaceae en Colombia.....	16
5.3 <i>Bulnesia</i> Gay.....	16
5.3.1 Claves para el género <i>Bulnesia</i>	17

5.3.1.1 <i>Bulnesia arborea</i> (Jacq.) Engl.	17
5.3.1.2 <i>Bulnesia carrapo</i> (Killip & Dugand).....	20
5.4 <i>Guaiacum</i> L.	22
5.4.1 <i>Guaiacum officinale</i> (L.)	22
5.5 <i>Kallstroemia</i> Scop.....	24
5.5.1 Claves para el género <i>Kallstroemia</i>	25
5.5.1.1 <i>Kallstroemia maxima</i> (Hooker & Arnott).....	26
5.5.1.2 <i>Kallstroemia parviflora</i> (Norton)	29
5.5.1.3 <i>Kallstroemia pubescens</i> (G. Don) Dandy	30
5.6 <i>Tribulus</i> L.....	32
5.6.1 <i>Tribulus cistoides</i> (L.).....	32
5.2 Distribución geográfica de Zygophyllaceae en Colombia.....	36
5.8.3 Modelamiento con MaxEnt.	39
5.8.3.2 Nicho climático de las especies de Zygophyllaceae	40
5.8.3.3 Relación de las especies de Zygophyllaceae con el bosque seco tropical.	46
9. DISCUSIONES	48
10. CONCLUSIONES	55
11. RECOMENDACIONES	56
12. REFERENCIAS	57

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	PAG
Figura 1. Dsitribución geográfica de las especies del género <i>Bulnesia</i>	37
Figura 2. Dsitribución geográfica de géneros de <i>Zygophyllaceae</i> con una sola especie presentes en Colombia.	37
Figura 3. Dsitribución geografica de las especies del género <i>Kallstroemia</i> presentes en Colombia	38
Figura 4. Curva ROC de la sensibilidad del modelo generado por MaxEnt a través del Área bajo la curva (AUC).....	39
Figura 5. Curvas de respuestas de las variables climáticas que representan el nicho de <i>B. arborea</i>	40
Figura 6. Curvas de respuestas de las variables climáticas que representan el nicho de <i>B. carrapo</i>	41
Figura 7. Curvas de respuestas de las variables climáticas que representan el nicho de <i>G. officinale</i>	42
Figura 8. Curvas de respuestas de las variables climáticas que representan el nicho de <i>K. maxima</i>	43
Figura 9. Curvas de respuestas de las variables climáticas que representan el nicho de <i>K. pubescens</i>	44
Figura 10. Curvas de respuestas de las variables climáticas que representan el nicho de <i>T. cistoides</i>	45
Figura 11. Distribución de las especies de <i>Zygophyllaceae</i> y su relación con el bosque seco tropical	46

RESUMEN

La familia Zygothylaceae está compuesta por 5 subfamilias, 27 géneros y 285 especies aproximadamente, distribuidas en zonas tropicales, subtropicales y en regiones particularmente secas (Khalik, 2012). En Colombia, se encuentran publicadas 7 especies segregadas en 4 géneros (Bernal et al., 2016), de los cuales taxones como *Bulnesia arborea* (Jacq.) Engl. y *Bulnesia carrapo* Killip & Dugand presentan dificultades al momento de su segregación, puesto que poseen caracteres morfológicos muy similares. Con el objetivo de hacer la sinopsis taxonómica y el modelamiento del nicho de la familia se realizó un estudio de los tipos nomenclaturales de las especies reportadas para el país, analizando su historia taxonómica, sinonimia y validez actual, con base en esto se revisó los protólogos de cada especie; del mismo modo, se revisó el material en los herbarios que reportan las especies de la familia; se incluyen dentro de estos los herbarios COL, CUVC, FMB, HEUS, HUA, JAUM y MEDEL; para la distribución potencial, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) en el que se determinó las variables provenientes por WorldClim necesarias en el modelamiento del nicho climático de cada especie en el programa MaxEnt 3.4.1, posteriormente en el programa QGIS 2.18.13 “Las Palmas” 2017, se realizaron los mapas de distribución geográfica y potencial, así mismo, se realizó un sobrelapamiento con coberturas raster de bosque seco tropical para observar la relación del nicho climático y la distribución potencial de las especies con este ecosistema boscoso. Como resultados del trabajo realizado se obtuvo un total de 280 registros de herbario, se tiene que las especies de Zygothylaceae tienen mayor distribución en la costa caribe y los valles interandinos de Colombia, por otro lado cabe resaltar que las especies *Bulnesia arborea* y *Bulnesia carrapo* se diferencian por la morfología de sus hojas y su distribución, tal como sucede con las especies de *Kallstroemia*. En conclusión, la familia Zygothylaceae se caracteriza por tener mayor distribución hacia bosques secos tropicales principalmente del caribe colombiano y los Andes dado que en estos lugares poseen las características climáticas necesarias para que las especies lo habiten.

PALABRAS CLAVE: Bosque Seco Tropical, Colombia, Sinopsis, Zygothylaceae.

ABSTRACT

The Zygophyllaceae family is composed of 5 subfamilies, 27 genera and 285 species, distributed in tropical and subtropical areas and in particularly dry regions (Khalik, 2012). In Colombia, 7 species in 4 genera segregated are published (Bernal et. Al, 2016), of which taxa as *Bulnesia arborea* (Jacq.) Engl. and *Bulnesia carrapo* Killip & Dugand present difficulties at the time of segregation, since they possess very similar morphological characters. In order to make the taxonomic synopsis and the family niche modeling a study of nomenclatural types of species reported for the country, analyzing its taxonomic history, synonymy and current validity, based on this were reviewed the protologues for each species; similarly, reviewed the material in the herbaria that reported the species from the family; included within these herbaria, COL, CUVC, FMB, HEUS, HUA, JAUM & MEDEL; for the potential distribution, an analysis of main components (PCA) in which determined the coming WorldClim variables needed in the modeling of the climatic niche of each species in the MaxEnt 3.4.1 program, later in the QGIS 2.18.13 "Las Palmas" program 2017, were geographical and potential distribution maps, also held an onlapping cover raster of tropical dry forest to observe the relationship of the climatic niche and potential distribution of species with this forest ecosystem. As results of the work done was obtained a total of 280 Herbarium records, is that species of Zygophyllaceae have greater distribution on the Caribbean coast and the inter-Andean valleys of Colombia, on the other hand it should be note that species *Bulnesia arborea* and *Bulnesia carrapo* are distinguished by the morphology of their leaves and their distribution, such as with *Kallstroemia* species. In conclusion, the family Zygophyllaceae is characterized by greater distribution to tropical dry forests mainly of the Colombian Caribbean and los Andes given that in these places possess the necessary climatic characteristics so that species the dwell.

Key words: Tropical Dry Forest, Colombia, Synopsis, Zygophyllaceae.

INTRODUCCIÓN

La familia Zygophyllaceae está compuesta por 5 subfamilias, 27 géneros y 285 especies aproximadamente, las cuales se encuentran distribuidas en zonas tropicales, subtropicales y en regiones particularmente secas (Khalik, 2012). En el caso de Colombia, recientemente se publicaron 7 especies segregadas en 4 géneros (Bernal et al., 2016), cuya distribución es desconocida dada la carencia de un tratamiento taxonómico reciente que permita determinar con exactitud cuántas entidades taxonómicas realmente se distribuyen en el territorio colombiano, teniendo en cuenta que taxones como *Bulnesia arborea* (Jacq.) Engl. y *Bulnesia carrapo* Killip & Dugand presentan dificultades al momento de su segregación, al igual que especies de *Kallstroemia* puesto que poseen caracteres morfológicos muy similares.

De igual forma, realizar una sinopsis taxonómica es de suma importancia para esta familia, ya que dentro de esta se ubican especies que presentan algún grado de amenaza (*B. arborea*: en peligro (EN), *B. carrapo*: casi amenazada (NT) y *Guaiacum officinale*: en peligro (EN) y en nuestro país en peligro crítico (CR) (Cárdenas & Salinas (2006); Bernal et al. (2016)), de las cuales se desconoce su actual distribución, de tal forma que se puedan determinar aquellas localidades donde habitan y así proponer espacios para la conservación en estas zonas.

Con respecto a su relevancia florística y ecosistémica, diferentes estudios florísticos han propuesto que Zygophyllaceae en conjunto con Capparaceae y Cactaceae son familias importantes en términos de endemismos en los bosques secos tropicales (bs-t) (Pennington & Ratter, 2006). No obstante, esta asunción no ha sido probada para esta familia, de tal forma que aún se sigue desconociendo realmente si las especies de Zygophyllaceae solo se distribuyen hacia estos ecosistemas. En este sentido, realizar una revisión permite verificar y actualizar la distribución geográfica a partir de los ejemplares depositados en herbarios, información básica para implementar modelos que permitan identificar el nicho climático de Zygophyllaceae para Colombia y por lo tanto, si estos taxones se distribuyen realmente sobre los biomas secos, lo cual es de suma importancia, ya que estos bosques actualmente se encuentran fuertemente amenazados y degradados en el país (Pizano et al, 2014).

Según lo anterior, se ha estimado que la extensión original bs-t era de unos 80.000 km², lo que representa algo más del 7% del territorio Colombiano (Díaz, 2006). De hecho, en análisis de

distribución realizado en estos ecosistemas indican que un 65% de los terrenos que con anterioridad correspondían a bosque seco hoy día presentan deforestación. Lo alarmante de esta situación es que sólo el 5% de lo que queda, es decir, el 4% de lo que había son áreas protegidas para la conservación (Pizano, 2014). En este sentido, si al emplear los datos de distribución y modelamiento del nicho climático en Zygophyllaceae permiten establecer que sus especies solo habitan en estos ecosistemas, existe una gran posibilidad que con la degradación de estos biomas dichos taxones también sean afectados. Asimismo de establecer esta relación y asumiendo las especies con algún grado de amenaza, la información aquí obtenida soportaría la implementación de áreas prioritarias para la conservación en los bosques secos tropicales.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Realizar la sinopsis taxonómica y el modelamiento de nicho de la familia Zygophyllaceae para Colombia.

1.2 Objetivos específicos

1.2.1 Realizar un tratamiento taxonómico de la familia Zygophyllaceae para la flora de Colombia.

1.2.2 Determinar la distribución geográfica de las especies de la familia Zygophyllaceae presentes en Colombia.

1.2.3 Establecer el nicho climático de las especies de la familia Zygophyllaceae presentes en Colombia y su relación con el bosque seco tropical (Bs-T).

2. MARCO DE ANTECEDENTES

2.1 Historia taxonómica de la familia Zygophyllaceae

Zygophyllaceae es una familia de angiospermas descrita por Robert Brown en 1814, cuyo nombre proviene del género tipo *Zygophyllum* L. el cual procede del griego zygon que significa “yugo”, y phyllon “hoja”, haciendo referencia a los foliolos emparejados (Tamayo & Cetzal, 2016). Se caracteriza por tener hábitos arbustivos, subarbustivos, hierbas (anuales y perennes) y arborescentes; con tricomas simples; hojas opuestas, algunas veces alternas por aborto, pecioladas, paripinnadas, foliolos generalmente opuestos, sésiles o levemente peciolulados, estipulas presentes. Flores simétricas o asimétricas, bisexuales, solitarias o en fascículos; pétalos 5, libres o unidos a la base. Estambres 10, hipóginos, anteras con dos tecas, basifijas o versátiles, gineceo sincárpico, ovario generalmente súpero. Frutos en capsulas septicidas, loculicidas o esquizocarpo, mericarpos tuberculados o espinos; semillas con o sin endospermo, ariladas o no ariladas (Stafford, 2010).

Con respecto a la historia taxonómica de la familia, uno de los estudios taxonómicos más importantes se encuentra el realizado por Engler (1931) quien divide la familia en siete subfamilias (así como en tribus y subtribus), incluyendo dentro de estas a Nitrarioideae, Peganoideae y Tetradiclidoideae las cuales fueron excluidas más tarde; las otras cuatro corresponden a Morkillioideae (como Chitonioideae), Balanitoideae, Zygophylloideae y Augeoideae, cuya permanencia en la familia aún es palpable en sistemas de clasificación actuales (Sheahan, 2007).

Por otra parte, otro de los autores que analizo de forma relevante la taxonomía de este clado fue Takhtajan (1966) quien separó varios géneros como familias distintas, de tal manera que propuso a *Nitraria* en Nitrariaceae, *Balanites* en Balanitaceae, *Peganum* y *Malacocarpus* en Peganaceae y transfirió *Tetradiclis* a Rutaceae a pesar que carece de ciertas características propias de esta última familia. Posteriormente, el mismo Takhtajan (1980) regresó Peganaceae a Zygophyllaceae dada la carencia de caracteres sinapomórficos que soportaran a Peganaceae como un grupo de mayor rango taxonómico.

Años más tarde, Cronquist (1981) ubica a Zygophyllaceae dentro de la subclase Rosidae y el orden Sapindales; la propone con cerca de 30 géneros y 250 especies; de igual forma, considera que *Zygophyllum* con cerca de 90 especies es el género más importante para la familia en términos de abundancia; además incluye en la familia a *Guaiacum*, *Larrea*, *Peganum* y *Tribulus*. Del mismo modo, manifiesta que esta es una familia sin cohesión alguna ya que la carencia de sinapomorfías claras que definieran a la familia no habían sido propuestas de forma robusta, lo cual incluso había llevado a elevar o descender taxonómicamente diferentes géneros a través de la historia taxonómica conocida por el autor a la fecha (Cronquist, 1981).

Por otra parte y analizando las relaciones evolutivas a partir de datos morfológicos y moleculares, Sheahan & Chase (1996) establecen en Zygophyllaceae alrededor de 25 géneros y 250 especies, además proponen a Zygophyllaceae como una familia heterogénea y anotan que muchos sistemáticos han intentado segregar algunos géneros en familias independientes debido a su heterogeneidad, por lo que ha sido relacionada con órdenes como Geraniales, Sapindales y Rutales (Sheahan & Chase, 1996), lo cual es observado en los estudios de Hutchinson (1973) y Thorne (1992) quienes relacionan dicha familia con Linales y Malpighiales respectivamente. Sin embargo, Sheahan & Chase (1996) en sus análisis, utilizando las secuencias del gen *rbcL* encontraron que el grupo hermano de Zygophyllaceae (aparte de *Krameria*) es un clado que contiene miembros de Polygalales.

De acuerdo a estos resultados, es decir a la falta de afinidad de esta familia a un orden determinado, Sheahan & Chase (1996) consideraron justificable generar un nuevo orden (Zygophyllales) que incluya a Zygophyllaceae y clados relacionados, aunque en ese momento dicha hipótesis no estaba totalmente probada debido a que se hacía necesario un amplio análisis molecular. Según lo anterior, Takhtajan (1997) hace una nueva clasificación de la familia ubicándola dentro del súper orden Geraniales, postulándola en el orden Zygophyllales junto con Peganaceae, Balanitaceae, Nitrariaceae y Tetradielidaceae. Así mismo, incluye varios géneros dentro de la familia que incluyen *Miltianthus*, *Bulnesia*, *Pintoa*, *Porlieria*, *Plectocarpa*, *Metharme* y *Fagonia*.

Más adelante, APG (1998) en su primer sistema de clasificación, señalan que Balanitaceae y Tribulaceae son grupos cercanos a Zygophyllaceae y son incluidas dentro del orden Zygophyllales,

el cual había sido propuesto como un nuevo orden, pero sin ser aceptado para este momento. Del mismo modo, Sheahan & Chase (2000) al revisar nuevamente la sistemática de Zygophyllaceae basándose en secuencias de ADN, mantuvieron la clasificación realizada en 1996 con relación al número de géneros y especies. Además, indicaron que Krameriaceae, la cual había sido integrada como una subfamilia de Zygophyllaceae, realmente según la información filogenética es el grupo hermano de esta última. En este sentido, Beier et al. (2003) basándose en análisis filogenéticos y de acuerdo con la clasificación realizada por Sheahan & Chase (2000) establece que la familia se divide en 5 subfamilias (Zygophylloideae, Larreoideae, Seetzenioideae, Tribuloideae y Morkillioideae), con cerca de 27 géneros y aproximadamente 285 especies que aún permanecen en Zygophyllales; es decir, disminuye el número de géneros con respecto a los propuestos por Cronquist en 1981.

Posteriormente, APG II (2003), los resultados descritos por Sheahan & Chase (2000) son soportados, ya que Zygophyllaceae y Krameriaceae aparecen como grupos hermanos, pero además estas son incluidas dentro del clado Eurosides I. Del mismo modo, sugieren unir las dos familias, ya que al ser Krameriaceae monogenérica y por lo tanto existe menos ventaja nomenclatural al mantener una familia monogenérica cuando existe una clara relación con otra. Sin embargo, el problema que presentaba tal combinación taxonómica es la carencia de evidencia filogenética y de rasgos o caracteres sinapomórficos compartidos. De igual forma, APG III (2009) también estableció a Zygophyllaceae dentro del orden Sapindales y consideró a Peganaceae como posible sinónimo de Nitrariaceae, por lo que en algún tiempo fueron nombrados miembros de Zygophyllaceae (APG II, 2003). Asimismo, consideran que el orden Balanitales y las familias Balanitaceae, Tribulaceae y Krameriaceae tienen relación con Zygophyllaceae, de tal manera que sugieren que estas conformen un solo clado anidado en Zygophyllaceae.

Por su parte, Sheahan (2007) basado en la clasificación de Engler (1931) en cuanto a la división de Zygophyllaceae en siete subfamilias, notifica la exclusión de tres de estas (Nitrarioideae, Peganoideae y Tetradiclidoideae), el resto (Morkillioideae (como Chitonioideae), Balanitoideae, Zygophylloideae y Augeoideae permaneció vigente en ese momento. Bajo este contexto, Sheahan (2007) analiza la consideración particular que tuvo Engler sobre Augeoideae (conformada solo por *Augea*), de ser adicionada a Zygophylloideae. En este sentido, sus resultados sugieren la

eliminación de Augeoideae y la adición de *Augea* a Zygophylloideae. De igual forma, en sus datos también se propone la monofilia de Morkillioideae conformada por los géneros *Morkillia*, *Viscainoa* y *Sericodes*.

APG III (2009) considera que aunque Krameriaceae es monogenérica, se puede distinguir fácilmente de la heterogénea Zygophyllaceae aun cuando las dos son consideradas taxones hermanos. Sin embargo, la combinación de estas familias simplemente haría a Zygophyllaceae mucho más heterogénea, por ello APG III (2009) establece que es necesario construir un orden para este par de familias dado que están situadas como hermanas de un clado que contiene más de dos órdenes en Fabides como lo indica Wang et al. (2009) en sus estudios.

Por otra parte, otro de los problemas observados en la clasificación de esta familia, ha sido su posición dentro de un orden y a su vez la ubicación del orden dentro de una división. Por ejemplo, Takhtajan (2009) contrario a lo que había definido en 1997, establece a Zygophyllaceae en el súper orden Rutane, manteniendo aún el orden Zygophyllales y las familias acompañantes (Peganaceae, Balanitaceae, Nitrariaceae y Tetradiclidaceae).

Simultáneamente, Wang et al. (2009) estudia las relaciones evolutivas de Zygophyllales con respecto a otros órdenes. Dentro de sus resultados basados en inferencias filogenéticas a partir de máxima parsimonia (MP) y verosimilitud (ML), muestran que en el árbol más parsimonioso Zygophyllales presenta más relación con clados al interior de Malvidae como hermana de Geraniales. No obstante, esta hipótesis es diferente a la establecida por ML, en la cual Zygophyllales presenta mayor relación con Fabidae. Estos autores consideran que dichos conflictos quizá se deben a los problemas inherentes que se observan en las ramas largas de la parsimonia; en este sentido, los nodos del árbol con máxima verosimilitud tienen un alto soporte de Bootstrap y contrario a esto, el análisis de parsimonia se presenta con un bajo soporte del mismo. Por ello, al obtener un 100% en la verosimilitud indica que Zygophyllales es hermana de dos subclados pertenecientes al clado Fabide (el clado fijador de nitrógeno (Cucurbitales, Fagales, Fabales y Rosales) y el clado COM (Celastrales, Oxalidales y Malpighiales)).

En este sentido, en APG IV (2016) se ven reflejado y confirmados los resultados obtenidos en APG III (2009), dentro de los cuales esta familia junto con Krameriaceae hace parte del orden Zygophyllales y del clado Fabide en el que también se incluyen como hermanos de dicho orden a los órdenes Fabales, Rosales, Fagales, Cucurbitales, Oxidales, Malpighiales y Celastrales.

3. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

3.1 Concepto filogenético de especie

Según Platnick (2000), el termino especie se define como una agregación de poblaciones (sexuales) o linajes (asexual) diagnosticables por una única combinación de los estados de caracteres. Esto representa un concepto unitario de especie, donde las especies filogenéticas son a la vez las unidades básicas de la nomenclatura científica, la clasificación de Linneo, y la evolución orgánica. Teniendo en cuenta diferentes procesos evolutivos, que van desde las formas asexuales clonales a los organismos sexualmente reproductivos, donde las especies filogenéticas representan el producto final (Platnick, 2000).

3.2 Taxonomía

La taxonomía es una parte importante de la sistemática que tiene en cuenta cuatro componentes: descripción, identificación, nomenclatura y clasificación (Simpson, 2010). Las unidades de estudio son taxones, que se definen como un grupo de organismos delimitados (Simpson, 2010). Lo más importante aquí es que los taxones deben tener una propiedad conocida como monofilia y son ubicados en una posición determinada. Cabe señalar que los cuatro componentes de la taxonomía no se limitan a los estudios formales de sistemática, pero son la base de casi todos los campos de estudios biológicos, en los que se describen las entidades conceptuales, y son identificados, nombrados y clasificados (Simpson, 2010).

3.3 Bosque seco tropical

El bosque seco tropical se puede definir como un tipo de vegetación que experimenta un periodo de sequía de entre 5 o 6 meses con procesos ecológicos marcados por esta estacionalidad

(Pennington & Ratter, 2006). En un sentido más estricto, autores como Sánchez et al. (2005) definen al bosque seco tropical como un tipo de vegetación dominado por árboles deciduos donde las especies vegetales presentes son tolerantes a la sequía, la temperatura anual está alrededor de 25 °C, la precipitación anual total es de 700 a 2000 mm, y pocos meses de sequía menores a 100 mm al año. Así mismo, Dirzo et al. (2011) establecen que el bosque seco tropical se caracteriza por presentar una evapotranspiración potencial que supera a la precipitación, una temperatura promedio anual de 17°C con precipitaciones anuales entre 250 a 2000 mm. De las anteriores definiciones, Pizano et al. (2014) está de acuerdo con la definición de Mooney et al. (1995), quienes recalcan que el bosque seco tropical (BST) ocurre en tierras bajas con una alta estacionalidad de lluvias.

3.4 Nicho ecológico

El concepto moderno de nicho fue propuesto por Hutchinson (1957), como un hipervolumen en un espacio ecológico multidimensional, determinados por los requerimientos de la especie para reproducirse y sobrevivir. Según esta definición, cada dimensión del nicho representa una variable ambiental importante para la supervivencia de la especie. Las variables que dan forma al nicho ecológico de la especie pueden ser bióticas o abióticas, y pueden representarse mediante valores numéricos como temperatura, precipitación, entre otros. Este hipervolumen representa el nicho fundamental Hutchinson (1957).

Hutchinson (1957) además definió el concepto de nicho efectivo como el espacio ecológico y geográfico en el que la especie vive en efecto. Esto se debe principalmente a dos factores: en primera instancia, la especie debe ser capaz de alcanzar el lugar, y esto depende de su capacidad de colonización y el alejamiento del sitio. Segundo, su presencia puede ser impedida por la acción de individuos de otras especies que compiten con la especie o se alimentan de la misma.

3.5 Modelos de distribución de especies (MDE)

El modelo de distribución de especies es definido como una representación parcial de la realidad que refleja algunas de sus propiedades (Guisan & Zimmermann 2000). Los modelos de distribución de especies son por tanto representaciones cartográficas de la idoneidad de un espacio

para la presencia de una especie en función de las variables empleadas para generar dicha representación. La idoneidad no es más que la relación matemática o estadística entre la distribución real conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores. Estas variables suelen ser geológicas, topográficas o climáticas, y se espera que con algunas de ellas, individualmente o en combinación, se puedan definir los factores ambientales que delimiten las condiciones favorables para la presencia de la especie (Guisan & Zimmermann 2000).

3.6 Diagrama BAM

Entre los factores que determinan el área de distribución de una especie, se encuentran sus tolerancias ambientales (su nicho fundamental), la presencia o ausencia de otras especies y las posibilidades de dispersión en períodos de tiempo y desde áreas originales de gran importancia (Cain, 1944; Gaston, 2003; Good, 1931; Udvardy, 1969). De este modo, el área de distribución depende de diversos actores, más que el simple nicho fundamental de la especie, por lo que esto es llamado diagrama BAM (Soberón & Peterson, 2005).

El diagrama BAM muestra que una especie tiene altas probabilidades de ser observada en aquellas regiones del planeta donde: (a) existan las condiciones abióticas necesarias, simbolizadas por **A**; (b) existan las condiciones bióticas favorables **B**, en otras palabras, el medio biótico de la especie y (c) hayan estado accesibles a la dispersión de la especie desde la región de su origen histórico, o bien desde alguna región definida en un momento temporal relevante **M**, que corresponde a la región del planeta accesible a la dispersión (Svenning & Skov, 2004).

3.7 MaxEnt (Máxima Entropía)

Es un método de inteligencia artificial que aplica el principio de máxima entropía para calcular la distribución geográfica más probable para una especie. MaxEnt estima la probabilidad de ocurrencia de la especie buscando la distribución de máxima entropía (lo más uniforme posible) sujeta a la condición de que el valor esperado de cada variable ambiental según esta distribución coincide con su media empírica (Phillips et al., 2006). El resultado del modelo expresa el valor de idoneidad del hábitat para la especie como una función de las variables ambientales. Un valor alto

de la función de distribución en una celda determinada indica que ésta presenta condiciones muy favorables para la presencia de la especie (Phillips et al., 2006). MaxEnt puede utilizar variables cualitativas, otorgando a cada valor de la variable un peso relativo al número total de puntos de presencia que contiene. El programa proporciona las curvas de respuesta de la especie ante las distintas variables ambientales y estima la importancia de cada variable en la distribución de la especie (Phillips et al., 2006).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Fase de herbario

Para definir las entidades taxonómicas correspondientes a Zygophyllaceae se realizó un estudio de los tipos nomenclaturales de las especies reportadas en el país, analizando su historia taxonómica, sinonimia y validez actual, disponible en las bases de datos de Tropicos® (2016). Con base en estos datos se revisaron los protólogos de cada especie e imágenes fotográficas de los tipos en JSTOR® GLOBAL PLANTS (2016). Una vez estudiadas las entidades taxonómicas se revisaron los ejemplares que corresponden a los 7 taxones reportados para el país según el catálogo de plantas y líquenes de Colombia (Bernal et al., 2015). La revisión del material se llevó a cabo en las colecciones de herbarios que reportaran la mayor cantidad de ejemplares de las especies de esta familia. Se incluyó dentro de estos a los herbarios COL, CUVC, FMB, HEUS, HUA, JAUM y MEDEL. Los acrónimos de los herbarios citados siguen a Holmgren et al. (1990).

4.2. Sinopsis taxonómica

Con base en la revisión de herbarios se elaboraron descripciones actualizadas y claves para las especies, teniendo en cuenta la reevaluación de los caracteres vegetativos y reproductivos. Así mismo, la distribución de las especies se estableció con base en los datos de distribución geográfica de los ejemplares de herbario. Del mismo modo, se utilizaron los nombres vernaculares reportados en el catálogo virtual de nombres comunes de las plantas de Colombia de la Universidad Nacional de Colombia (Bernal et al., 2017. biovirtual.unal.edu.co/nombrescomunes). Finalmente, se elaboraron mapas de distribución actual por especie para Colombia, utilizando el programa QGIS 2.18.13 “Las Palmas” 2017.

4.3 Modelo de nicho y distribución potencial.

Para establecer el nicho climático de las especies de Zygophyllaceae presentes en Colombia y su relación hacia el bosque seco tropical, inicialmente fueron descargadas las variables bioclimáticas de WorldClim a una escala de 30 s, aproximadamente 1 km² en la línea del ecuador (Tabla 1) en formato tipo RASTER (Fick & Hijmans 2017). Estas fueron cargadas junto a los registros geográficos de todos los individuos registrados en Colombia para cada especie, con el fin de extraer de cada posición geográfica los valores climáticos asociados a cada registro. Con esta información

se obtuvieron los datos promedios de cada variable bioclimática para cada especie. Todos los análisis espaciales fueron elaborados en QGIS 2.18.13 “Las Palmas” 2017.

Con base en los datos de especies y variables climáticas fue elaborado un análisis de componentes principales (PCA), con el fin de determinar aquellas variables relacionadas estadísticamente y escoger las que mejor representaran el nicho climático de las especies y emplearlas en el modelamiento de su nicho. Asimismo, con el fin de verificar la correlación entre estas variables fue elaborada un escalamiento multidimensional (MDS) empleando un índice de similitud de correlación de Pearson, el cual también permitió identificar aquellas que se superponían dada su similitud. Todos los análisis estadísticos fueron desarrollados en PAST 3.0 (Hammer, Ø.).

Tabla 1. Parámetros utilizados por el programa MaxEnt para modelar el nicho y generar los mapas de distribución potencial de seis especies de Zygophyllaceae en Colombia.

Variables WorldClim	Unidad
BIO 1. Temperatura media anual.	°C
BIO 2. Rango de temperatura media diurna (temperatura media mensual (T Max – T Min)).	°C
BIO 3. Isotermalidad (BIO2 / BIO7) (100).	°C
*BIO 4. Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar × 100).	Coefficiente de variación, en %
BIO 5. Temperatura máxima del mes más cálido	°C
BIO 6. Temperatura mínima del mes más frío.	°C
BIO 7. Oscilación anual de la temperatura (BIO5-BIO6).	°C
*BIO 8. Temperatura media del cuarto más húmedo.	°C
*BIO 9. Temperatura media del cuarto más seco.	°C
BIO 10. Temperatura media del cuarto más cálido	°C
BIO 11. Temperatura media del cuarto más frío.	°C
BIO 12. Precipitación anual.	mm
*BIO 13. Precipitación del mes más húmedo.	mm
*BIO 14. Precipitación del mes más seco.	mm
*BIO 15. Estacionalidad de precipitación (Coeficiente de variación)	Coefficiente de variación, en %
*BIO 16. Precipitación del cuarto más húmedo.	mm
*BIO 17. Precipitación del cuarto más seco.	mm
BIO 18. Precipitación del cuarto más cálido.	mm
*BIO 19. Precipitación del cuarto más frío.	mm

Las variables utilizadas en los modelos se denotan con *

Una vez obtenidas las variables a modelar, estas fueron cortadas a través de un shapefile de Colombia para generar el “M”, los cuales posteriormente fueron transformados en capas tipo ASCII para finalmente determinar el nicho climático de cada taxón, empleando el enfoque de Máxima Entropía (MaxEnt). Para este trabajo se utilizó la versión 3.4.1 (Phillips et al., 2006) con actualización al 2017. En general, este algoritmo detecta las relaciones no aleatorias entre los registros georreferenciados de la presencia de las especies, y el conjunto de coberturas “raster” de datos digitales que representan a las variables climáticas necesarias para determinar la distribución de las especies en una escala particular de análisis (Phillips et al., 2006).

Utilizando las coberturas de las variables ambientales y los datos de presencia, se llevó a cabo el modelamiento con MaxEnt. El 75 % de los registros de presencia fueron utilizados como puntos de entrenamiento y el 25 % como puntos de validación, se utilizó además un tipo de corrida Bootstrap y 40 réplicas con un formato de salida “logistic”, un análisis de datos “Auto features” y 500 iteraciones. El formato de salida analizado en la corrida de MaxEnt es acumulativo (en un rango de 0 a 100), el cual indica una idoneidad de hábitat relativa de cada píxel de ocurrencia de la especie. Las bases de datos de las especies utilizadas para modelar constaron de: nombre de la especie, longitud y latitud (coordenadas geográficas en formato decimal) en un archivo Excel con una extensión delimitada por comas “csv” para ser leído por el programa. Cabe resaltar que este programa fue escogido para dicho modelo debido a que en estudios comparativos realizados con anterioridad demostraron que se desempeña bien incluso con muestras de tamaños pequeños (Hernández et al. 2006, Elith et al. 2006, Phillips et al. 2006); para ello, se evaluó la confiabilidad en la proyección de los modelos con el valor AUC para las especies. Cabe resaltar que por los pocos datos de presencia que posee la especie *Kallstroemia parviflora*, no fue posible hacer el modelamiento de la misma. Con base los mapas de distribución, se llevó a cabo un sobrelapamiento del mapa digital del bosque seco tropical en Colombia propuesto por el Instituto Alexander von Humboldt en 2014 a escala 1:100.000 (Ariza et al., 2014) el programa QGIS 2.18.13 “Las Palmas” 2017.

5. RESULTADOS

5.1 Tratamiento taxonómico para la familia Zygophyllaceae en la flora de Colombia

Zygophyllaceae R. Br. A Voyage to Terra Australis 2: 545. 1814. (19 Jul 1814) (Voy. Terra Austral.); **espécimen tipo:** *Zygophyllum* L. Species Plantarum 1: 385. 1753. (1 May 1753) (Sp. Pl.).

Árboles, arbolitos, arbustos o hierbas anuales o perennes, tallos herbáceos, postrados a tallos con corteza fuerte, resinosos, con lenticelas y ritidomas en sus ramas. *Hojas* compuestas, generalmente opuestas, paripinnadas e imparipinnadas, raquis pubescente a glabro, en algunos casos alado, concolora o discolora; foliolulos alternos, en ocasiones opuestos, glabrescentes en el haz a pubescentes en el envés, de 2–15 (20), generalmente subsésiles, estipulas presentes, rara vez ausentes; lámina lanceolada, oblonga, obovada o elíptica u oval, papirácea a coriácea, base desigual, asimétrica, ápice obtuso a cuspidado, en ocasiones mucronado o emarginado; margen entero, glabro en el haz a pubescente en el envés, venación camptódroma, con 2–4 pares de venas paralelas. *Inflorescencias* solitarias, cimosas en dicasios terminales o subterminales y en umbela. *Flores* hermafroditas, actinomorfas; pedicelos ligeramente pubescentes. *Cáliz* con estivación imbricada. *Sépalos* con 5 meros, glabros ventralmente y pubescentes dorsalmente, obovados, triangulares a lanceolados o lineares, en ocasiones ovalados a redondos, ápice obtuso a cuspidado o acuminado. *Pétalos* con 5 meros valvares, ovados, obovados o unguiculados con lamina reniforme a espatulada, amarillos, amarillo–naranja, crema, púrpura, o blancuzcos. *Androceo* con 10 meros, glabros, uniseriados o biseriados (5 largos y 5 cortos) adnados o no a la base de los pétalos, filamentos lisos o escamosos, amarillos o blancos; anteras ditecadas, glabras, dorsifijas, globosas a oblongas, dehiscentes. *Ginóforo* con ovario súpero, carpelar o alado, verde a marrón, placentación axilar, 1 o más óvulos por lóculo; estigma cónico a truncado o filiforme, glabro o cortamente pubérulo. *Fruto* esquizocárpico, alado o no, capsular, mericarpos glabros o ligeramente pubérulo, en algunos casos espinosos. *Semillas* 1 o 2 por mericarpo, elipsoides, obovadas, reniformes a semicircular o hemielípticas, ariladas o no.

5.2 Clave para géneros y especies de Zygophyllaceae en Colombia.

- 1a.** Hojas con raquis y peciolo no alado; foliolulos alternos..... *Bulnesia*
- 1b.** Hojas con raquis y peciolo alado; foliolulos opuestos.....2
- 2a.** Foliolulos con margen pubescente en haz y envés.....3
- 2b.** Foliolulos con margen glabro en haz y envés, de 2-3 pares; lámina oval a obovada.....*Guaiacum officinale*
- 3a.** Frutos esquizocarpos con 8-10 mericarpos sin espinas..... *Kallstroemia*
- 3b.** Frutos esquizocarpos con 4 – 5 mericarpos espinosos, 4 espinas por mericarpo (dos grandes de 0.4 cm y dos pequeñas de 0.2 cm).....*Tribulus cistoides*

5.3 *Bulnesia* Gay.

Bulnesia Gay. Flora Chilena 1(4): 474–476. 1845[1846]. (Fl. Chil.); **espécimen tipo:** *Bulnesia chilensis*. Flora Chilena 1(4): 475–476. 1845[1846]. (Fl. Chil.).

Árboles o arbolitos, tallos glabros con surcos en su corteza longitudinalmente, lenticelas en ramas maduras, tricomas simples en estado juvenil. *Hojas* compuestas, opuestas, dísticas; estípulas triangulares; foliolulos alternos, subsésiles; lámina lanceolada a oblonga u obovados a elípticos, venación camptódroma, con 2–4 pares de venas laterales; base desigual, asimétrica, ápice obtuso a cuspidado, en ocasiones mucronado o emarginado; margen entero, glabro en el haz y pubescente en el envés. *Inflorescencia* cimosa en dicasios terminales y subterminales. *Flores* hermafroditas, actinomorfas, pediceladas. *Cáliz* con estivación imbricada. *Sépalos* con 5 meros, obovados, ápice obtuso a cuspidado, glabros ventralmente y cortamente pubescentes dorsalmente. *Pétalos* con 5 meros, valvares, unguiculados, lámina reniforme a espatulada, amarilla a amarillo – naranja, glabros en la parte ventral, pubérulos en la parte dorsal del ápice. *Androceo* con 10 meros, glabros; filamentos largos de 1.5 cm de longitud, insertos sobre el receptáculo, escamas laciniadas presentes

hacia la parte basal a media de cada filamento, carnosas, amarillas; anteras glabras, ditekadas, dorsifijas, oblongas. *Ginóforo* de 1.5 cm de longitud; ovario súpero de 0.5 cm de longitud, 5 carpelos, 5 lóculos, generalmente 5 óvulos por cada lóculo, alado, placentación axilar, estigma cónico, glabro. *Fruto* esquizocarpo alado, 5 mericarpos de tamaño desigual, membranoso, globoso a subgloboso, glabro, pericarpio delgado. *Semillas* 1 por mericarpo, reniformes a semicircular o hemielípticas, plana, testa con aspecto esponjoso.

5.3.1 Claves para el género *Bulnesia*

Foliolulos de 1.2–4.0 × 0.4–1.1 cm, lámina lanceolada a oblonga; fruto alado hasta de 5.0 cm de largo y 4.0 cm de ancho; en Colombia se distribuye solo en la región Caribe.....*Bulnesia arborea*.

Foliolulos de 2.0–5.0 × 0.8–2.0 cm, lámina obovada a elíptica; fruto alado hasta 6.2 cm de largo y 5.0 cm de ancho; es endémica de Colombia y se distribuye hacia los Valles interandinos y del pacífico de este país.....*Bulnesia carrapo*.

5.3.1.1 *Bulnesia arborea* (Jacq.) Engl.

Bulnesia arborea (Jacq.) Engl. Engl. Die Natürlichen Pflanzenfamilien 3 Abt. 4: 84. 1890. (Nat. Pflanzenfam.). **Basónimo:** *Zygophyllum arboreum* Jacq., Enum. Syst. Pl. 20 1760. **Sinónimo:** *Guaiacum arboreum* (Jacq.) DC., Prodr. 1: 707 1824.

Árbol o arbolito hasta 20 m de alto, tallos glabros con lenticelas en ramas maduras, tricomas simples en estado juvenil. *Hojas* compuestas, dísticas, opuestas e imparipinadas; estípulas triangulares, dispuestas en los nudos del tallo; peciolos con longitud variable en la misma planta de 0.5–1.3 cm, puberulosos; foliolulos alternos, de 10–15(20), de 1.2–4.0 × 0.4–1.1 cm, subsésiles; lámina lanceolada a oblonga, venación camptódroma, con 2–4 pares de venas paralelas, papirácea a coriácea; base desigual, asimétrica, ápice obtuso a cuspidado, en ocasiones emarginado; margen entero, glabro en el haz y pubescente en el envés. *Inflorescencias* cimosas en dicasios terminales y subterminales. *Flores* hermafroditas y actinomorfas; pedicelos con tamaño variable, 1.5–2.8 cm

de longitud, ligeramente pubescente a glabros. *Sépalos* alternipétalos, imbricados, los presentes en el verticilo externo de menor tamaño ($0.6 \times 0.4 \times 0.6$ cm), que los del verticilo interno ($0.7\text{--}0.9 \times 0.6$ cm), obovados, ápice obtuso a cuspidado, verde – amarillentos, glabros en la parte ventral y cortamente pubescentes en la parte dorsal. *Pétalos* con 5 meros valvares, unguiculados, lámina reniforme a espatulada, $2.3\text{--}3.0 \times 2.0$ cm, amarilla a amarillo – naranja, glabros en la parte ventral, pubérulos en la parte dorsal del ápice. *Androceo* con 10 meros, glabros; filamentos largos de 1.5 cm de longitud, insertos sobre el receptáculo, escamas laciniadas presentes hacia la parte basal a media de cada filamento, carnosas, amarillas; anteras glabras, amarillas, ditekadas, dorsifijas de 0.2 cm de longitud. *Ginóforo* de 1.5 cm de longitud, verde; ovario súpero de 0.5 cm de longitud, alado; 5 carpelos, 5 lóculos, 5 óvulos por cada lóculo, placentación axilar, estigma cónico, glabro. *Frutos* esquizocarpos alados, 5 mericarpos de tamaño desigual ($4.0\text{--}5.0 \times 3.0\text{--}4.0$ cm), membranoso, verde brillante en estado juvenil y marrón en su estado adulto, globosos a subglobosos, glabros, pericarpio delgado; pedicelo de 1.8–2.0 cm de largo, pubescente. *Semillas*, una por mericarpo, reniforme a semicircular, testa con aspecto esponjoso, marrón en la madurez, plana, de $1.6 \text{ cm} \times 1.2 \times 0.3$ cm.

Nombres vernáculos: “Guayacán de bola” en La Guajira; “Guayacán” en Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Magdalena, Sucre; “Guayacán blanco” en la Llanura del Caribe; “Guayacán carrapo” en el Atlántico, “Guayacán de piedra” en Bolívar, Córdoba; “Guayacán polvillo” o “Bola” en Atlántico,

Distribución y hábitat: distribución principalmente al norte de Colombia y Venezuela, habita en bosques secos o subxerofíticos y espinosos.

Usos: ornamental en parques, jardines y calles o avenidas en los diferentes departamentos de Colombia en los que se distribuye; así mismo, por su madera pesada es utilizada en la elaboración de muebles.

Especímenes examinados: **Atlántico.** Luruaco, arroyo Piedra, cantera triturados El Calcio de la costa (de José Romero), 75 m, $10^{\circ}38'26.37''\text{N}$, $75^{\circ}6'29.94''\text{W}$, 9 feb 2000, *Correa, 1873* (HUA); Palmar de Varela, a 30 Km de Barranquilla, mar 1934, S.C, 601 (MEDEL); arroyo Piedra, jul 1934, S.C, 2923 (MEDEL); entre Palmar de Varela y Ponedera, hacienda “El Paraíso”, a la orilla del río Magdalena, 10 m, 12 ene 1940, *Dugand & García-Barriga, 2429* (COL); 30 ene 1946, *Dugand & Jaramillo, 4183* (COL); entre Molinero y arroyo Piedras, 27 jul 1943, *Dugand &*

Jaramillo, 3297 (COL); Ponedera, 6 sep 1963, *Duncan*, 1119 (COL). **Bolívar.** Zambrano, Monterrey Forestal, 120 m, 9°37'48''N, 74°06'38''W, 31 ago 1996, *Mendoza*, 1565 (JAUM, FMB); ciénaga de Zambrano, 600 m, 12 ene 1998, *Dueñas & Cortés*, 2814 (COL); hacienda Monterrey, bosque "La Reja", 15 sep 1991, *Zuluaga & estudiantes curso campo continental*, 180 (FMB); Mompox, cementerio central, 70 m, 9°15'N, 74°26'W, 30 may 1993, *Ramírez*, 4626 (JAUM); Cartagena, serranías de La Popa, al pie de la serranía, 50 m, 14 dic 1972, *Hunziker*, 38 (COL); 18 dic 1972, *Hunziker*, 46 (COL); bosque al pie de la ladera, 7 mar 1973, *Hunziker*, 9611, 9612 (COL); 8 mar 1973, *Hunziker*, 9613 (COL); San Juan de Nepomuceno, Loma de los Colorados, 200 m, 9°56'41.70''N, 75°06'01.08''W, 2 Sep 1986, *Cuadros*, 3117 (COL); santuario Los Colorados, 300 m, 9°51'33''N, 75°6'38''W, 19 sep, *Mendoza*, 1632 (FMB); Arjona, 21 oct 2014, *Martínez, S.N.*, (COL). **Cesar.** Bosconia, vereda Boquetigre, finca Bella Luz, 101 m, 9°58'32.2''N, 73°53'27.4''W, 23 sep 2005, *Bernal et al.*, 221 (HUA, JAUM, COL); carretera Manaure-La Paz, 4 Km de La Paz, 200 m, *Forero et al.*, 9975 (COL); entre La Paz y Manaure, serranía del Perijá, 340 m, 19 nov 1985, *Torres & Pinto*, 2884 (COL); vía La Paz a Manaure, 200 m, 25 abr 1967, *Gentry & Cuadros*, 3458 (COL); Valledupar, hacienda El Diamante, 330 metros a la izquierda del río Ariguaní, 50 m, 23 jul 1960, *Acevedo*, 21 (COL); Chimichagua, 41 m, 9°15'15.8''N, 75°48'47''W, 3 mar 2007, *Jiménez et al.*, 21 (COL). **Córdoba.** Verdinal, río Sinú, 200 m, sep 1960, *Espinal*, 290 (MEDEL, COL); Pueblo Nuevo, 320 m, 8°30'N, 75°30'W, 20 ago 1998, *estudiantes de botánica taxonómica MEDEL*, 125 (MEDEL); Lórica, 150 -210 m, 9°15'N, 75°50'W, 3 sep 1998, *estudiantes de botánica taxonómica MEDEL*, 187 (MEDEL); entre Cereté y Ciénaga de Oro, hacienda la Hermita, Berástegui, 30 m, 30 Mayo 1950, *García-Barriga*, 13428 (COL); distrito de riego La Doctrina, 27 oct 1984, *Franco*, 2144 (COL); Moñitos, corregimiento Río Cedro, vereda La Vega, 8 m, 9°7'17.2''N, 76°11'9.2''W, 2 ago 2009, *Avella et al.*, 1695 (COL); plantación Agrosolead, may 2006, *López*, 257 (FMB). **La Guajira.** Barrancas, 1.5 km al sur este de Roche, carretera entre Roche y Tabaco, 6 mar 1981, *Arboleda et al.*, 386 (HUA, FMB); Barrancas, cerca de Manantial en la carretera de Manantial a Albania, 13 nov 1980, *Brunch et al.*, 182 (FMB); Pozo Hondo, 21 nov 1980, *Arboleda et al.*, 240 (HUA); El Cerrejón, *Philip*, S.N (HUA); Fonseca, carretera Distracción - La Chorrera, borde del río Ranchería y llanura aluvial, 250 m, 10°55'N, 72°57'W, 30 ago 1990, *Marulanda & Betancur*, 2075 (HUA); Los Hornitos, *Marulanda & Betancur*, 2100 (HUA); Bosque seco cerca de Fonseca, 175 m, 8 abr 1944, *Haught*, 4060 (MEDEL, COL); Riohacha, caserío Perico, cerca al pantano de Higuito, 4-7 Km al suroeste

del caserío, 5m, 11°21'05''N, 73°09'35''W, 20 jul 2000, *Pérez*, 1280 (MEDEL); Riohacha, media Guajira, 25 m, 11°30'54''N, 72°45'51''W, 23 oct 2004, *Ramírez & Del Valle*, 14 (MEDEL); Carraipía, 24 nov 1953, *Romero*, 4416 (COL); Albania, mina de explotación de carbón El Cerrejón, 90 m, 11°6'69.05''N, 72°6'6.55''W, 22 jun 2013, *Sarmiento*, 466 (COL); entre Alujamana y Paramarito, 18 dic 1957, *Jaramillo*, 750 (COL); Intendencia, Distracción, 20 ene 1963, *Saravia*, 2122 (COL); a 2 Km de Riohacha rumbo a Cuestecitas, 22 ene 1963, *Saravia*, 2162 (COL); rumbo a Cuestecitas, entre 3-5 Km de Riohacha, 14 Oct 1963, *Saravia*, 2816 (COL); de 5-8 Km al oriente de la Riohacha, 20 m, 28 nov 1963, *Cuatrecasas & Romero*, 25447 (COL); entre Riohacha y Maicao, 12 feb 1963, *Saravia*, 2256 (COL). **Magdalena.** Salamina, 20 – 40 m, 10°29'54''N, 74°43'22''W, 16 may 1996, *Rodríguez & Sánchez*, 141 (HUA, JAUM); La pacha, vereda las Palmas, 50 – 100 m, 14 ago 2013, *Sánchez et al.* 5770 (MEDEL); Pedregales de Valledupar, 17 jul 1956, *Del Llano*, 11, 18 (MEDEL); hacienda Ariguaní, 16 ene 1945, *Romero*, 294 (MEDEL, COL); hoya del río Cesar, hoya del río Azucarbuena, región El Callao, hacienda Santa Marta (globe de Maldonado y Potosí), 200 m, 29 – 30 oct 1959, *Cuatrecasas & Romero*, 24961 (COL); Pivijay, Monterubio, 19 jul 1961, *Romero*, 9036 (COL). **Sucre.** Tolú, cerca de la vereda Pita Abajo, 25 m, 9°36'46.91''N, 75°29'54.68''W, 15 jun 2013, *Palacios et al.*, 599 (MEDEL); Ovejas, caserío el Piñal, 20 m, 5 dic 1985, *Salazar, S.N.* (JAUM); Corozal, alrededores de los Palmitos, 25 abr 1963, *Romero*, 9714 (CUVC, COL); Yumal, Toluviejo, 13 dic 1962, *Romero*, 9311 (COL); Colosó, reserva Primates, 300-350 m, 9°30'N, 75°30'W, 17 Nov 1981, *Gentry*, 34771, 256817 (COL); Sincelejo, 213 m, 20 jun 2012, *Mercado & estudiantes de taxonomía*, 853 (HEUS).

5.3.1.2 *Bulnesia carrapo* (Killip & Dugand)

Bulnesia carrapo (Killip & Dugand). *Caldasia* 3: 35. 1944. (Caldasia).

Árbol o *arbolito* hasta 15 m de alto, tallos glabros con lenticelas en ramas maduras, tricomas simples en ramas juveniles. *Hojas* compuestas, dísticas, opuestas, imparipinadas; estípulas triangulares pubérulas dispuestas en los nudos del tallo, peciolos de longitud variable en la misma planta de 0.17–1.0 cm, pubérulos; foliolulos alternos, de 4–10 (12) meros, de 2.0–5.0 × 0.8–2.0 cm, subsésiles; lámina obovada a elíptica, venación camptódroma, con 2–4 pares de venas

paralelas, papirácea a coriácea; base desigual, asimétrica, ápice obtuso a cuspidado, en ocasiones mucronados o emarginados; margen entero, glabro en el haz y pubescente en el envés. *Inflorescencia* cimosa en dicasios terminales y subterminales. *Flores* hermafroditas y actinomorfas; pedicelo con tamaño variable 3.0–3.2 cm de longitud, ligeramente pubescente. *Sépalos* alternipétalos, imbricados, los presentes en el verticilo externo de menor tamaño ($0.8 \times 0.4 \times 0.6$ cm), que los del verticilo interno ($0.7\text{--}0.9 \times 0.6$ cm), obovados, ápice obtuso a cuspidado, verde – amarillentos, glabros en la parte ventral y cortamente pubescentes en la parte dorsal. *Pétalos* con 5 meros valvares, unguiculados, lámina reniforme a espatulada, $2.5\text{--}3.0 \times 2.0$ cm, amarillos a amarillo – naranjas, glabros en la parte ventral, glabros en la parte ventral, pubérulos en la parte dorsal del ápice. *Androceo* 10 meros, glabros; filamentos de 1.5 cm de longitud, insertos sobre el receptáculo, escamas laciniadas presentes hacia la parte basal a media de cada filamento, carnosas, amarillas; anteras glabras, amarillas, ditectadas, dorsifijas de 0.2 cm de longitud. *Ginóforo* de 1.5 cm de longitud, verde; ovario súpero de 0.5 cm de longitud, alado, 5 carpelos, 5 lóculos, 5 óvulos por cada lóculo, placentación axilar, estigma cónico, glabro. *Fruto* esquizocarpo alado, 5 mericarpos de tamaño desigual ($5.0\text{--}6.2 \times 4.0\text{--}5.0$ cm), membranoso, verde brillante en estado juvenil y marrón en su estado adulto, globosos a subglobosos, pericarpio delgado; pedicelo de 2.1–2.3 cm de largo, pubescente. *Semillas* una por mericarpo, reniforme a hemielípticas, testa con aspecto esponjoso, marrón en la madurez, plana $1.8 \text{ cm} \times 1.4 \text{ cm} \times 0.4 \text{ cm}$.

Nombres vernáculos: “Guayacán carrapo” en Cundinamarca y Valle “Guayacán de bola” o “Guayacán” en otros departamentos como Tolima y Caldas.

Distribución y hábitat: distribución endémica de Colombia, y está limitada principalmente a la Región Andina Colombiana, específicamente en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cundinamarca, Tolima y Valle del Cauca. Habita en bosques secos tropicales con suelos arcillosos y en lugares con altitudes que comprenden los 200 y 1900 msnm.

Usos: ornamental en jardines y calles. Debido a su madera dura, fina y resistente es usada para postes de casas y se hace útil en la construcción de cercas vivas.

Especímenes examinados: **Antioquia.** Santa fe de Antioquia, 700 m, 25 feb 1984, *Palacio & Ariza, S.N.*, (HUA); 1 sep 1972, *Del Valle*, 22 (MEDEL); Medellín, 22 mar 1981, *Espinal*, 4497 (MEDEL). **Caldas.** La Dorada, 200 m, feb 1946, *Duque*, 2582 (MEDEL). **Cundinamarca.** Guaduas, patio interno de la casa museo de Policarpa Salavarrieta, 9 dic 1986, *Rivera*, 101

(MEDEL); El Nema, 28 mar 1966, *Murillo et al.*, 807 (COL); 8 km al sur de Puerto Bolívar, finca Las Margaritas, 13 mar 1973, *Hunziker*, 9622 (COL). **Tolima.** Orilla del río Magdalena frente a Cambao, 240 m, 5 oct 1953, *Dugand & Jaramillo*, 4673 (MEDEL); llanos del Tolima, Lérída, 366 m, 14 mar 1965, *García-Barriga*, 18183 (COL); Mariquita, patio de la escuela, frente al lote donde estuvo la expedición botánica, 28 mar 1966, *Murillo et al.*, 808 (COL); carretera Ibagué-Cajamarca, 1250-1900 m, 13 mar 1965, *García-Barriga*, 18166 (COL); Méndez, finca Bremen, 300 m, 5°05'3.17''N, 74°45'8.12''W, 20 nov 1995, *Mendoza et al.*, 1063 (FMB); Mariquita, 250 m, 5°04'36.84''N, 74°47'8.73''W, 11 nov 2013, *López et al.*, 15486 (FMB). **Valle del Cauca.** Cali, 1050 m, mar 1969, *Espinal*, 3524 (MEDEL); 978 m, 30 jun 2010, *Home & Johan*, 64 (CUVC); 1050 m, 18 may 1962, *Alvarez & Vélez*, S.N. (CUVC); 1050 m, *Espinal & Martínez*, 2287 (CUVC); 1050 m, *Espinal & Martínez*, 3524 (CUVC); 1003 m, nov 1968, *Saavedra*, 25 (CUVC); Jamundí, barrio la Estación, 15 oct 1982, *Paz*, 3 (CUVC); entre Cali y Corinto, 23 nov 1980, *Cabrera*, 6239 (CUVC).

5.4 *Guaiacum* L.

***Guaiacum* L.** Species Plantarum 1: 381. 1753. (1 May 1753) (Sp. Pl.); **espécimen tipo:** *Guaiacum officinale* L. Species Plantarum 1: 381–382. 1753. (1 May 1753) (Sp. Pl.). Lectotipo designado por Vail & Rydberg, N. Amer. Fl. 25: 105 (3 Jun 1910).

5.4.1 *Guaiacum officinale* (L.)

***Guaiacum officinale* (L.).** Species Plantarum 1: 381–382. 1753. (1 May 1753) (Sp. Pl.). LT: Sloane, Voy. Jamaica t. 222, f. 3-6 (1725); Lectotipo designado por El Hadidi. Regnum Veg. 127: 51 (1993). **Sinónimos:** *Guaiacum bijugum* Stokes. Bot. Mat. Med. 2: 486 1812. *Guaiacum breynii* Spreng., Syst. Veg. 2: 322 1825.

Árbol o arbolito de 3–5 m de alto, caducifolio, tallo fuerte, resinoso, estípulas triangulares pubérulas dispuestas en los nudos juveniles, lenticelas en ramas jóvenes, ritidomas en tallos y ramas en estado adulto. Hojas compuestas, opuestas, paripinnadas, raquis y peciolos alados (0.3–0.6 cm de largo); foliolulos opuestos, de 2-3 pares, terminales de mayor tamaño (3.9 cm × 2.3 cm),

que el resto (1.7×1.3 cm), subsésiles; lámina oval a obovada, glabro en haz y envés, venación camptódroma, con 2–3 pares de venas paralelas; base desigual, asimétrica, ápice obtuso a cuspidado; margen entero, blancuzco, papirácea a coriácea. *Inflorescencia* en umbela, terminales. *Flores* hermafroditas, actinomorfas; pedicelo de 1.5–2.0 cm de longitud, pubescente. *Sépalos* con 5 meros, imbricados, alternando posición con los pétalos, de 0.4×0.5 cm, glabros en la parte ventral y pubérulos dorsalmente, ovalados a redondos, ápice obtuso a cuspidado. *Pétalos* con 5 meros valvares, lámina ovada, de 1.5×1.0 cm, azul a púrpura, pubérulos en la parte dorsal del ápice. *Androceo* 10 meros, glabros; filamentos de 1.0 cm de longitud, coloración blanca; anteras glabras, ditecadas, de 0.3 cm de longitud, dorsifija. *Ginóforo* de 1.0 cm de longitud, verde a marrón; ovario súpero, placentación axilar, de 1.0 cm de longitud, óvulos globosos; estigma filiforme a cónico. *Fruto* coriáceo, capsular, carnosos, de $1.5\text{--}1.8 \times 1.5 \times 1.0$ cm, exocarpo amarillo a naranja; pedicelo de 2.1 cm de largo, pubérulo. *Semillas* 1 o 2 por endocarpo, elipsoides, castaño, de $1.0\text{--}1.2 \times 0.4\text{--}0.6$ cm y arilo rojizo.

Nombres vernáculos: “Guayacán” en Atlántico, Bolívar, La Guajira, Huila, Magdalena, Sucre, Tolima; “Guayacán” en Bolívar y Sucre; “Guayacán de playa” en el Atlántico; “Guayacán azul” en el Atlántico; “Guayacán chaparro” en Cesar, La Guajira; del mismo modo recibe otros nombres como: “Guayaco”, “Florazul” y “Palosanto”.

Distribución y hábitat: la distribución comprende Las Antillas menores, Cuba, Colombia, Jamaica, Puerto Rico, República Dominicana y Venezuela. En Colombia, se distribuye en gran parte de la Costa Caribe (Atlántico, Bolívar, La Guajira, Magdalena y Sucre), siendo el departamento de La Guajira el que presenta mayor número de registros de la especie. Habita en matorrales xerofíticos, o bosques secos, consolidados en sustratos arenosos o rocosos.

Usos: por su madera dura y fina, esta especie es utilizada para la elaboración de muebles; también, es usada como ornamental en jardines por sus hermosas flores blancas a violetas y por la sombra que proporciona.

Especímenes examinados: **Atlántico.** Barranquilla, predios de la planta Termoflores, zona industrial en cercanías al río Magdalena, 26 m, $11^{\circ}1'43.47''\text{N}$, $74^{\circ}48'45.69''\text{W}$, 11 mar 2013, Vélez J. et al., 4467 (MEDEL); cerca de Salgar, faja litoral del mar Caribe, 7 ene 1941, Dugand A & Jaramillo R, 2730 (COL). **Bolívar.** San Martín de Loba, entre hacienda Las Marías y la ciénaga del Totumo, $10^{\circ}17.5'\text{N}$, $75^{\circ}15.8'\text{W}$, 17 feb 1989, Marulanda O, 823 (HUA); Santa Catalina, el

Astillero, corregimiento Galerazamba, 27 ene 2008, *Contreras R*, 11 (CUVC); Parque Nacional Natural Islas del Rosario, Isla el Encanto, 5 m, ene 2006, *Téllez G*, 431 (COL). **La Guajira.** Riohacha, 3 m, 11°33'N, 72°55'W, 4 jul 2001, *estudiantes botánica taxonómica MEDEL*, 104 (MEDEL); Puerto López, 5 abr 1962, *Saravia C & Johnson D*, 491 (COL); Intendencia, 7 Km de Buenos Aires rumbo a Nuevo Ambiente, 2 mar 1963, *Saravia C*, 2292 (COL); Ipanarú, rumbo a Uribia, 27 abr 1962, *Saravia C & Johnson D*, 598 (COL); entre Uribia y Cardón, 7 nov 1963, *Saravia C & Madriñán S*, 2974 (COL); alrededores de Ipapure, 5 dic 1953, *Romero R*, 4511 (COL); 6 Km de Riohacha, rumbo a Dibulla, en área inundable, 15 abr 1962, *Saravia C & Johnson D*, 546 (COL); entre Nazaret y Puerto Estrella, morro Sitsum, 17 jul 1977, *Bernal H & Sudgen A*, 19 (COL). **Magdalena.** Ciénaga, jardines residenciales Los Alcatraces, 0-20 m, 11°4'40.07''N, 74°12'57.86''W, 11 feb 2007, *Molina D*, 49 (HUA); 16 feb 1950, *Romero R*, 1951 (COL); playa San Fernando, al sur del Santa Marta, 26 dic 1948, *Reichel-Dolmatoff G. et al.*, 121 (MEDEL, COL); Santa Marta, Gaira, 16 abr 1948, *Romero R*, 997 (MEDEL, COL); 18 abr 1956, *Romero R*, 6010 (COL); cerca de Mamatoco, may 1944, *Romero R*, 109 (COL); isla de Salamanca cerca de la finca Mahoma, rincón de Majagualito, 10°59'8.99''N, 74°32'11.98''W, 18 nov 1966, *Schnetter M & Schnetter R*, 106 (COL, FMB); entre la carretera y el mar, 10 dic 1966, *Romero R*, 10492 (COL); 10°58'33.17''N, 74°24'14.22''W, 3 feb 1967, *Schnetter M & Schnetter R*, 240 (COL, FMB); Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, 29 feb 1983, *Moreno L*, 1376 (COL); Pueblo Viejo, alrededores de Trasajeras, 22 jul 1966, *Romero R*, 10311 (COL). **Sucre.** Colosó, Reserva Primates, 300-330 m, 9°30'N, 75°30'W, 17 nov 1981, *Gentry A. et al.*, 34780 (COL); Corozal, Beltrán, 18 abr 1963, *Romero R*, 9631 (COL); Sincelejo, campus Universidad de Sucre, sede Puerta Roja, 117 m, 26 mar 2014, *Álvarez P*, 84 (HEUS); Sincelejo, 20 jun 2012, *Gómez J*, 974 (HEUS).

5.5 *Kallstroemia* Scop.

***Kallstroemia* Scop.** Introductio ad Historiam Naturalem 212. 1777. (Jan-Apr 1777) (Intr. Hist. Nat.); **espécimen tipo:** *Kallstroemia maxima* (L.) Hook. & Arn. The Botany of Captain Beechey's Voyage 282. 1841[1838]. (Jul 1838) (Bot. Beechey Voy.).

Hierbas anuales u ocasionalmente perennes, entre 50–100 cm de longitud; tallos generalmente postrados, difusamente ramificados, tricomas simples abundantes y rectos. *Hojas* compuestas, opuestas, paripinadas, cortamente pecioladas, discolora en el limbo y el raquis, pubescentes; estípulas triangulares, pubérulas; foliolulos opuestos, de 2–4 pares, terminales generalmente de mayor tamaño que el resto, subsésiles; lámina oblonga a obovada, con tricomas cortos en haz y envés, papirácea a coriácea, venación camptódroma, 2–3 pares de venas paralelas; base desigual, asimétrica, ápice obtuso a cuspidado; margen entero, pubescente en haz y envés. *Flores* solitarias, axilares, hermafroditas, actinomorfas, pediceladas. *Sépalos* con 5 meros, libres, triangulares a lanceolados o lineares, ápice acuminado, glabros en la parte ventral y tricomas rectos en la parte dorsal. *Pétalos* valvares, 5 meros, blancos, blanco-crema o amarillos, obovados. *Androceo* 10 meros, glabros, filiformes, biseriados (5 largos en el verticilo interno y 5 cortos en el verticilo externo); filamentos internos con glándulas nectaríferas presentes en la base; anteras glabras, ditecadas, dorsifijas, globosas a oblongas. *Ginóforo* de 0.5–0.6 cm de longitud, verde; ovario súpero, placentación axilar, estigma truncado a cónico. *Fruto* esquizocarpo, 8–10 mericarpos, pubescentes, ovoide a cónico, verde en estado juvenil a marrón en su madurez, dorsalmente rugosos a tuberculados, pedicelados. *Semillas* 1 por mericarpo, obovada, crema, plana.

5.5.1 Claves para el género *Kallstroemia*.

1a. Frutos con 8 mericarpos; pedicelo floral de 2.5 cm de longitud.....*Kallstroemia pubescens*.

1b. Frutos con 10 mericarpos.....2

2a. Estípulas de 0.4 cm de longitud; pedicelo floral de 3.0 cm de longitud; pétalos de 0.6 × 0.4 cm; fruto con pedicelo hasta de 2.6 cm de longitud; su distribución en Colombia es amplia abarcando toda la costa Caribe y algunos departamentos de la región Andina y Pacífica.....*Kallstroemia maxima*.

2b. Estípulas entre 0.5 – 0.7 cm de longitud; con pedicelo floral de 4.0 cm de longitud; pétalos de 1.0 × 0.5 cm; fruto de hasta 4 cm de longitud; su distribución en Colombia está restringida al departamento de Cundinamarca.....*Kallstroemia parviflora*.

5.5.1.1 *Kallstroemia maxima* (Hooker & Arnott).

***Kallstroemia maxima* (Hooker & Arnott).** The Botany of Captain Beechey's Voyage 282. 1841[1838]. (Jul 1838) (Bot. Beechey Voy.). **Basónimo:** *Tribulus maximus* L. species Plantarum 1: 386–387. 1753. (1 May 1753) (Sp. Pl.). **Sinónimos:** *Kallstroemia canescens* Rydb. North American Flora 25: 113. 1910. (N. Amer. Fl.); *Kallstroemia maxima* (L.) Torr. & A. Gray. A Flora of North America: containing. 1(2): 213. 1838. (Oct 1838) (Fl. N. Amer.); *Kallstroemia tribulus* Meisn. Plantarum vascularium genera secundum ordines. 2: 43. 1837. (Pl. Vasc. Gen.); *Tribulus decolor* Macfad. The Flora of Jamaica 186. 1837. (Fl. Jamaica); *Tribulus dimidiatus* Raf. Autikon Botanikon 176. 1840. (Autik. Bot.).

Hierbas anuales o perennes, rastrera de 50–90 cm de longitud, frecuentemente postrada, rara vez erecta, tallo ramificado con coloración rojiza y verde, tricomas simples abundantes y rectos. *Hojas* compuestas, opuestas, paripinadas, pecioladas, con longitud del peciolo 0.5–1.5 cm, discolora en el limbo y el raquis, pubescentes; estípulas triangulares, pubérulas, dispuestas en los nudos del tallo, de 0.4 cm; foliolulos opuestos, de 3–4 pares, terminales generalmente de mayor tamaño (0.9–2.0 × 0.4–0.9 cm) que los restantes (1.8–0.8 × 0.3–0.5 cm), subsésiles; lámina obovada, pubescentes en haz y envés, papirácea a coriácea, venación camptódroma, 2–3 pares de venas laterales; base desigual, asimétrica, ápice obtuso a cuspidado; margen entero, pubescentes en haz y envés. *Flores* solitarias, axilares, alternando posición en el tallo, hermafroditas, actinomorfas; pedicelo de 1.0–3.0 cm de longitud, pubérulo. *Sépalos* con 5 meros, libres, de 0.5 × 0.2 cm, triangulares a lanceolados, ápice acuminado, glabros ventralmente, tricomas rectos dorsalmente. *Pétalos* valvares, 5 meros, de 0.6 × 0.4 cm, blanco–crema a amarillos y base del pétalo verdosa, obovados. *Androceo* 10 meros, glabros, filiformes, biseriados (5 largos en el verticilo interno de 0.4 cm y 5 cortos en el verticilo externo de 0.3 cm); filamentos internos con glándulas nectaríferas presentes en la base; anteras glabras, naranja, oblonga, ditekada, de 0.1 cm, dorsifija. *Ginóforo* de 0.5 cm de longitud, verde; ovario súpero, de 0.3 cm de longitud, placentación axilar, estigma truncado a cónico, generalmente de coloración marrón. *Fruto* esquizocarpo, 10 mericarpos, tricomas rectos presentes, de 0.35 × 0.2 cm, con coloración verde a marrón en su madurez; pedicelo de 1.8–2.6 cm. *Semilla* 1 por mericarpo, obovada, crema, plana, de 0.3 × 0.1 cm.

Nombres vernáculos: “Abrojo” en Cundinamarca; “Verdolaga” en Valle; “Coclí” en Bolívar; “Hierba de pollo” en Santander; también, es conocida como “Yerba de pasmo” en otras partes de Colombia.

Distribución y hábitat: distribución desde los Estados Unidos a México y Sudamérica. En Colombia posee distribución en todos los departamentos de las Regiones Caribe (Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, La Guajira, Magdalena y Sucre), Andina (Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Santander y Tolima) y Pacífica (Valle del Cauca). Habita en matorrales xerofíticos, áreas costeras, bosques secos y en lugares con elevaciones de 0-100 m y 1050 m.

Usos: No conocido.

Especímenes examinados: Antioquia. Liborina, carretera Liborina - Sabana larga, 910 m, 8 mar 1986, *Callejas R. et al.*, 2218 (HUA); Santa Fe de Antioquia, carretera Santa Fe - Manglar, río Tonuzco, 500 m, 3 nov 2000, *Fonnegra R. & Grupo taxonomía de plantas vasculares II*, 732 (HUA); Sopetrán, margen izquierda del Cauca, 2 km abajo del puente de occidente, 500 m, may 1981, *Galeano G*, 390 (HUA, COL); cumbre de Santa Elena, camino de Medellín – Rionegro, 2500 m, 2 abr 1949, *Barva L. et al.*, 448 (MEDEL); Santa Fe de Antioquia, finca Cotové, 700 m, 11 may 1974, *Aguirre J*, 22 (MEDEL); 550 m, 6°34'N, 75°50'W, 30 ago 1997, *estudiantes de botánica taxonómica MEDEL*, 164 (MEDEL); el paso, 0.5 km antes de llegar al casco urbano del Llano, 519 m, 6°32'37.26''N, 75°49'11.05''W, 6 may 2014, *Zapata D*, 519 (JAUM, COL); Salgar, La Garrucha, 850 m, 22 mar 1983, *Ortiz G & Yépez G*, 94 (MEDEL); Liborina, planicie de inundación del río Cauca, 410 m, 21 abr 2002, *Marrugo J. et al.*, 82 (MEDEL); alrededores de Dabeia y orilla derecha del río Sucio, 1350 m, 20 dic 1947, *Gutiérrez G & Barkley F*, 17C485 (MEDEL, COL). **Atlántico.** Usiacurí, hacienda. "Cachubana", 50-60 m, 10 ene 1940, *Dugand A & García-Barriga H*, 2386 (COL); Ponedera, 6 sep 1963, *Porter D*, 1123 (COL); Malambo, 6 sep 1963, *Porter D*, 1118 (COL); alrededores de Galapa y Baranoa, 27 jul 1943, *Dugand A & Jaramillo R*, 3271 (COL); al sur de Barranquilla, cerca de Martillo, 5-10 m, 29 abr 1960, *Mora L*, 1365 (COL). **Bolívar.** Suelos poco secos cerca de Montería, 20 m, 10 ene 1949, *Araque J & Barkley F*, 19Bol68 (MEDEL, COL, CUVC); alrededores de Cartagena, 1942, *Martínez E*, 21 (COL); El Carmen de Bolívar, estación experimental, 6.4 Km al sur del Carmen, 2 feb 1962, *Saravia C & Johnson D*, 9 (COL); Mamonal, área de embalse y casa de bombeo, 0-20 m, 6 jun 1991, *Flórez A & Gutiérrez C*, 49 (COL); vecino de Cartagena, cerca del nivel del mar a los lados

de la carretera, 2-5 nov 1926, *Killip E & Smith A*, 14039 (COL); San Martín de Loba, corregimiento La Ribona, reserva natural El Garcero, finca Buenaventura, 70 m, 9°00'N, 74°03'W, 13 abr 1993, *Ramírez J*, 4560 (JAUM); San Juan de Nepomuceno, santuario Los Colorados, 300 m, 9°51'33''N, 75°6'38''W, 10 sep 1996, *Mendoza H*, 1639 (CUVC). **Boyacá.** Río Ámbica en la confluencia del con el río Cabrera, 1000 m, 3°23'N, 74°49'W, 15 dic 1942, Fosberg F, 19334 (COL); Puerto Boyacá, 6 jun 1952, *Romero R* 3062 (COL). **Cesar.** Rumbo a Codazzi, 20 Km al sur de la Paz, 3 nov 1963, *Saravia C & Madriñán S*, 2951 (COL); La Jagua de Ibirico, la victoria de san Isidro, vereda El Zumbado, trayecto entre la finca de José a Nueva Granada y La Ye, 300-600 m, 18 mar 1996, *Fernández J. et al.*, 13915 (COL); carretera Manaure - La Paz, 200 m, 6 may 1984, *Forero E. et al.*, 9977 (COL). **Córdoba.** Carretera de Cereté a Sahagún, 120 m, 1 jun 1950, *García-Barriga H*, 13445 (COL); Cereté, vereda La Ceibita, 11 ene 1968, *Federación Nacional de Algodoneros*, 20 (COL). **Cundinamarca.** Útica, 21 ene 1968, *Almó D*, 6014 (MEDEL); 13 oct 1962, *Saravia C*, 1354 (COL); Arbeláez, carretera a Girardot, 1400 m, may 1936, *H.G.B.*, 4878 (COL); Girardot, 15 feb 1930, *Foro*, 56 (COL); 500 m, jul 1930, *E.P.A.*, 426 (COL); Nariño, zonas ruderalizadas, 15 feb 1986, *Fernández J & Jaramillo R*, 5190 (COL). **La Guajira.** Fonseca, 120 m, 15 jun 1944, *Mauoht O*, 4202 (COL). **Magdalena.** Ciénaga, 10 m, 25 feb 1950, *Romero R*, 2056 (COL); Pivijay, Monterubio, 19 jul 1961, *Romero R*, 9060 (COL); hoya del río Cesar, hoya del Río Azucarbuena, región el callao, hacienda Santa Marta, globe de Maldonado y Potosí, 200 m, 29-30 oct 1959, *Cuatrecasas J & Romero R*, 24929 (COL); Santa Marta, 250 m, nov 1900, *Smit H*, 572 (COL); Mamatoco, 1944, *Romero R*, S.N (COL). **Santander.** San Cayetano, río Zulia, Planta Termotazajero, 300 m, 24 ene 1998, *Dueñas H*, 2837 (COL). **Sucre.** Corozal, corregimiento Las Palmitas, hacienda Villa Sol, cerca al pueblo de Palmitas, 25 ago 1944, *Gutiérrez G*, 72 (COL); Sincelejo, área urbana, 213 m, 20 jun 2012, *Mercado J*, 974 (HEUS); campus Universidad de Sucre, sede Puerta Roja, 117 m, 26 mar 2014, *Álvarez P*, 45 (HEUS). **Tolima.** Espinal, vereda Santana, finca San Gerónimo, 340 m, 29 abr 1973, *Albert L & Uribe E*, 138, (HUA); Saldaña, cerca de Isosaldaña y del canal principal Boshell Monrique, 370 m, 9 jul 2002, *Osorio A. et al.*, 223 (COL); Armero, 28 abr 1960, *Barrenechea J*, 9 (COL). **Valle del Cauca.** Lobo Guerrero, 1050 m, 12-14 nov 1962, *Saravia C*, 1484 (COL); debajo de Dagua, 91 Km en la ensambladura con la carretera privada al oleoducto del pacífico en el cruce del río Dagua, 800 m, 19 - 20 nov 1963, *Hutchinson P. et al.*, 3088 (COL); entre Cerrito y Palmira,

hacienda El Trejo, 28 dic 1938 – 5 ene 1939, *García-Barriga H*, 06300 (COL); Buga, 1000 m, oct 1967, *Espinal G*, 2232 (CUVC).

5.5.1.2 *Kallstroemia parviflora* (Norton)

***Kallstroemia parviflora* (Norton).** Annual Report of the Missouri Botanical Garden 9: 153, pl. 46. 1898. (Rep. (Annual) Missouri Bot. Gard.). **Sinónimos:** *Kallstroemia intermedia* Rydb., Contr 198: 41–153. 1891-1984; *Kallstroemia laetevirens* Thornber, Contr. U.S. Natl. Herb. 16(4): 143 1913.

Hierbas anuales o perennes, rastrera hasta 100 cm de longitud, frecuentemente postrada, rara vez erecta, tallo ramificado, tricomas simples abundantes y rectos. *Hojas* compuestas, opuestas, paripinadas, discolora en el limbo y el raquis, pecioladas, con longitud del peciolo de 1.0 cm, pubescente; estípulas triangulares, pubérulas, dispuestas en los nudos del tallo, de 0.5–0.7 cm; foliolulos opuestos, de 3–4 pares, terminales generalmente de mayor tamaño ($0.8\text{--}2.0 \times 0.3\text{--}1.0$) que los foliolulos restantes (1.7×0.8 cm), subsésiles; lámina obovada, pubescentes en haz y envés, papirácea a coriácea, venación camptódroma, 2–3 pares de venas laterales; base desigual, asimétrica, ápice obtuso a cuspidado; margen entero, pubescentes en haz y envés. *Flores* solitarias, axilares alternando posición en el tallo, hermafroditas, actinomorfas; pedicelos con tamaños de 1.0–4.0 cm de longitud, pubérulos. *Sépalos* con 5 meros, libres, de $0.5\text{--}0.8 \times 0.2$ cm, lanceolados a lineares, ápice acuminado, glabros ventralmente y tricomas rectos dorsalmente. *Pétalos* valvares, 5 meros, de 1.0×0.5 cm, amarillos, obovados. *Androceo* 10 meros, glabros, filiformes, biseriados (5 largos en el verticilo interno de 0.5 cm y 5 cortos en el verticilo externo de 0.3 cm); filamentos internos con glándulas nectaríferas presentes en la base; anteras glabras, ditecadas, oblonga a globosa, de 0.1 cm, dorsifija. *Ginóforo* de 0.5 cm de longitud, verde; ovario súpero de 0.2–0.3 cm de longitud, placentación axilar, estigma truncado a cónico. *Fruto* esquizocarpo, 10 mericarpos, tricomas rectos, $0.3\text{--}0.5 \times 0.1$ cm, con coloración verde a marrón en su madurez; pedicelo de 1.0–4.0 cm. *Semillas* 1 por mericarpo, obovada, crema, plana, de $0.3\text{--}0.5 \times 0.1\text{--}0.2$ cm.

Nombres vernáculos: No conocido.

Distribución y hábitat: se distribuye desde los Estados Unidos a México y Suramérica. En Colombia, los registros demuestran que tiene particular distribución en el departamento de Cundinamarca. Habita en lugares secos con elevaciones de 400 m.

Usos: No conocido.

Especímenes examinados: Cundinamarca. Acantilados secos arriba del Río Sumapaz, 14 Km al oeste de Melgar, 400 m, 13 jun 1974, *Gentry A. et al.*, 9202 (COL); vía entre Melgar y Girardot, 400 m, 25 mar 2007, *Fernández J.*, 24956 (COL).

5.5.1.3 *Kallstroemia pubescens* (G. Don) Dandy

***Kallstroemia pubescens* (G. Don) Dandy.** Kew Bulletin 10(1): 138. 1955. (Kew Bull.).

Basónimo: *Tribulus pubescens* G. Don A General History of the Dichlamydeous Plants 1: 769. 1831. (Gen. Hist.). Holotipo: Ghana, Don s.n. (BM). Ilustr.: Porter, Contr. Gray Herb. 198: 75, t.3 (1969); **Sinónimos:** *Kallstroemia caribaea* Rydb, N. Amer. Fl. 25: 111 1910; *Kallstroemia glabrata* Rydb, N. Amer. Fl. 25: 112 1910; *Kallstroemia longipes* Rydb, N. Amer. Fl. 25(2): 114 1910.

Hierbas anuales o perennes, rastrera, hasta 100 cm de longitud, frecuentemente postrada, rara vez erecta, tallo ramificado, tricomas simples abundantes y rectos. *Hojas* compuestas, opuestas, discolora en el limbo y el raquis, pecioladas, con longitud del peciolo de 0.3–0.7 cm, pubescente; estípulas triangulares, pubescentes dispuestas en los nudos del tallo, de 0.2–0.3 cm; foliolulos opuestos, de 2–3 pares, terminales generalmente de mayor tamaño (0.8–1.3 × 0.3–1.0 cm) que los foliolulos restantes (1.0 × 0.6 cm), subsésiles; lámina obovada, pubescente en haz y envés, papirácea a coriácea, venación camptódroma, 2-3 pares de venas laterales; base desigual, asimétrica, ápice obtuso a cuspidado; margen entero, pubescentes en haz y envés. *Flores* solitarias, axilares, hermafroditas, actinomorfas; pedicelo con tamaño entre 0.7–2.5 cm de longitud, pubérulo. *Sépalos* con 5 meros, libres, de 0.5–0.6 × 0.1 cm, lanceolados a lineares, ápice acuminado, glabros ventralmente y tricomas rectos dorsalmente. *Pétalos* valvares, 5 meros, de 0.5–0.7 × 0.3–0.5 cm, blancos a amarillos, obovados. *Androceo* 10 meros, glabros, en 2 series (5 largos en el verticilo interno de 0.4–0.5 cm y 5 cortos en el verticilo externo de 0.3 cm), adnados

a la base de los pétalos, filamentos internos con glándulas nectaríferas presentes en la base; anteras glabras, ditedadas, oblongas, de 0.2–0.3 cm, dorsifija. *Ginóforo* de 0.6 cm de longitud, verde; ovario súpero de 0.2–0.4 cm de longitud, placentación axilar, estigma truncado a cónico. *Fruto* esquizocarpo, de 8 mericarpos, tricomas rectos, 0.5–0.7 × 0.4–0.6 cm, con coloración verde a marrón en su madurez; pedicelo de 1.0–2.5 cm. *Semillas* 1 por mericarpo, obovada, crema, plana, de 0.3–0.5 × 0.1–0.2 cm.

Nombres vernáculos: “Atarraya” en Córdoba; “Abrojo” en Cauca, Norte de Santander, Llanura del Caribe; “Manca tigre” y “Perrito” en Norte de Santander, Llanura del Caribe.

Distribución y hábitat: distribución en Norte, Centro y Suramérica. En Colombia se distribuye en algunos departamentos de la Región Caribe (Atlántico, Bolívar, La Guajira, Magdalena y Sucre), Región Andina (Boyacá, Cundinamarca, Huila) y Pacífica (Cauca y Valle del Cauca). Habita en matorrales xerófilos, pastizales y vegetación secundaria, en elevaciones entre los 100 y 1000 m.

Usos: No conocido.

Especímenes examinados: **Atlántico.** Ponedera, Borde de la carretera Pavimentada, 6 sep 1963, *Porter M*, 1120 (COL); Sabanilla, 5 sep 1963, *Porter M*, 1116 (COL). **Bolívar.** San Juan de Nepomuceno, reserva natural Perico, 155 m, 9°56'44.5''N, 75°04'08.4''W, 3 mar 2012, *Betancur J. et al.*, 16441 (COL); Cartagena, isla Tierra Bomba, 10°20'N, 75°32'W, 4 - 6 sep 1989, *Cuadros H*, 4443 (COL). **Boyacá.** Puerto Boyacá, 8 jun 1952, *Romero R*, 3092 (COL). **Cauca.** Galindez - Dos Ríos, Valle del Patía, 550 m, 9 nov 1948, *Yepes S*, 972 (COL); Llanos del río Patía, cerca del pueblo Patía, 600 m, 5 oct 1971, *Espinal S & Ramos J*, 3930 (CUVC). **Cundinamarca.** Entre Viotá y Girardot, 320-560 m, ago 1964, *Saravia C*, 4557 (COL). **Huila.** Desierto de la Tatacoa - San Nicolás, Villa Vieja, carretera entre el pueblo y la inspección de San Alfonso, 350-600 m, 29 oct 2003, *Figueroa Y. et al.*, 374 (COL); 31 oct 2003, *Figueroa Y & Galeano G*, 438 (COL). **La Guajira.** Uribia, serranía Carpintero, 18 may 1981, *Arboleda O. et al.*, 610 (HUA); El Cerrejón, 27 may 1981, *Philip B*, S. N (HUA, CUVC). **Magdalena.** Entre Santa Marta y El Rodadero, 9 oct 1966, *Schnetter M & Schnetter R*, 63 (COL); Santa Marta, centro de acopio “Prodeco”, 4 abr 1976, *Idrobo J*, 8705 (COL); cerro San Fernando, 19 oct 1966, *Schnetter M & Schnetter R*, 6 (CUVC); Isla de salamanca, 25 nov 1966, *Romero R*, 10403 (COL); cerro entre Gaira y Santa Martha, 8 dic 1966, *Romero R*, 10562 (COL); Alto de las minas, 8 jun 1966, *Moreno T*, S.N. (COL); Fundación,

corregimiento de Santa Rosa, 200 m, 18 jul 1971, *Romero R*, 11052 (COL). **Sucre.** Tolú, arroyo Pichillín, 3 Km en la carretera entre Tolú y Coveñas, litoral Caribe en el Golfo de Morrosquillo, 19 sep 1990, Betancur J & Berrio M, 1938 (HUA, COL); alrededores de Sincé, 18 sep 1963, *Romero R*, 9984, 9989 (COL, CUVC); carretera entre Sabanas de Beltrán y Juan Arias, 22 sep 1963, *Romero R*, 10027 (COL); carretera entre Sabanas de Beltrán y San Pedro, 17 sep 1963, *Romero R*, 9974 (COL). **Valle del Cauca.** Palmira, hacienda el Guachal, vereda de Caucaseco, 950 m, 1 may 1988, *Ramos & Paz*, 923 (CUVC); Cali, Calle 34 en borde de Pavimento, 3 dic 1985, *Paz N*, 99 (CUVC); Yumbo, corregimiento de Mulaló cerca a la Calera, por la carretera panamericana, 1000 m, 29 abr 1985, *Ramos J*, 438, (CUVC); Palmira, parqueadero de motos de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira, 1000 m, 11 abr 2013, *Martínez S*, 142 (CUVC).

5.6 *Tribulus* L.

***Tribulus* L.** Species Plantarum 1: 386. 1753. (1 May 1753) (Sp. Pl.); **espécimen tipo:** *Tribulus terrestris* L. Species Plantarum 1: 387. 1753. (1 May 1753) (Sp. Pl.), Lectotipo designado por Vail & Rydberg, N. Amer. Fl. 25: 109 (3 Jun 1910).

5.6.1 *Tribulus cistoides* (L.)

***Tribulus cistoides* (L.).** Species Plantarum 1: 387. 1753. (1 May 1753) (Sp. Pl.). LT: Hermann, Parad. Bat. t. 236 (1698); **Basónimo:** *Kallstroemia cistoides* (L.) Endl., Annalen des Wiener Museums der Naturgeschichte 1: 184. 1836. (Ann. Wiener Mus. Naturgesch.); **Sinónimos:** *Tribulus terrestris* var. *cistoides* (L.) Oliv., Flora of Tropical Africa 1: 284. 1868. (Fl. Trop. Afr.); *Tribulus cistoides* var. *anacanthus* B.L. Rob., Proc. Amer. Acad. Arts 38: 157 1902; *Tribulus cistoides* f. *anacanthus* (B.L. Rob.) Svenson, Amer. J. Bot. 22: 236 1935; *Tribulus cistoides* var. *galapagensis* Svenson, Amer. J. Bot. 22: 235 1935.

Hierbas perennes, hasta 100 cm, tallos postrados, ramificado, pubescentes a glabrescentes en tallos maduros. *Hojas* compuestas, opuestas, pecioladas, con longitud del peciolo de 0.4–0.7 cm,

pubescente; estípulas triangulares pubescentes dispuestas en los nudos del tallo, de 0.4–0.6 cm de longitud; foliolulos opuestos, hasta 7 pares, terminales y basales de mayor tamaño ($1.0 - 1.8 \times 0.6-0.8$ cm) y los centrales de menor tamaño ($2.5-2.8 \times 1.0$ cm), subsésiles; lámina oblonga a obovada, haz glabro y envés densamente pubescente, venación camptódroma, 2–3 pares de venas laterales, papirácea a coriácea; base desigual, asimétrica, ápice obtuso a cuspidado; margen entero, pubescente. *Flores* solitarias, axilares alternando posición en el tallo, hermafroditas, actinomorfas; pedicelo con tamaño entre 6.0–6.5 cm de longitud, pubérulo. *Sépalos* libres, 5 meros, de 1.5×2.0 cm, lanceolados a lineares u ovados, ápice acuminado, pubérulos. *Pétalos* valvares, 5 meros, de $1.5-2.0 \times 1.5-1.8$ cm, amarillos, obovados. *Androceo* 10 meros, glabros, en 2 series (5 largos en el verticilo interno de 0.3–0.4 cm y 5 cortos en el verticilo externo de 0.2 cm); anteras glabras, ditecada de 0.2 cm, dorsifija. *Ginóforo* de 0.6 cm de longitud, verde; ovario súpero de 0.2 cm de longitud, placentación axilar, estigma pentalobulado. *Fruto* esquizocarpo, 4–5 mericarpos, de 0.3–0.5 cm de largo, con 4 espinas por mericarpo (dos grandes en la parte superior, de 0.4 cm y dos pequeñas de 0.2 cm cerca de la base), pubescentes, verde en estado juvenil a marrón a su madurez; pedicelo de hasta 5.0 cm. *Semillas* 2 por mericarpo, obovada, plana, de 0.3×0.15 cm.

Nombres vernáculos: “Perrito” en Cesar, La Guajira, Huila, Norte de Santander; “Abrojo” en La Guajira, Huila, Norte de Santander, Llanura del Caribe; “Manca tigre” en Huila, Norte de Santander, Llanura del Caribe; “Hierba de pollo” en La Guajira; Además, es llamado “Pecado mortal” en otros lugares de Colombia en los que se han encontrado registros.

Distribución y hábitat: distribución en Centro y Sur América. En Colombia se distribuye en el Caribe en los departamentos de Atlántico, Bolívar, Cesar, La Guajira, Magdalena y Sucre; en los Andes posee distribución en Boyacá, Huila, Norte de Santander, Santander y en el Pacífico ha sido registrada solo en el Valle del Cauca. Habita en zonas ruderales (orillas de caminos, potreros y terrenos baldíos), en vegetación secundaria de bosque seco tropical caducifolio y matorrales xerofíticos.

Usos: No conocido.

Especímenes examinados: **Atlántico.** Barranquilla, predios de Argos, remanentes de vegetación cerca de la vía 40, 15 m, $11^{\circ}01'42.06''N$, $74^{\circ}48'45.08''W$, 26 mar 2013, Vélez J. et al., 4507 (MEDEL); 6 sep 1963, Porter D, 1117 (COL); Sabanilla, 5 sep 1963, Porter M, 1115 (COL); Barranquilla, Las flores - La playa, 13 sep 1959, Cuatrecasas J, 24300 (COL); El Prado, 10 m, 1

feb 1944, *Fosberg F*, 21429 (COL); Barranquilla, sector bocas de cenizas en la desembocadura del río Magdalena, 1 m, 11°03'41.79''N, 74°50'34.18''W, 22 sep 2014, *Zapata A. et al.*, 689 (JAUM). **Bolívar**. Mompos, 33 m, ene 1946, *Cassabett C*, 1 (MEDEL); Cartagena, junto al mar, en Crespo, 0 m, 12 ene 1963, *Uribe L*, 4202 (COL); Cartagena, sobre las murallas del castillo de San Felipe, 17 ene 1943, *Dugand A & Jaramillo R*, 2869 (COL); Cartagena, ENAP (Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla) Manzanillo, 10 feb 1995, *Rodríguez P & Peña V*, 4 (COL); Cartagena, La Popa, 4 feb 1962, *Saravia C & Johnson D*, 40 (COL). **Boyacá**. Soatá, vereda el Hatillo, 27 may 1973, *Rincón C*, 10 (COL). **Cesar**. Valledupar, 168 m, 4 may 1982, *Albert L., et al.*, 1965 (HUA); carretera entre Valledupar y La paz, 170 m, 5 may 1982, *Albert L. et al.*, 1966 (HUA). **Huila**. Cabrera, Lajas, 11 Km de Villa Vieja, en la carretera a Baraya, 460 m, 4 jul 1950, *Galen S*, 1150 (COL). **La Guajira**. Barrancas, cerca de Carbón y Tabaco, 6 mar 1981, *Arboleda O. et al.*, 384 (HUA); Riohacha, vía Riohacha - Manaure - Uribia, 0-500 m, 14 - 20 feb 1989, *Atehortúa L & Grupo Fitogeografía*, 35 (HUA); Fonseca, corregimiento Distracciones, 250 m, 18 abr 1988, *Roldán F. et al.*, 912 (HUA, MEDEL); Riohacha, ciénaga Buenavista, 0 m, 11°36'29''N, 72°53'20''W, 4 oct 2000, *Pérez J*, 1544 (MEDEL); Fonseca, 120 m, 15 jun 1944, *Haught O*, 4203 (MEDEL, COL); vecindades de Uribia, 15 jul 1956, *Del Llano M*, 4 (MEDEL); Bahía Honda, 4 abr 1942, *Saravia C & Johnson D*, 397 (COL); Internado Nazaret, 100 m, 28 abr 1977, *Sugden A*, 320 (COL); Puerto Estrella, en el Cabo Falso, 1 dic 1953, *Romero R*, 4442 (COL); Uribia, 20 m, 15 nov 1953, *Romero R*, 4372 (COL); Intendencia, Serranía de Macuira, 300 m, 4 mar 1963, *Saravia C*, 2366 (COL). **Magdalena**. Ciénaga, jun 1941, *Romero R*, 2472 (MEDEL); 10 m, 21 mar 1948, *Romero R*, 960 (MEDEL, COL); 10 m, 8 feb 1950, *Romero R*, 1920 (MEDEL); sector Costa verde a la desembocadura del río Córdoba, 25 oct 2002, *Granados J. et al.*, 298 (COL); playas arenosas en alrededores de Santa Marta, 15 m, 9 ene 1948, *Giacometto J. et al.*, 18C028 (MEDEL, COL); 0.5 Km al este del Aeropuerto Simón Bolívar y 14 Km al sur de Santa Martha, 20 m, 11°07'N, 11°07'W, 1 nov 1972, *Kirkbride J*, 2599 (COL); aeropuerto Simón Bolívar de Santa Martha, 0 m, 10 oct 1958, *Van der Hammen T*, 1039 (COL); pozos Colorados, 29 oct 1987, *Mancera E*, 8 (COL); terminal pozos Colorados de Ecopetrol S.A, predios La Esperanza en cercanías a la playa, 25 oct 2011, *Dueñas A & Valencia Y*, 3945 (COL); Santa Marta, jardín botánico San Pedro Alejandrino, actual Roberto Castañeda, 15 abr 1971, *De López N*, 592 (COL); Isla de Salamanca, 2 dic 1966, *Romero R*, 10519 (COL); carretera Ciénaga - Barranquilla, Km 19, 25 jun 1966, *Schnetter M & Schnetter R*, 6 (COL, CUV); Santa Marta, 25 jul 1946, *M. B &*

Foster R, 1275 (COL); centro de acopio Prodeco, 5 m, 4 may 1976, *Idobro J*, 8684 (COL); Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, en predios del señor Hernando Donado, frente al caño Clarín, 19 jun 1970, *De López N*, 465 (CUVC). **Norte de Santander.** San José de Cúcuta, cerro Tasajero, vía hacia Puerto Santander, 251 m, 21 dic 2005, *Carrillo M. et al.*, 59 (COL); San Cayetano, vereda de Tabiro, 578 m, 7°49'3.4''N, 72°35'35.4''W, 5 mayo 2009, *Infante J*, 607 (COL). **Santander.** Los Santos, sector norte de la Mesa de Los Santos, vereda el Pozo, 1300-1500 m, 18 sep 2004, *Fernández J. et al.*, 21987 (HUA, COL). **Sucre.** Ovejas, finca Sabaneta, vía al Carmen de Bolívar, 09°33'51.4''N, 75°12'31''W, *Álvarez P*, S.N. (HEUS). **Valle del Cauca.** Palmira, carretera panamericana, frente a seguro social, 1000 m, 5 jun 1993, *Silverstone-Sopkin P & Giraldo J*, 6559 (CUVC).

5.2 Distribución geográfica de Zygophyllaceae en Colombia.

Los mapas de distribución geográfica reflejan el panorama actualizado de la distribución de las especies de Zygophyllaceae en Colombia, como apoyo para orientar hacia qué regiones se encuentran distribuidas las especies de esta familia en el país. *Bulnesia arborea*, está distribuida a lo largo de la costa Caribe colombiana, abarcando todos los departamentos que la conforman: Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Magdalena, Sucre y La Guajira. Este último, cuenta con el mayor número de registros en comparación con los otros de esa región (Figura 1a). Por el contrario, *Bulnesia carrapo* restringe su distribución hacia la Región Andina, en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cundinamarca, Tolima y parte del Valle del Cauca que abarca esta región; así mismo, en este último departamento hacia la parte comprendida por la Costa del Pacífico (Figura 1b).

Guaiaecum officinale tiene distribución hacia algunos departamentos de la costa Caribe y en estos hacia zonas bajas (nivel de mar) en los departamentos de Atlántico, Bolívar, La Guajira, Magdalena y Sucre (Figura 2a). Por otro lado, *Kallstroemia maxima*, contrario a las anteriores especies posee amplia distribución, pues se ha registrado hacia el Caribe en todos sus departamentos, en los Andes hacia Antioquia, Cundinamarca, Huila, Norte de Santander, Santander, Tolima y parte del Valle del Cauca en esta región y la región pacífica que comprende este último (Figura 3a). Sin embargo, ocurre un caso particular con *Kallstroemia parviflora*, pues es una especie que se caracteriza por presentar distribución restringida en Colombia, dado que solo se encontró pocos registros en el departamento de Cundinamarca (Figura 3b). Por otra parte, *Kallstroemia pubescens* posee amplia distribución en el Caribe, encontrándose registros en los departamentos de Atlántico, Bolívar, La Guajira, Magdalena y Sucre. En los Andes, hacia los departamentos de Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Huila, Tolima y Valle del Cauca (Figura 3c). Así mismo, *Tribulus cistoides*, se registró en casi todos los departamentos del Caribe colombiano a excepción de Córdoba; en los Andes se distribuye en Boyacá, Norte de Santander, Santander y Valle del Cauca (Figura 2b).

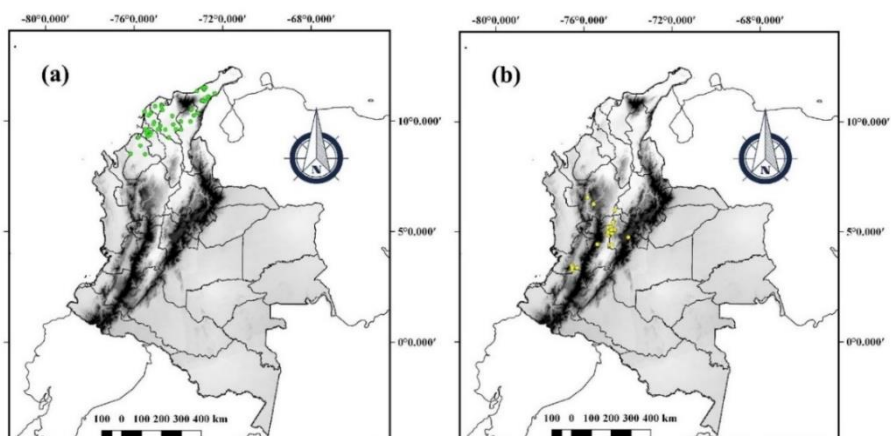


Figura 1. Dsitribución geográfica de las especies del género *Bulnesia* presentes en Colombia: **(a)** *Bulnesia arborea* y **(b)** *Bulnesia carrapo*.

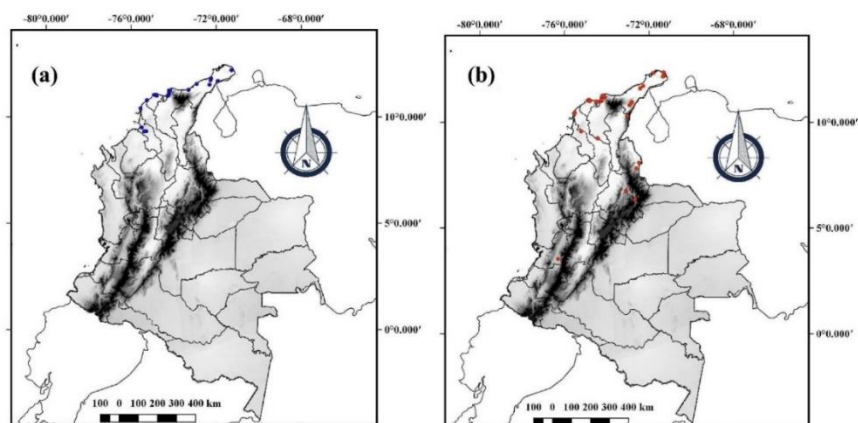


Figura 2. Dsitribución geográfica de géneros de Zygophyllaceae con una sola especie presentes en Colombia: **(a)** *Guaiacum officinale* y **(b)** *Tribulus cistoides*.

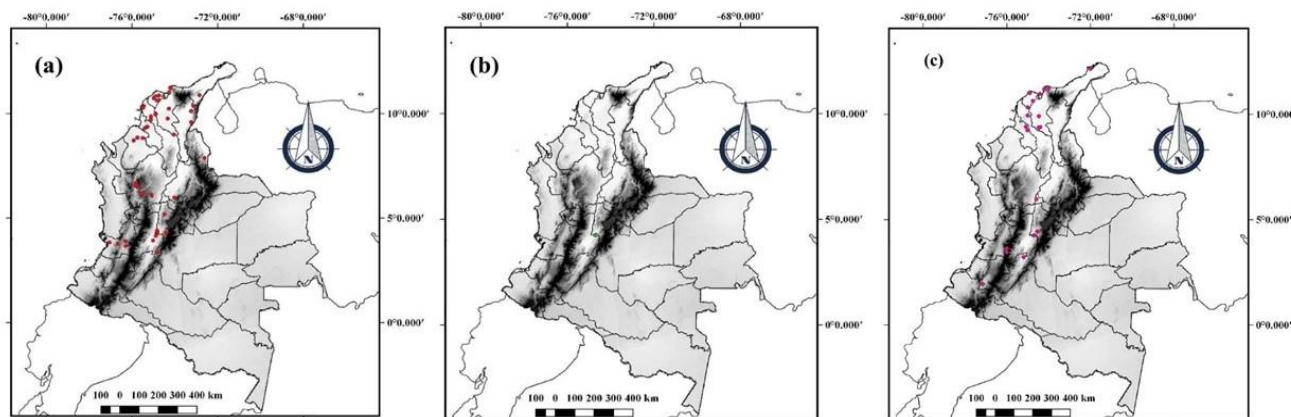


Figura 3. Distribución geográfica de las especies del género *Kallstroemia* presentes en Colombia: **(a)** *Kallstroemia maxima*, **(b)** *Kallstroemia parviflora* y **(c)** *Kallstroemia pubescens*.

5.8 Modelamiento de Nicho.

El análisis de componentes principales explica el 97% de la variación existente en los datos; dicha variación es observada en el componente uno (94%) y componente dos (3.7%). En este sentido el primer componente explica primariamente los datos, los cuales corresponden a los valores precipitación (bio13, bio14, bio15, bio16, bio17, y bio19) y el segundo componente a la temperatura. Del mismo modo el escalamiento multidimensional mostró en el axis uno la correlación entre las variables climáticas, la cual obedece al 81%; mientras que en el axis dos a una correlación del 41%. En este sentido ambos análisis fueron consistentes en que bio13, bio14, bio15, bio16, bio17 y bio19, variables vinculadas a la precipitación no se encuentran correlacionadas o sobrelapadas. Con respecto a la temperatura, bio4 fue la única variable no correlacionada. En este sentido, dado que el componente dos en el PCA es explicado por la temperatura fue necesario incluir en el modelamiento no solo bio4, también fueron seleccionadas bio8 y bio9, ya que estas mostraban menos correlación entre sí.

5.8.3 Modelamiento con MaxEnt.

Los modelos generados con esta herramienta para las especies, aparte de las proyecciones en los mapas, muestran los valores de confiabilidad de los resultados de dicho modelo, a través del área bajo la curva (AUC = Area under the curve, (Figura 4), el nicho climático y las variables que contribuyen a las predicciones. Cabe resaltar que los valores mostrados corresponden al promedio de las ejecuciones repetidas en los modelos (replicas).

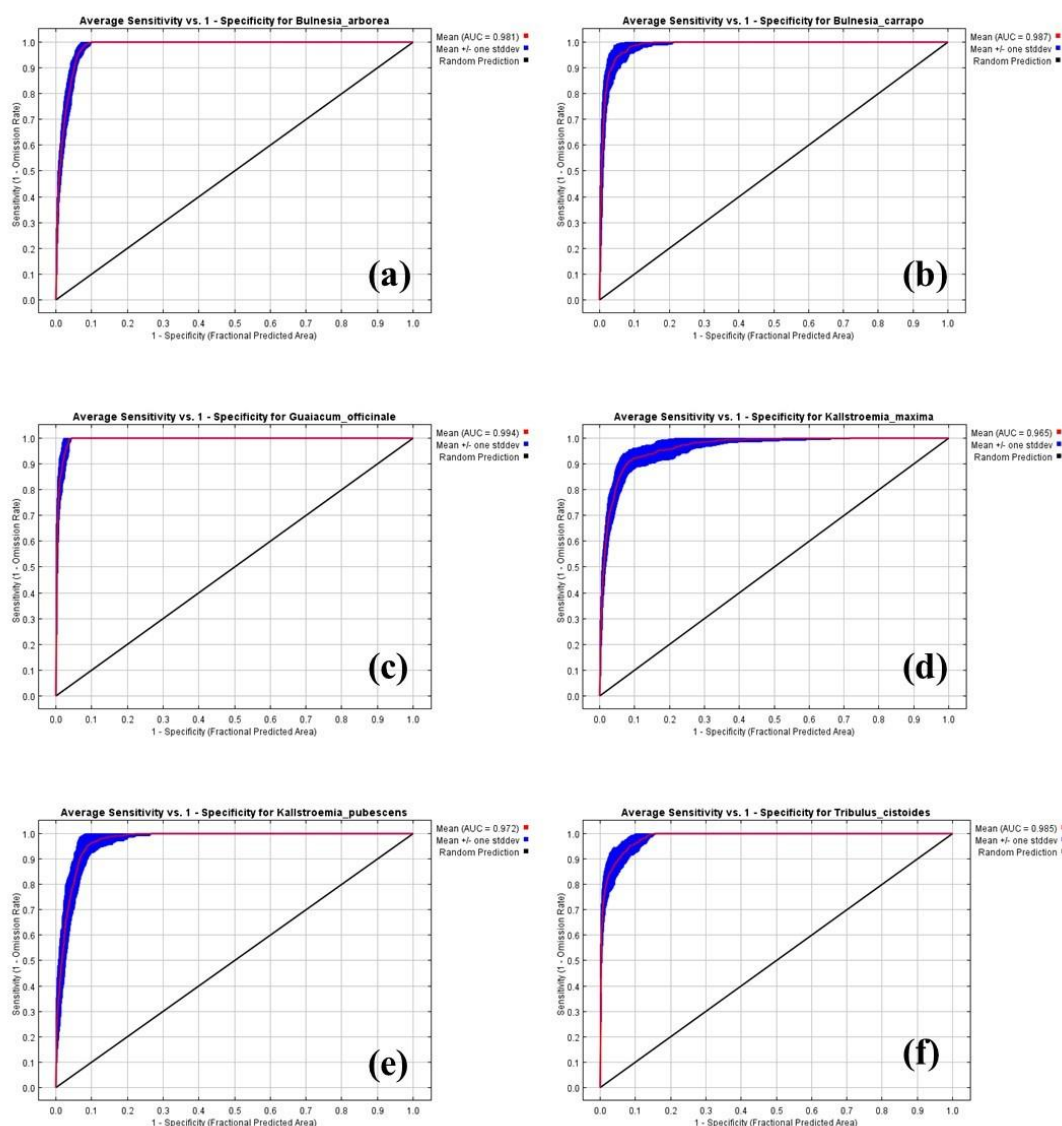


Figura 4. Curva ROC de la sensibilidad del modelo generado por MaxEnt a través del Área bajo la curva: **(a)** *B. arborea*, **(b)** *B. carrapo*, **(c)** *G. officinale*, **(d)** *K. maxima*, **(e)** *K. pubescens* y **(f)** *T. cistoides*.

La sensibilidad del modelo generado con MaxEnt, considerando la información de las curvas ROC (por sus siglas en inglés: Receiver Operating Characteristic) a través del estadístico AUC (Figura 4), fue de 0.981, para *B. arborea*, en *B. carrapo* de 0.987, *G. officinale* 0.994, *K. maxima* 0.965, *K. pubescens* 0.972 y *T. cistoides* 0.985. En este sentido, la especie que tuvo mejor predicción con los modelos realizados en este algoritmo fue *G. officinale* y la de menor valor en la predicción *K. maxima*.

5.8.3.2 Nicho climático de las especies de Zygophyllaceae

A partir de modelar el nicho con las variables seleccionadas con un asterisco (*) en la Tabla 1, se muestra el comportamiento individual de las variables sobre las especies (Figura 5 - 10), de manera que se hizo posible establecer el nicho climático de las mismas.

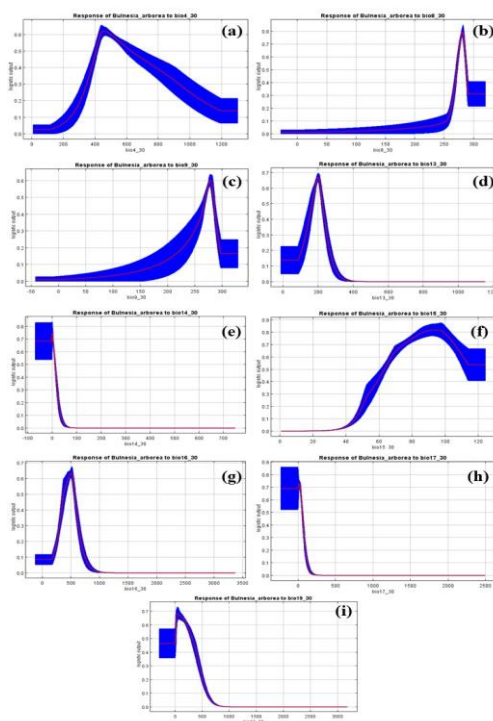


Figura 5. Curvas de respuestas de las variables climáticas que representan el nicho de *B. arborea*: (a) bio4, (b) bio8, (c) bio9, (d) bio13, (e) bio14, (f) bio15, (g) bio16, (h) bio17, (i) bio19.

Las variables climáticas que definen el nicho de *Bulnesia arborea* son las siguientes: la estacionalidad de la temperatura, la cual adquiere valores entre 38 - 40°C (Figura 5a), en el cuarto más húmedo la temperatura cuyos valores oscila entre los 28 y 29°C (Figura 5b), la temperatura media del trimestre más seco alcanzan los 29°C (Figura 5c). Con relación a las precipitaciones,

esta especie habita en lugares donde el mes más húmedo alcanza exactamente los 200 mm (Figura 5d) y en el mes más seco las precipitaciones son muy escasas (Figura 5e); mientras que la precipitación estacional se encuentra entre los 40 - 118 mm aproximadamente (Figura 5f). Asimismo, tolera durante los cuatro meses más húmedos del año los 400 – 500 mm (Figura 5g). Del mismo modo que ocurre con las precipitaciones del mes más seco y en el trimestre más cálido del año las precipitaciones son escasas (Figura 5h) y durante el trimestre más frío los 100 mm (Figura 5i).

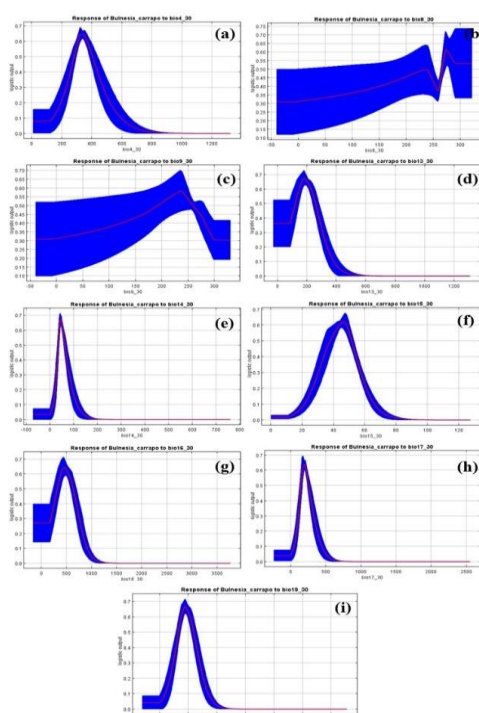


Figura 6. Curvas de respuestas de las variables climáticas que representan el nicho de *B. carrapo*: (a) bio4, (b) bio8, (c) bio9, (d) bio13, (e) bio14, (f) bio15, (g) bio16, (h) bio17, (i) bio19.

Las variables climáticas que definen el nicho de *Bulnesia carrapo* son las siguientes: la estacionalidad de la temperatura adquiere valores alrededor de 30°C (Figura 6a), en el cuarto más húmedo la temperatura oscila entre los 26 y 28°C e incluso alcanza los 29°C (Figura 6b), la temperatura media del trimestre más seco alcanzan los 24°C (Figura 6c). Con relación a las precipitaciones, esta especie habita en lugares donde el mes más húmedo oscila entre los 100 a los 200 mm (Figura 6d) y en el mes más seco las precipitaciones alcanzan los 50 mm (Figura 6e); por otro lado, la precipitación estacional se encuentra a 30 mm aproximadamente (Figura 6f). Por el contrario, en los cuatro meses más húmedos alcanzan exactamente los 400 mm (Figura 6g); de

igual forma ocurre con las presentadas en el trimestre más frío pues también alcanzan los 400 mm. Así mismo, las precipitaciones del trimestre más cálido alcanzan los 300 mm aproximadamente (Figura 6h) y durante el trimestre más frío alcanzan entre los 400 – 500 mm al año (Figura 6i).

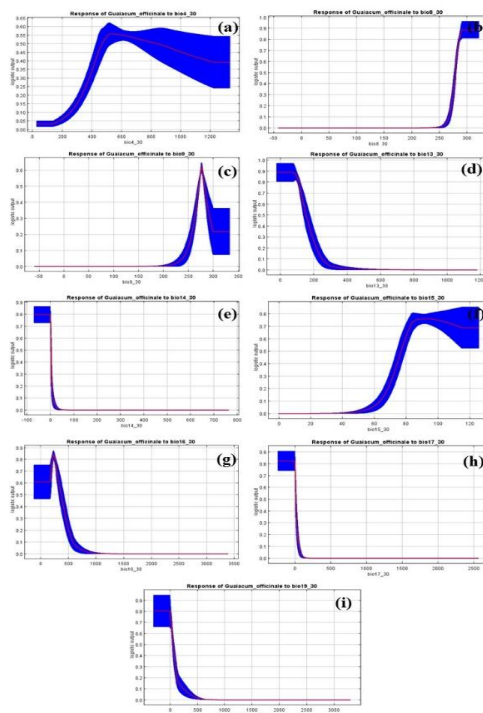


Figura 7. Curvas de respuestas de las variables climáticas que representan el nicho de *G. officinale*: (a) bio4, (b) bio8, (c) bio9, (d) bio13, (e) bio14, (f) bio15, (g) bio16, (h) bio17, (i) bio19.

Las variables climáticas que definen el nicho de *Guaiacum officinale* son las siguientes: la estacionalidad de la temperatura adquiere valores de 20 – 40 °C (Figura 7a), en el cuarto más húmedo la temperatura oscila entre los 25 y 30 °C (Figura 7b), la temperatura media del trimestre más seco alcanzan los 27°C (Figura 7c). Con relación a las precipitaciones, el mes más húmedo se encuentra entre los 100 a los 200 mm (Figura 7d), en el mes más seco las precipitaciones se mantienen alrededor de 10 mm e incluso pueden no darse dichas precipitaciones (Figura 7e), la precipitación en el componente de estacionalidad se encuentra entre los 60 y 125 mm aproximadamente (Figura 7f). Por el contrario, en los cuatro meses más húmedo del año estas ascienden a 400 mm (Figura 10g); en el caso de las presentadas en el trimestre más cálido el valor de estas se encuentra alrededor de los 100 mm (Figura 7h). Las precipitaciones presentadas el trimestre más frío solo pueden alcanzar los 100 mm al año (Figura 7i).

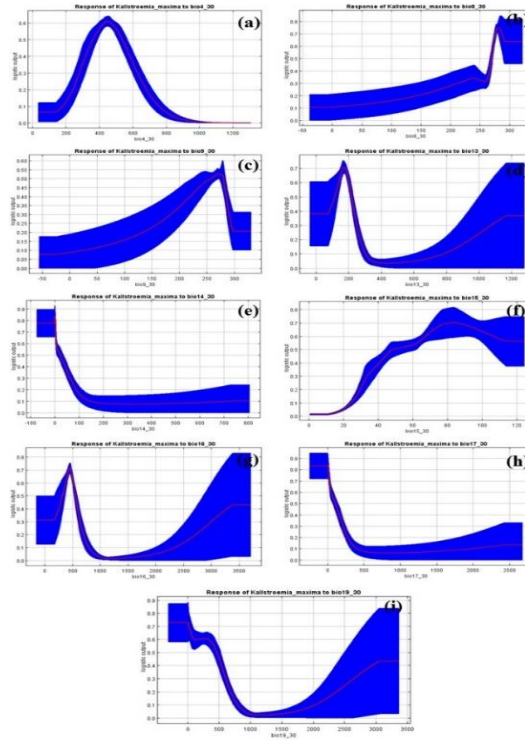


Figura 8. Curvas de respuestas de las variables climáticas que representan el nicho de *K. maxima*: (a) bio4, (b) bio8, (c) bio9, (d) bio13, (e) bio14, (f) bio15, (g) bio16, (h) bio17, (i) bio19.

Las variables climáticas que definen el nicho de *Kallstroemia maxima* son las siguientes: la estacionalidad de la temperatura adquiere valores entre 20 y 40°C (Figura 8a), en el cuarto más húmedo la temperatura oscila entre los 25 y 27°C (Figura 8b), la temperatura media del trimestre más seco alcanza los 28°C (Figura 8c). Con relación a las precipitaciones, esta especie habita en lugares donde el mes más húmedo oscila los 200 mm (Figura 8d) y en el mes más seco son escasas, sin embargo, pueden estar alrededor de los 10 mm (Figura 8e); por otro lado, la precipitación estacional alcanza los 40 - 80 mm aproximadamente (Figura 8f). Por el contrario, en los cuatro meses más húmedos ascienden entre 400 y 500 mm (Figura 8g). Así mismo, ocurre con las presentadas en el trimestre más cálido pues también alcanzan los 500 mm (Figura 8h) y durante el trimestre más frío alcanzan entre los 100 – 500 mm al año (Figura 8i).

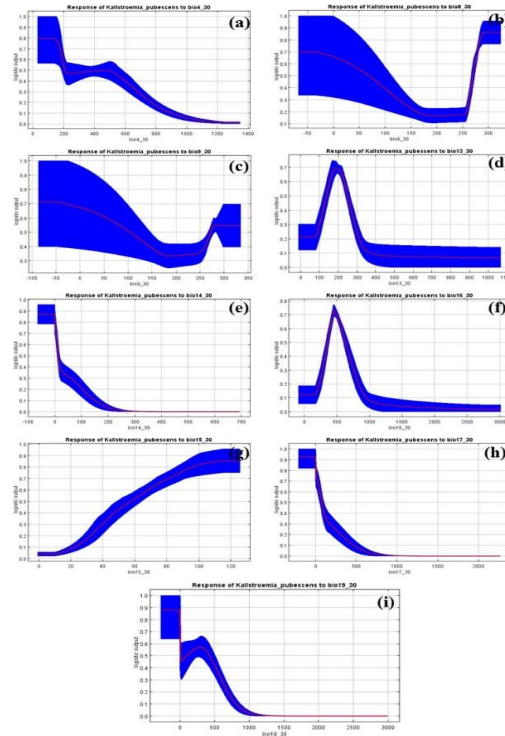


Figura 9. Curvas de respuestas de las variables climáticas que representan el nicho de *K. pubescens*: (a) bio4, (b) bio8, (c) bio9, (d) bio13, (e) bio14, (f) bio15, (g) bio16, (h) bio17, (i) bio19.

Las variables climáticas que definen el nicho de *Kallstroemia pubescens* son las siguientes: la estacionalidad de la temperatura adquiere valores alrededor de 20°C (Figura 9a), en el cuarto más húmedo la temperatura oscila entre los 25 y 30°C (Figura 9b), la temperatura media del trimestre más seco alcanza los 27°C (Figura 9c). Con relación a las precipitaciones, esta especie habita en lugares donde el mes más húmedo oscila entre los 200 mm (Figura 9d) y en el mes más seco son escasas, sin embargo, alcanzan los 10 mm (Figura 9e); por otro lado, la precipitación estacional se encuentra entre los 20 - 120 mm anuales aproximadamente (Figura 9f). Por el contrario, en los cuatro meses más húmedos alcanzan entre los 400 y 500 mm (Figura 9g); de igual forma ocurre

con las presentadas en el trimestre más cálido pues también alcanzan los 500 mm (Figura 9h) y durante el trimestre más frío alcanzan entre los 100 – 500 mm al año (Figura 9i).

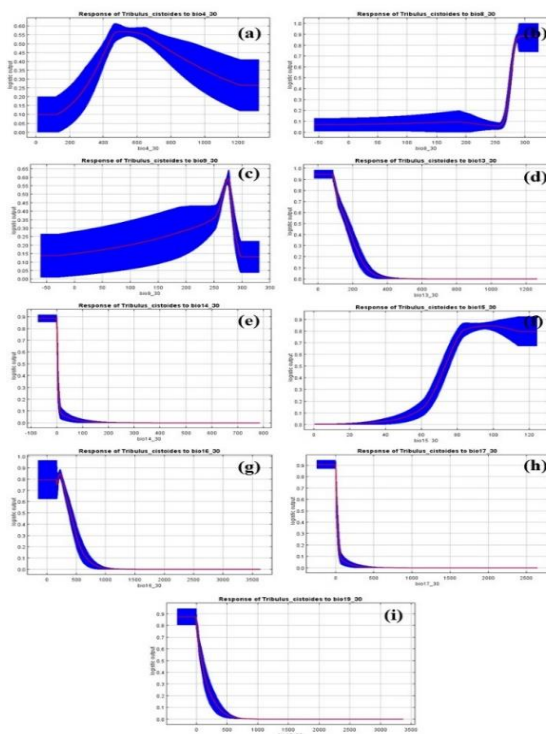


Figura 10. Curvas de respuestas de las variables climáticas que representan el nicho de *T. cistoides*: (a) bio4, (b) bio8, (c) bio9, (d) bio13, (e) bio14, (f) bio15, (g) bio16, (h) bio17, (i) bio19.

Las variables climáticas que definen el nicho de *Tribulus cistoides* son las siguientes: la estacionalidad de la temperatura adquiere valores alrededor de 20 – 40 °C cada año (Figura 10a), en el cuarto más húmedo la temperatura oscila entre los 26 y 29°C (Figura 10b), la temperatura media del trimestre más seco alcanza los 27°C (Figura 10c). Con relación a las precipitaciones, esta especie habita en lugares donde el mes más húmedo oscila entre los 100 a los 200 mm (Figura 10d) y en el mes más seco son escasas las precipitaciones (Figura 10e); por otro lado, la precipitación estacional se encuentra entre los 80 - 120 mm (Figura 10f). Por el contrario, en los cuatro meses más húmedos alcanzan exactamente los 300 mm (Figura 10g); en el trimestre más cálido son escasas (Figura 10h) y durante el trimestre más frío alcanzan entre los 100 – 500 mm al año (Figura 10i).

5.8.3.3 Relación de las especies de Zygophyllaceae con el bosque seco tropical.

En Colombia, las especies de Zygophyllaceae poseen afinidad al bosque seco tropical, de tal manera que se convierten en especies clave para este ecosistema con fines de conservación y restauración de los mismos (Figura 11).

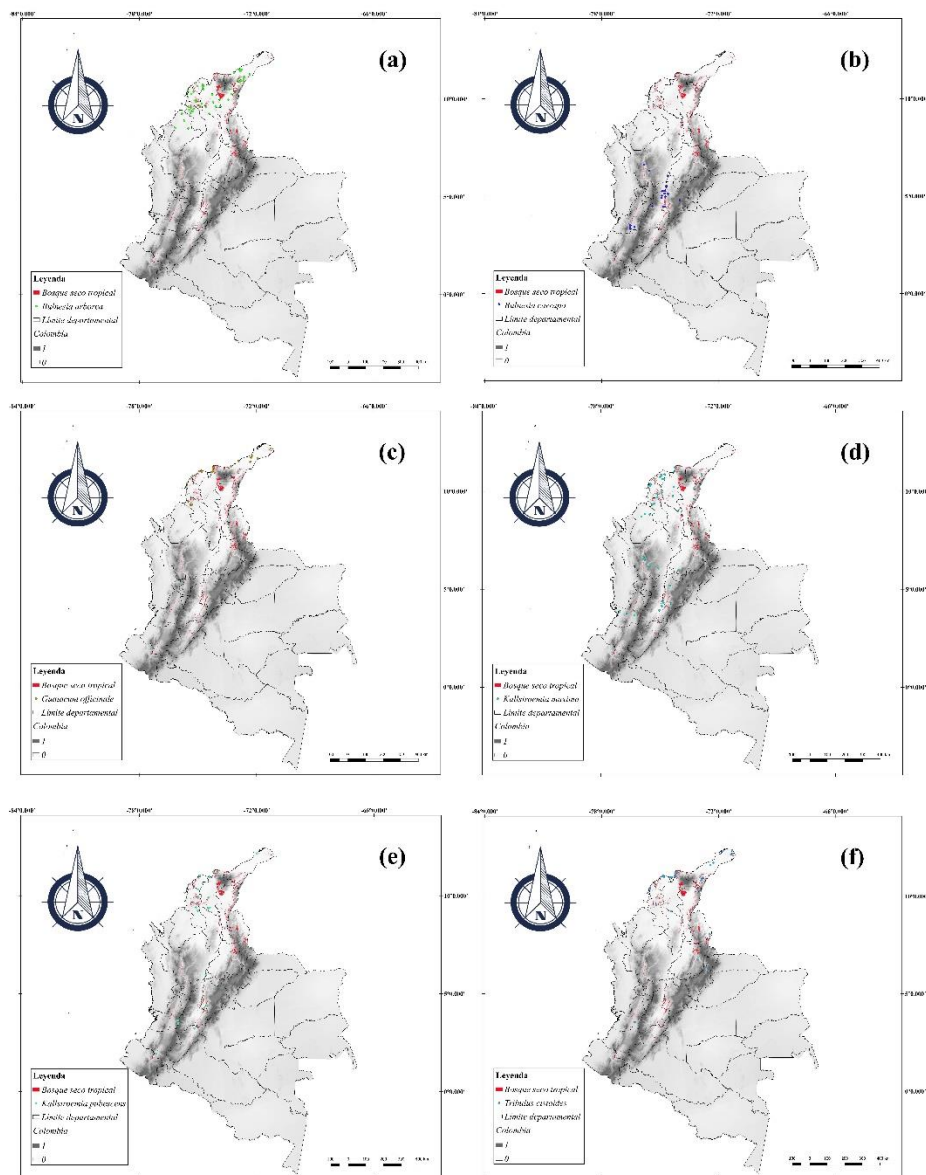


Figura 11. Distribución de las especies de Zygophyllaceae y su relación con el bosque seco tropical. (a) *B. arborea*, (b) *B. carrapo*, (c) *G. officinale*, (d) *K. maxima*, (e) *K. pubescens* y (f) *T. cistoides*.

Al sobrelapar la distribución de las especies de Zygophyllaceae con las capas de bosque seco tropical se pudo encontrar que los puntos se encuentran en áreas que comprenden este ecosistema. Así mismo, existe correspondencia entre el nicho climático de las especies y este bioma dado que las condiciones climáticas antes mencionadas (figuras 5 – 10), corresponden a las de bosque seco tropical.

9. DISCUSIONES

En los resultados del trabajo taxonómico de Zygophyllaceae, en *Bulnesia* se puede encontrar que pequeños caracteres como la forma de las hojas permiten diferenciar las especies, no obstante su diferenciación más relevante se observa en la distribución. Al ubicar los puntos de cada especie dentro de la geografía Colombiana se pudo establecer que verdaderamente *B. carrapo* tiene distribución hacia los valles interandinos, mientras que *B. arborea* hacia el Caribe. En otras palabras, no solamente la diferenciación morfológica en el tamaño o el número de las hojas (foliolos) permite identificarlas, también su distribución ya que son especies de distribución alopátricas, por tal razón al encontrar una especie de *Bulnesia* en el Caribe se puede atribuir a *Bulnesia arborea*. Por el contrario, al encontrar una especie de este género hacia los valles interandinos de Colombia se le atribuye a *B. carrapo*.

La formación de nuevas especies puede ser considerada un proceso temporal por el que algunas poblaciones se diferencian y alcanzan independencia evolutiva. Para Harrison (1998) durante el proceso de especiación se van alcanzando varios grados de diferenciación que quedan reflejados por la formación de especies. De este modo, en el momento en que las especies interrumpen el flujo génico entre sí, se fijan alelos diferentes en cada población, con lo que pasarían a tener caracteres diagnósticos propios, y se llegaría a las especies filogenéticas. Producto de esta diferenciación, posiblemente en las especies del género *Bulnesia* presentes en Colombia se hayan formado barreras al intercambio genético o mecanismos de cohesión, por tal motivo las especies de este género se pueden categorizar bajo la denominación de especies con aislamiento reproductivo. Así mismo, el tipo de especiación alopátrica a la que están sometidas *B. arborea* y *B. carrapo*, puede ser producto de la extinción de las poblaciones situadas en posiciones geográficas intermedias, o por sucesos geológicos.

La barrera que impide el flujo entre estas especies está dada por la geografía e incluso la ecología, particularmente *B. arborea* y *B. carrapo* se encuentran separadas por los valles de las cordilleras u otros aspectos que impiden de alguna manera el contacto entre las poblaciones de estas especies. A partir de este tipo de diversificación o especiación que además es denominado Vicariante, se produce por la separación de una especie ancestral en dos poblaciones relativamente grandes que

permanecen aisladas al menos hasta la aparición de independencia evolutiva (Perfectti, 2002). La especiación en este punto puede ser considerada producto de varios procesos microevolutivos que dan lugar a las divergencias a partir de la adaptación local y la diferenciación geográfica (Perfectti, 2002). Sin embargo, hasta la fecha no hay estudios evolutivos que soporten esta hipótesis para estas especies. Por otro lado, en los resultados del sobrelapamiento de los puntos de presencia de las especies y el bosque seco tropical, se confirma que dichas especies (*B. arborea* y *B. carrapo*) corresponden a este ecosistema.

Además de las especies del género *Bulnesia*, las especies de *Kallstroemia* también presentaron dificultades al momento de ser segregadas. En este sentido, los taxones de este género por ser tan parecidos morfológicamente, han causado gran confusión al ser identificados. Por su parte, en sus hojas compuestas *K. maxima* y *K. parviflora* posee hasta 4 pares de foliolos mientras que *K. pubescens* solo tiene hasta 3 pares; así mismo, en las dos primeras los frutos poseen 10 mericarpos y *K. pubescens* solo cuenta con 8 mericarpos. En cuanto a su distribución, *K. maxima* y *K. pubescens* se distribuyen en la region Caribe y algunos departamentos de la región Andina, mientras que *K. parviflora* en Colombia se ha encontrado restringida al departamento de Cundinamarca de modo que este rango tan estrecho en la distribución puede estar relacionado con la falta de esfuerzo de muestreo que enriquezcan los ejemplares de esta especie en la colecciones de herbario.

Con relación a las especies que poseen distribución más amplia (*K. maxima* y *K. pubescens*), es posible que hayan sufrido un tipo de especiación simpátrica la cual pudo generar una independencia evolutiva en el espacio geográfico en el que se encuentran por tal motivo comparten de algún modo el mismo rango de distribución aun cuando *K. pubescens* abarca menos localidades de *K. maxima*. De este modo según Perfectti (2002), esto conlleva a que las especies o poblaciones utilicen nichos ecológicos diferentes, dentro del rango de distribución de la especie ancestral, desarrollando mecanismos de aislamiento reproductivo. Sin embargo, el tipo de simpatría presentado en estas especies, puede estar dada por la especialización ecológica o por la hibridación que puede existir entre ellas. Del mismo modo que las especies anteriores, al hacer el respectivo sobrelapamiento de las especies de *Kallstroemia* con el bs-t, muestran su correspondencia hacia este tipo de bioma.

De otro lado, *G. officinale*, en Colombia se ha encontrado con distribución restringida en las zonas bajas (costeras) de la región Caribe, principalmente hacia los departamentos de Atlántico, Bolívar, La Guajira, Magdalena y Sucre. Por el contrario, *T. cistoides* aun cuando también se ha encontrado con mayores registros en la región Caribe colombiana, también se distribuye en algunos departamentos de la región Andina con distancias disyuntas pues existen registros en la zona norte de esta región y un registro en la zona sur de la misma de modo que se puede estar llevando a cabo un tipo de diversificación de especies que con el tiempo puede ocurrir especiación alopátrica. Con relación al sobrelapamiento del bosque seco tropical, estas especies igual que las anteriores se confirman pertenecen a este ecosistema boscoso, en adelante se detallan las características que hacen de estas especies propias de este bioma seco.

Modelamiento del nicho climático de especies y la relación con el Bosque seco tropical.

Los nichos ecológicos han sido durante mucho tiempo objeto de interés en la biogeografía y la evolución, dada la estrecha relación que existe entre la historia natural de la fisiología de las especies y su potencial geográfico (Kozak & Wiens, 2010). Los cambios en los nichos climáticos de las especies pueden conllevar a una diversificación de las mismas, la aparición de taxones hermanos en diferentes ambientes climáticos, posiblemente causa aislamiento reproductivo entre ellas (Kozak & Wiens, 2010). De este modo, Sobel et al. (2010), explican que dicha afirmación hace referencia al hecho que una especie no puede persistir en el rango geográfico de la otra, y podría ser un factor determinante en la especiación parapátrica y alopátrica (Kozak & Wiens, 2010). Así mismo, las especies que tienen capacidades de tolerar cambios en el clima, son capaces de experimentar evoluciones rápidas y pueden ser menos susceptibles a la extinción por sus adaptaciones a los cambios; por tanto, pueden diversificarse rápidamente por su capacidad de dispersión en los diferentes entornos, reduciendo la competencia y creando oportunidades adicionales para la especiación (Kozak & Wiens, 2010).

Para la evaluación se ha usado la curva ROC y su estadístico derivado, el AUC, en el que se necesita que los datos de entrada sean de presencia y/o ausencia y el número de dichos datos sean mayor a 20 presencias ya que datos menores a esto, incrementa de forma artificial la consistencia de los modelos (Veloz, 2009). Con relación a esto, las especies de Zygothylaceae por tener

presencias mayores a 20 en sus registros, no hay incrementos. Así mismo, esta familia en sus valores del AUC (Figura 7), dan a conocer que el modelo tuvo muy buena predicción dado que los valores superan a 0.96, especialmente las proyectadas para *Guaiacum officinale*, seguido de *Bulnesia carrapo* y *Bulnesia arborea* dentro de las más representativas del modelo; sin embargo, no significa que en el resto de especies sean significativamente bajos, dado que cuentan con valores de AUC alrededor de 0.96; lo anterior, se respalda con lo establecido por Phillips et al., (2006), quienes han definido que los valores de AUC oscilan entre 0 y 1, con una exactitud máxima lograda con valores de 1, por tanto, la precisión no superior a la aleatoria con valores igual o menores a 0.5 indican un rendimiento más deficiente que el azar y cuando se usa con datos solo de presencia, los valores máximos deberían ser teóricamente 1, de este modo se confirma que las especies de Zygophyllaceae modeladas tuvieron un buen desempeño en dichos modelos.

Autores como Peterson et al. 2002, sugieren que para obtener eficaces predicciones debe tenerse en cuenta la cantidad y calidad de los datos con los que se cuente; por tal motivo en este estudio la especie *Kallstroemia parviflora* por contar con pocos datos de presencia en Colombia no fue posible realizar el respectivo modelo. Otro de los factores a tener en cuenta en estos análisis es la resolución espacial de las variables ambientales que incluyen las coberturas geográficas (Peterson et al. 2002). Para modelar Zygophyllaceae en Colombia, se utilizó una resolución espacial fina (píxeles de aproximadamente 1 km²), la cual permite tener buenas aproximaciones de las condiciones climáticas presentes en el país y hacer algunas inferencias sobre lo que le ha sucedido al hábitat (Peterson et al. 2006). De este modo, el análisis proporcionado por MaxEnt para la contribución de las variables, muestra que sólo las que corresponden a *Bulnesia arborea* y *Guaiacum officinale* Bio 17 y Bio 19 respectivamente en el PCA.

En cuanto al nicho climático alcanzado por las especies y las variables que mejor variación muestran en estas están: la estacionalidad de la temperatura en la que las especies habitan entre los 20 – 40°C para *G. officinale*, *K. maxima*, *K. pubescens* y *T. cistoides*, pero para las especies *B. arborea* y *B. carrapo* la temperatura más baja que alcanzan supera los 30°C. Por otro lado, las precipitaciones del mes más seco no son significativas debido a la escases que presentan pues en algunas no se ve reflejado el valor para esta variable (*B. arborea* y *T. cistoides*) y para otras no supera los 50 mm (*G. officinale*, *K. maxima*, *K. pubescens* con 10 mm y *B. carrapo* con 50 mm). Así mismo, en los cuatro meses más húmedos del año la mayoría de las especies alcanzan

precipitaciones entre los 400 – 500 mm; sin embargo, *T. cistoides* alcanza precipitaciones de 300 mm.

Teniendo en cuenta lo anterior, las características climáticas que presentan las variables más representativas para cada especie coinciden de alguna manera con las del bosque seco tropical. Según Espinal (1985), Murphy & Lugo (1986) y IAVH (1997) establecieron que el bs-t posee a lo largo del año temperaturas medias superiores a 24°C y precipitaciones que van desde los 700 a los 2000 mm. Sin embargo, según el IAVH en 1998 sugiere que no existe un acuerdo aún en cuanto a los valores de precipitación que caracterizan al bosque seco tropical. Murphy & Lugo (1986) señalan una precipitación que fluctúa entre 600 y 1800 mm/año. Holdridge & Grenke (1971) señalan una precipitación entre 250 y 1800 mm, mientras que Espinal & Montenegro (1977), establecen una precipitación anual entre 1000 y 2000 mm. En Colombia esta formación se desarrolla en lugares con precipitación que fluctúa entre 789 mm (Isla de Tierra Bomba, Bolívar) y los 1800 mm en el pie de monte de la cordillera central Valle del Cauca (IAVH 1998). La temperatura media anual en estos ecosistemas sugieren es superior a los 25°C, alcanzando temperaturas máximas de 38°C (IAVH 1995, 1997; CVC 1994). Con relación a esto y el nicho climático en el que se encuentran las especies de Zygophyllaceae están dentro de las características propuestas por estos autores en cuanto a las temperaturas y precipitaciones utilizadas en los modelamientos, de este modo, se puede establecer que dichas especies son propias de estos ecosistemas dado que sus características climáticas del habitat están dentro de los parámetros de temperatura, precipitación y altitud propuestas para el Bs-T en Colombia.

De este modo, las especies de Zygophyllaceae se puede afirmar habitan en estos bosques, si bien, existe una baja incertidumbre por lo que los mapas resultantes pueden usarse como base para proponer trabajo de campo en bosques secos tropicales y otros ecosistemas boscosos, como es el caso de algunas áreas prioritarias para la conservación y áreas naturales protegidas, donde la presencia de la especie ha sido sugerida por el modelo, pero que no se tiene evidencia directa de su existencia; así mismo, se pueden proponer sitios específicos con condiciones abióticas adecuadas para su crecimiento y desarrollo con propósitos de propagación y conservación.

Teniendo en cuenta que algunas de las especies en estudio tienen distribuciones restringidas en Colombia, y que el ecosistema en el que se han definido (bs-t) es uno de los más afectados por las

actividades humanas, en Latinoamérica y el Caribe entre el periodo comprendido entre 2001-2010 presentó una deforestación del 80% (Alvarado & Otero, 2015), las condiciones climáticas y la fertilidad de sus suelos (Wright & Muller-Landau, 2006) favorecieron el desarrollo agrícola y ganadero (Portillo & Sánchez, 2010), así como los asentamientos humanos (Espírito et al., 2009). Lo anterior, sumado a la presencia de especies maderables de excelente calidad, ha posibilitado su fuerte transformación (Ceballos 1995, Fajardo et al. 2005). En consecuencia, el bs-t se encuentra en la actualidad altamente fragmentado y degradado (Cotler & Ortega, 2006) siendo reconocido como el ecosistema más perturbado y el menos conocido (Fajardo et al., 2013).

Se considera entonces que la conservación de los parches de este bosque garantiza en cierta forma el mantenimiento de las poblaciones de algunas de estas especies, evitando la desaparición de especies endémicas pues es además considerado de alto valor debido a sus altos porcentajes de endemismo y alta fragilidad (Janzen, 1986; Mooney et al., 1996; Burnham, 1997; IAVH, 2002). La selección de algunas especies asociadas a este tipo de vegetación (ya sean diagnósticas o endémicas) es importante para el mantenimiento del hábitat y también para proponer un plan integral de áreas protegidas en países megadiversos. El clima del bosque seco tropical está definido de acuerdo con las condiciones anuales promedio de temperaturas y precipitación; sin embargo, la mayoría de los bosques tropicales, incluso los húmedos y pluviales, se han caracterizado por ser estacionales con relación a las precipitaciones pues son un factor importante para la estructura y funcionamiento de este ecosistema (Walter & Lieth, 1967). Debido a que en las especies de Zygophyllaceae las variables que mejor explican el nicho de estas son las precipitaciones, esto se comprueba con lo dicho por Murphy & Lugo (1986) quienes consideran que la estacionalidad de las precipitaciones se convierten en una fuerza ecológica dominante cuando los patrones temporales de las actividades biológicas como el crecimiento o la reproducción se sincronizan con la disponibilidad de agua o cuando la distribución geográfica de taxones se ve limitada por las limitaciones de humedad durante ciertos períodos del año. Aunque no se dispone de análisis similares para otros países, parece que los diversos tipos de bosque seco, están determinados en gran medida por la precipitación anual y la estacionalidad de la distribución de la lluvia (Murphy & Lugo 1986).

Por último, para poder establecer estrategias y acciones de conservación para las plantas en Colombia bajo alguna categoría de riesgo se necesitan estudios demográficos y ecológicos que nos permitan con certeza categorizar estas especies; así mismo, crear bancos de semillas y hacer propagación o micro propagación in vitro para la conservación de las mismas en el que además se deben tener en cuenta las zonas donde potencialmente habitan estas especies. El presente estudio es una propuesta que contribuye a la preservación de las especies de Zygophyllaceae Colombianas con algún grado de amenaza y especies de otras taxa. Para nadie es un secreto que el calentamiento global provocado por los humanos ha provocado cambios drásticos en muchos aspectos de los diferentes ecosistemas con los que contamos en nuestro país por lo que se hace necesario evaluar las poblaciones de especies en Colombia y los requerimientos particulares de la especie, así como estudios de hábitat con el fin de crear cultivos que permitan propagar las especies de esta familia, con la finalidad de apoyar la planeación y evaluación de acciones de conservación complementarias que conlleven a mantener poblaciones viable de la especie a largo plazo.

10. CONCLUSIONES

- La delimitación de las especies *B. arborea* y *B. carrapo* están dadas por la morfología de las hojas y su distribución ya que la primera habita en el Caribe y la segunda en los Valles interandinos. En cuanto a las especies de *Kallstroemia* dos (*K. maxima* y *K. pubescens*) poseen distribución en la región Caribe y una (*K. parviflora*) se restringe en Colombia al departamento de Cundinamarca.
- Las especies de Zygophyllaceae en general poseen distribución en su mayoría hacia los departamentos de la región Caribe y la región Andina, específicamente los valles inter-andinos.
- Los modelos de nicho de las especies representan alguna información que sintetiza relaciones entre especies y variables ambientales que serían difíciles de interpretar o incluso de apreciar por otros medios.
- El desempeño de las predicciones de Zygophyllaceae con MaxEnt en general fue muy bueno por su alto valor de confiabilidad (Mayor a 0.96) en el que *Guaiacum officinale* fue el mejor con casi 1.0 de confiabilidad.
- El nicho climático de seis de las especies de Zygophyllaceae presentes en Colombia (*B. arborea*, *B. carrapo*, *G. officinale*, *K. maxima*, *K. pubescens* y *T. cistoides*) muestran que las variables relacionadas con las precipitaciones predicen mejor el hábitat de estas especies. Así mismo, con cada valor generado para las variables (temperatura y precipitación) se conformó que todas pertenecen a bosque seco tropical.

11. RECOMENDACIONES

- Realizar recolectas en campo de las especies de Zygothallaceae en los sitios reportados en este estudio e incluir nuevos sitios con el fin de corroborar la presencia de estas en dichos sitios y ampliar los datos de distribución de la familia.
- Realizar estudios en los que se hagan modelos de proyecciones de cambio climático, que nos permita de alguna manera implementar acciones que vayan encaminadas a la conservación de las especies y del habitat que las alberga.
- Se requieren estudios fenológicos para las especies de Zygothallaceae en Colombia, con el fin de enriquecer la ecología de las especies.
- Hacer modelos con las especies de Zygothallaceae utilizando variables no climáticas en el que se puedan realizar comparaciones a las proyecciones de distribución potencial.

12. REFERENCIAS

- Alvarado D. & Otero, J. (2015). Distribución espacial del bosque seco tropical en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 20(3), 141-153.
- APG (1998). The Angiosperm Phylogeny Group. An ordinal classification for the families of flowering plants. *Annals of the Missouri botanical Garden*, 531-553.
- APG II (2003). Bremer, B., Bremer, K., Chase, M. W., Reveal, J. L., Soltis, D. E., Soltis, P. S. & Judd, W. S. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical journal of the Linnean Society*, 141, 399-436.
- APG III (2009). Bremer, B., Bremer, K., Chase, M., Fay, M., Reveal, J., Soltis, D. & Stevens, P. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society*.
- APG IV (2016). Byng, J. W., Chase, M. W., Christenhusz, M. J., Fay, M. F., Judd, W. S., Mabberley, D. J. & Briggs, B. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical journal of the linnean society*, 181(1), 1-20.
- Ariza, A., Isaacs, P. y González-M., R. (2014). Mapa de coberturas de bosque seco tropical en Colombia (escala 1:100.000, 2.0v). Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt” – Ministerio de Ambiente y Desarrollo. 1 hoja cartográfica.
- Beier, B. A., Chase, M. W., & Thulin, M. (2003). Phylogenetic relationships and taxonomy of subfamily Zygophylloideae (Zygophyllaceae) based on molecular and morphological data. *Plant Systematics and Evolution*, 240(1-4), 11-39.

- Bernal R., Galeano G., Rodríguez A., Sarmiento H. & Gutiérrez M. (15 ene. 2017). Nombres comunes de las plantas de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://www.biovirtual.unal.edu.co/nombrescomunes/es/nombrescomunes/>
- Bernal, R., Gradstein, S. R., & Celis, M. (2015). Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado de: <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Bernal, R., Gradstein, S. R., & Celis, M. (2016). Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado de: <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Burnham, K. (1997). Distributional results for special cases of the Jolly-Seber model. *Communications in Statistics*, 26,1395-1409.
- Cain, S. A. (1944). *Foundations of plant geography*. New York: Harper & Brothers.
- Cárdenas, D. & Salinas, N. (2006). Libro Rojo de Plantas de Colombia: especies maderables amenazadas. I parte. Bogotá: *Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas* (SINCHI).
- Ceballos, G. (1995). Vertebrate diversity, ecology and conservation in neotropical dry forest. Pp: 195-220. En: Bullock S. H., H. A. Mooney y E. Medina (eds.). *Seasonally dry Tropical Forest*. Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts. 450.
- Cotler, H., & Ortega-Larrocea, M. P. (2006). Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico. *Catena*, 65(2), 107-117.

- Cronquist, A. (1981). An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press.
- CVC. (1994). Informe 90-7. Comparación de la cobertura de bosques y humedales entre 1957 y 1986 con delimitación de las comunidades naturales críticas del valle geográfico del Río Cauca. Cali.
- Díaz, J. M. (2006). Bosque seco tropical Colombia. Cali: Banco de Occidente.
- Dirzo, R., Young, H. S., & Mooney, H. A. (2011). *Seasonally dry tropical forests: ecology and conservation*. Island Press.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. McC., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K. S., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M. S. & Zimmermann, N. E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129–151.
- Engler, A. (1931). Zygophyllaceae. In: Engler, A., Prantl, K., Die natürlichen Pflanzenfamilien, ed. 2, 19(a), 2. Leipzig: *Engelmann*. 144–184.
- Espinal, L. S. (1985). Geografía ecológica del Departamento de Antioquía (zonas de vida (formaciones vegetales) del Departamento de Antioquía). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 38(1), 5-106.

- Espinal, L.S. & E. Montenegro. (1977). Formaciones vegetales de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, 201.
- Espírito, M. M., Sevilha, A. C., Anaya, F. C., Barbosa, R., Fernandes, G. W., Sanchez-Azofeifa, G. A., & Sampaio, C. A. (2009). Sustainability of tropical dry forests: two case studies in southeastern and central Brazil. *Forest Ecology and Management*, 258(6), 922-930.
- Fajardo, L., González, V., Nassar, J. M., Lacabana, P., Portillo, Q., Carlos, A., & Rodriguez, J. P. (2005). Tropical dry forests of Venezuela: characterization and current conservation status. *Biotropica*, 37(4), 531-546.
- Fajardo, L., Rodríguez, J. P., González, V., & Briceño-Linares, J. M. (2013). Restoration of a degraded tropical dry forest in Macanao, Venezuela. *Journal of arid environments*, 88, 236-243.
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate.
- Gaston, K. (2003). The structure and dynamics of geographic ranges. Oxford: Oxford University Press.
- Good, R. D. (1931). A theory of plant geography. *The New Phytologist*, 30, 149–171.
- Guisan, A. & N. Zimmermann. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147–186.

- Hammer, Ø. PAST-palaeontological statistics ver. 3.0. Paleontological Museum, University of Oslo, Noruega. Recuperado de: <https://folk.uio.no/ohamme>
- Harrison, R.G. (1998). Linking evolutionary pattern and process. En D.J. Howard y S.H. Berlocher: *Endless Forms: Species and speciation*. Oxford University Press. New York. 19-31.
- Hernández, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., & Albert, D. L. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29(5), 773-785.
- Holdridge, L. R., & Grenke, W. C. (1971). Forest environments in tropical life zones: a pilot study. *Forest environments in tropical life zones: a pilot study*.
- Holmgren, P. K., Holmgren, N. H., & Barnett, L. C. (1990). Index Herbariorum Part I: The Herbaria of the World (Regnum Veg. 120). New York Botanical Garden, New York.
- Hutchinson, G. E. (1957). The multivariate niche. In *Cold Spr. Harb. Symp. Quant. Biol* (Vol. 22, No. 415-421, p. 512).
- Hutchinson, J. (1973). The families of flowering plants: arranged according to a new system based on their probable phylogeny. Oxford: Clarendon Press xx, 968p.
- IAvH (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). (1995). Informe anual. Villa de Leyva, 84.
- IAvH (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). (1997). Caracterización ecológica de cuatro remanentes de bosque seco tropical de la región

Caribe colombiana. Grupo de Exploraciones y Monitoreo Ambiental (GEMA). Villa de Leiva.

IAvH (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). (1998). Bosque seco Tropical (Bs-T) en Colombia. Programa de inventario de la Biodiversidad, Grupo de exploraciones y monitoreo ambiental GEMA. 24.

IAvH (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). (2002). El bosque seco tropical (bs-t) en Colombia, programa de inventario de la biodiversidad. Grupo de exploraciones y monitoreo ambiental gema. Bogotá: Instituto Alexander von Humboldt. 1-24.

Janzen, D. (1986). Tropical dry forests: the most endangered major tropical ecosystem. En Wilson, E.O. (ed.). *Biodiversity*. Washington D. C.: National Academy Press. 130-137.

Jstor Global Plant (16 Nov. 2016). Recuperado de: <https://plants.jstor.org/>

Khalik, K. N. A. (2012). A numerical taxonomic study of the family Zygophyllaceae from Egypt. *Acta Botanica Brasilica*, 26(1), 165-180.

Kozak, K. H., & Wiens, J. J. (2010). Accelerated rates of climatic-niche evolution underlie rapid species diversification. *Ecology Letters*, 13(11), 1378-1389.

Mooney, H. A., Bullock, S. H. & Medina, E. (1995). Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press.

- Mooney, H., Bullock, S., & Medina, E. (1996). Introducción to tropical dry forest. En Bullock, S., & Mooney, H., Medina, E. (eds.). *Seasonally dry tropical forests*. 1-6. Cambridge: Cambridge University Press.
- Murphy, P. G., & Lugo, A. E. (1986). Ecology of tropical dry forest. *Annual review of ecology and systematics*, 17(1), 67-88.
- Pennington, R. T., & Ratter, J. A. (Eds.). (2006). Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography, and conservation. CRC Press.
- Perfectti, F. (2002). Especiación: modos y mecanismos. Soler M., Evolución: La base de la biología. Proyecto Sur. España.
- Peterson, A. T., Ball, L. G., & Cohoon, K. P. (2002). Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods. *Ibis*, 144(1).
- Peterson, A. T., Sanchez-Cordero, V., Martínez-Meyer, E., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2006). Tracking population extirpations via melding ecological niche modeling with land-cover information. *Ecological modelling*, 195(3), 229-236.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3), 231-259.
- Pizano, C. (2014). El bosque seco tropical en Colombia. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*.

- Pizano, C., Cabrera, M., & García, H. (2014). Bosque seco tropical en Colombia; generalidades y contexto. *El Bosque seco tropical en Colombia*. Pp, 37-47.
- Platnick, N. I. (2000). A defense of the phylogenetic species concept (sensu Wheeler and Platnick). *Species concepts and phylogenetic theory: A debate*, 185-197.
- Portillo C. A., & Sánchez-Azofeifa, G. A. (2010). Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation*, 143(1), 144-155.
- Sánchez-Azofeifa G.A, Quesada M, Rodríguez J.P, Nassar JM, Stoner KE, Castillo A, et al. (2005). Research Priorities for Neotropical Dry Forests. *Biotropica*. 37(4):477-485. Doi:10.1111/j.1744-7429.2005.00066.x.
- Sheahan, M. C., & Chase, M. W. (1996). A phylogenetic analysis of Zygophyllaceae R. Br. based on morphological, anatomical and rbcL DNA sequence data. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 122(4), 279-300.
- Sheahan, M. C., & Chase, M. W. (2000). Phylogenetic relationships within Zygophyllaceae based on DNA sequences of three plastid regions, with special emphasis on Zygophylloideae. *Systematic Botany*, 25(2), 371-384.
- Sheahan, M.C. (2007). Zygophyllaceae. En Kubitzki, K., (Ed.). *The Families and Genera of Vascular Plants* (pp. 489-500). Germany. Editorial Springer.
- Simpson, M. G. (2010). Plant systematics. *Academic press*.
- Sobel, J. M., Chen, G. F., Watt, L. R., & Schemske, D. W. (2010). The biology of speciation. *Evolution*, 64(2), 295-315.

- Soberón, J. y Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1–10.
- Stafford, M. J. (2010). Zygophyllaceae. *Flora Mesoamericana*, 3(1), 1-13. Surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*.
- Svenning, J. C. y Skov, F. (2004). Limited filling of the potential range in European tree species. *Ecology Letters*, 7, 565–573.
- Takhtajan, A. (1966). System and phylogeny of flowering plants. Moscow/Leningrad (in Russian.).
- Takhtajan, A. (1980). Outline of the classification of flowering plants (Magnoliophyta). *The botanical review*, 46(3), 225-359.
- Takhtajan, A. (1997). Diversity and classification of flowering plants.
- Takhtajan, A. (2009). Flowering plants. *Springer Science & Business Media*.
- Tamayo, I. & Cetzal, W. (2016). La familia Zygophyllaceae en la península de Yucatán, México. *Centro de investigación científica de Yucatán*, 8, 60-68.
- Thorne, R. F. (1992). An updated phylogenetic classification of the flowering plants. Aliso (USA).
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. (20 oct. 2016). Recuperado de: <http://www.tropicos.org>

- Udvardy, M. (1969). Dynamic zoogeography, with special reference to land animals. New York: van Nostrand Reinhold.
- Veloz, S. D. (2009). Spatially autocorrelated sampling falsely inflates measures of accuracy for presence-only niche models. *Journal of Biogeography*, 36(12), 2290-2299.
- Walter, H. & Lieth, H. (1967). Klimadiagramm-Weltatlas. Jena: VEB Gustav Fischer.
- Wang, H., Moore, M. J., Soltis, P. S., Bell, C. D., Brockington, S. F., Alexandre, R., & Soltis, D. E. (2009). Rosid radiation and the rapid rise of angiosperm-dominated forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(10), 3853-3858.
- Wright, S. & Muller-Landau, H. (2006). The future of tropical forest species. *Biotropica*, 38(3), 287-301.
- Sánchez-Azofeifa G.A, Quesada M, Rodríguez J.P, Nassar JM, Stoner KE, Castillo A, et al. (2005). Research Priorities for Neotropical Dry Forests. *Biotropica*. 37(4):477-485. Doi:10.1111/j.1744-7429.2005.00066.x.