

**DESCRIPCIÓN DE LA DEMOGRAFÍA, EL HÁBITAT Y LA VARIABILIDAD EN
RASGOS FUNCIONALES DE CUATRO SUBPOBLACIONES DE *Zamia
muricata* Willd. EN BOSQUES SECOS DE SANTANDER.**

JEFFREY VEGA AGUILAR

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA
BUCARAMANGA
2015**



**DESCRIPCIÓN DE LA DEMOGRAFÍA, EL HÁBITAT Y LA VARIABILIDAD EN
RASGOS FUNCIONALES DE TRES POBLACIONES DE *Zamia muricata* Willd.
EN BOSQUES SECOS DE SANTANDER.**

JEFFREY VEGA AGUILAR

Pasantía de investigación presentada como requisito para optar al título de
BIÓLOGO

Directora

CRISTINA LÓPEZ GALLEGO Ph.D.

Bióloga

Universidad de Antioquia

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE BIOLOGÍA

BUCARAMANGA

2015

Yo, **JEFFREY VEGA AGUILAR**, mayor de edad, vecino de Bucaramanga, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 91.512.594 de Bucaramanga, actuando en nombre propio, en mi calidad de autor del trabajo de grado denominado: **DESCRIPCIÓN DE LA DEMOGRAFÍA, EL HÁBITAT Y LA VARIABILIDAD EN RASGOS FUNCIONALES DE TRES POBLACIONES DE *Zamia muricata* Willd. EN BOSQUES SECOS DE SANTANDER**, hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (CD o DVD) y autorizo a LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento. PARÁGRAFO: la presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato virtual, electrónico, digital, óptico, uso en red, Internet, extranet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR – ESTUDIANTE, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad sobre la misma. PARÁGRAFO: en caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL AUTOR / ESTUDIANTE, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Bucaramanga, a los ocho (20) días del mes de Octubre de Dos Mil quince 2015

EL AUTOR / ESTUDIANTE:



Jeffrey Vega Aguilar

C.C: 91.512.594 de Bucaramanga

*A mi madre y mis hermanos, quienes han sido la fuerza que
me impulsa a mejorar cada día y llenan
mi vida de amor y esperanza.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser la fuente de todo lo bueno que nos rodea.

A Alicia Rojas, por permitirme hacer parte de su grupo de trabajo y todo su apoyo durante la elaboración del proyecto.

A Lina María, por la motivación y paciencia durante los momentos difíciles.

A Cristina López-Gallego, por la dirección y dedicación durante la realización de este proyecto.

A la Red Nacional de Jardines Botánicos de Colombia por la financiación de este proyecto.

A los habitantes de las veredas Monserrate y Suratá, por recibirme en sus hogares y participar activamente durante la fase de campo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. COMPETENCIAS DE LA PASANTIA DE INVESTIGACIÓN	16
2. MATERIALES Y MÉTODOS	17
2.1. Especie de estudio	17
2.2. Área de estudio	18
2.3. Estimación de la densidad y la estructura poblacional	18
2.4. Caracterización general del hábitat	20
2.4.1. Composición de la vegetación acompañante.	20
2.4.2. Factores abióticos	21
2.5. Divergencia en rasgos funcionales entre poblaciones	22
3. RESULTADOS	23
3.1. Densidad y estructura poblacional	23
3.2. Caracterización general del hábitat	26
3.2.1. Composición de la vegetación acompañante	26
3.2.2. Factores abióticos	29
3.3. Divergencia en rasgos funcionales entre poblaciones	31
4. DISCUSIÓN	35
4.1. Densidad y estructura poblacional	35
4.2. Caracterización general del hábitat	36
4.3. Divergencia en rasgos funcionales	38
5. CONCLUSIONES	41
6. RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXOS	49

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comparación de la distribución de individuos con base en el diámetro del rizoma, de cuatro subpoblaciones de <i>Z. muricata</i> del Municipio de Bucaramanga	25
Tabla 2. Similitud florística de la vegetación asociada a las subpoblaciones de <i>Z. muricata</i> del municipio de Bucaramanga	28
Tabla 3. Análisis físico-químico del suelo para los cinco transectos de la vereda Monserrate	29
Tabla 4. Prueba Kolmogorov-Smirnov para evaluar el ajuste a la distribución normal de los rasgos funcionales en cada subpoblación	32
Tabla 5. Índice de correlación de Spearman (r_s) para cada comparación entre rasgos funcionales	32
Tabla 6. Matriz de confusión del Análisis Discriminante con todos los rasgos funcionales para la categoría adultos de cuatro subpoblaciones de <i>Z. muricata</i> de Bucaramanga	34

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de la ubicación de 4 subpoblaciones de <i>Zamia muricata</i> Will., en el municipio de Bucaramanga, Santander	19
Figura 2. Relación entre las variables de clases de tamaño. A. Longitud de la hoja y Diámetro del rizoma. B. Número de folíolos y Diámetro del rizoma.	24
Figura 3. Estructura por clases de tamaño de cuatro subpoblaciones de <i>Z. muricata</i> con base en el Diámetro del rizoma (mm). Plántulas (10 – 23.5), Juveniles (23.6 – 51.5) y Adultos (>51.5).	25
Figura 4. Comparación de las estructuras vertical y horizontal de la vegetación acompañante de tres localidades del municipio de Bucaramanga.	26
Figura 5. Ordenación indirecta (DCA) de 15 transectos y su composición florística.	27
Figura 6. Análisis de correspondencia canónica de la composición florística y su relación con factores físicos-químicos del suelo en los 15 transectos de Bosque seco del Municipio de Bucaramanga, Santander.	30
Figura 7. Diagrama de dispersión de las funciones discriminantes 1 y 2 del análisis con todos los rasgos funcionales.	33

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Lista de individuos de <i>Zamia muricata</i> con más de 3 folíolos registrados en la localidad de Monserrate.	49
Anexo B. Lista de familias de la vegetación acompañante en la vereda Monserrate	52
Anexo C. Lista de especies y abundancia por transectos de la vegetación acompañante en la vereda Monserrate.	53
Anexo D. Valores promedio para la textura, pH, contenido de nutrientes y altitud del suelo, en las tres localidades evaluadas.	55
Anexo E. Rasgos funcionales en cuatro subpoblaciones de <i>Zamia muricata</i> Will., del municipio de Bucaramanga.	56

RESUMEN

TÍTULO: DESCRIPCIÓN DE LA DEMOGRAFÍA, EL HÁBITAT Y LA VARIABILIDAD EN RASGOS FUNCIONALES DE CUATRO SUBPOBLACIONES DE *Zamia muricata* Willd. EN BOSQUES SECOS DE SANTANDER.*

AUTOR: Jeffrey Vega Aguilar**

PALABRAS CLAVES: *Zamia muricata*, estructura poblacional, rasgos funcionales, caracterización del hábitat, bosque seco tropical.

DESCRIPCIÓN:

Los bosque secos en el departamento de Santander experimentan una fuerte degradación de la cobertura vegetal que deteriora el estado de conservación de especies vulnerables como *Zamia muricata*. Una población recientemente reportada de esta especie en la Localidad de Monserrate (Bucaramanga) fue georreferenciada y caracterizada en términos de su estructura poblacional, vegetación asociada, estado físico-químico del suelo y 7 rasgos funcionales; y comparada con otra población cercana previamente caracterizada por la Red Nacional de Jardines Botánicos. Se registraron 468 individuos segregados en dos subpoblaciones, cuyas diferencias en la proporción de plántulas, Juveniles y Adultos, establecidas con base en el diámetro del rizoma, número de foliolos y estructuras reproductoras; no fueron estadísticamente significativas. La composición de la vegetación y el análisis del contenido de nutrientes, pH y textura del suelo diferenciaron el hábitat de cada subpoblación, separando las localidades de Monserrate, Suratá y el Embalse con base en la abundancia de especies representativas como *Astronium graveolens*, *Hamelia patens* y factores abióticos como la altitud, el pH y el contenido de materia orgánica. Los rasgos funcionales altamente correlacionados mostraron gran variabilidad en el diámetro del rizoma y ambiguas correlaciones negativas entre SLA y los demás caracteres. No obstante, diferenciaron los individuos de *Z. muricata* de la localidad de Monserrate de aquellos de Embalse + Suratá, sugiriendo la presencia de respuestas funcionales diferentes a condiciones ambientales diferentes. Los esfuerzos para la conservación de esta especie deben garantizar preservar estas diferencias y detener la destrucción de los fragmentos de bosque seco tropical de la zona.

*Trabajo de Grado

**Facultad de ciencias. Escuela de Biología. Director: Fernando Rondón González

ABSTRACT

TITLE: DESCRIPTION OF DEMOGRAPHICS, HABITAT AND FUNCTIONAL TRAITS VARIABILITY IN FOUR SUBPOPULATIONS OF *Zamia muricata* WILLD. IN DRY FORESTS OF SANTANDER.*

AUTHOR: Jeffrey Vega Aguilar **

KEYWORDS: *Zamia muricata*, population structure, functional features, habitat characterization, tropical dry forest.

DESCRIPTION:

The dry forests in the department of Santander are experiencing the severe degradation of the vegetation cover which is impacting on the conservation status of vulnerable species such as *Zamia muricata*. A recently reported population of this species in the locality of Monserrate (Bucaramanga) was both geo-referenced and characterized in terms of its population structure, associated vegetation, soil physicochemical state and 7 phenotypic traits; and compared to another nearby population previously characterized by the National Network of Botanical Gardens. 468 individuals were recorded. These were segregated into two subpopulations, whose differences in the proportion of seedlings, juveniles and adults, established based on the diameter of the rhizome, number of leaflets and reproductive structures, were not statistically significant. The vegetation composition and analysis of the nutrient content, pH and soil texture differentiated each subpopulation habitat, separating the localities of Monserrate, Suratá and Embalse based on the abundance of representative species such as *Astronium graveolens*, *Hamelia patens* and abiotic factors such as altitude, pH and organic matter content. The highly correlated phenotypic traits showed great variability in the diameter of the rhizome and ambiguous negative correlations between SLA and other characteristics. However, Monserrate *Z. muricata* individuals differed from those from Embalse + Suratá, suggesting the presence of different functional responses to different environmental conditions. Efforts to conserve this species must ensure the preservation of these differences and stop destruction of the tropical dry forest fragments in the area.

* Degree work, Research internship

** Science faculty, Department of Biology. Director: Fernando Rondón González, Ph.D.

INTRODUCCIÓN

El Bosque seco Tropical (Bs-T) en Colombia está caracterizado por la formación vegetal de cobertura boscosa continua, que se distribuye entre los 0 y los 1000 m de altitud; con una temperatura media anual superior a los 25° C alcanzando temperaturas máximas de 38° C. La precipitación en este tipo de bosque fluctúa entre 789 mm y los 1800 mm, con uno o dos períodos marcados de sequía al año (IAVH 1997). Diversos autores lo denominan como bosque tropical caducifolio, dada la pérdida del follaje durante una época del año, lo cual constituye una de las principales adaptaciones fisiológicas de las plantas al déficit de agua. Existen también adaptaciones estructurales generalizadas entre las plantas como son la presencia de hojas compuestas y folíolos pequeños, corteza de los troncos lisa y presencia de aguijones o espinas (IAVH 1995).

El Bs-T es un ecosistema reconocido por sus altos niveles de endemismo y especiación; con cerca de 41 géneros de plantas con flores (Angiospermas) restringidos a este tipo de Bosque en Colombia (IAVH 1998). En general, en su composición florística en muestreos de 0.1 ha se destaca la presencia de las familias Cactaceae, Capparidaceae y Zygophyllaceae; siendo las Leguminosas (Fabaceae) el grupo con el mayor número de especies, seguida por Malvaceae (Gentry, 1995). En el departamento de Santander (Colombia) este tipo de bosque se caracteriza por la presencia de especies arbóreas emergentes de géneros como *Bursera* y *Pseudobombax*, orquídeas epífitas como *Laelia esplendida* y *Brassavola nodosa*; especies rupícolas como *Epidendrum ibaguensis* y Cícadas (Gimnospermas del orden Cicadales) como *Zamia encephalartoides*, endémica de la cobertura subxerofítica del cañón del Chicamocha, y *Zamia muricata* con poblaciones fuertemente fragmentadas que se extienden a través de la cuenca del río Suratá (IAVH, 2014; Pizano y García, 2014).

El Bs-T es considerado como uno de los ecosistemas más amenazados del país, fuertemente afectado por la actividad humana (Pizano y García, 2014). Algunas estimaciones señalan que de Bosques secos a subhúmedos solo existe cerca del 1.5% de su cobertura original de 80.000 km² y su representatividad en el sistema de áreas protegidas de Colombia es mínima (Arango et al., 2003). Aunque se distribuye principalmente en las regiones de la llanura Caribe y los valles interandinos de los ríos Magdalena y Cauca, en el departamento de Santander se encuentran enclaves de menor extensión de Bs-T, ubicados en el cañón del río Chicamocha y la región del alto río Lebrija. Estos fragmentos que parecen existir por la topografía escarpada que no permite la intervención humana, están aislados

y rodeados en su mayoría por zonas de cultivos y pastos, como es el caso del cañón del río Suratá, afluente del río Lebrija y sitio donde se desarrolló el presente estudio. Este aislamiento puede tener consecuencias negativas en las poblaciones de plantas, y junto con la degradación de las condiciones ambientales del hábitat, deben tenerse en cuenta al evaluar la viabilidad poblacional en ecosistemas impactados por el hombre. En Cícadas se espera que esos fenómenos reduzcan el tamaño de las poblaciones y afecten la mortalidad de adultos, con fuertes efectos negativos sobre la tasa de crecimiento de la población (López-Gallego & O'Neill, 2010).

El estudio de las Cícadas también es importante desde el punto de vista evolutivo, por su larga historia fósil y la presencia de caracteres morfológicos únicos dentro de las espermatofitas (plantas con semillas). Este orden es uno de los taxa vivientes más antiguos y uno de los más amenazados en el mundo, con más del 60% de las especies en alguna categoría de riesgo de extinción. Esto hace indispensable aumentar los estudios de campo y laboratorio dirigidos a la búsqueda de nuevos caracteres e información biológica que permitan evaluar el estado de su conservación particularmente en especies tropicales. En nuestro país las Cícadas están representadas por dos familias; de las cuales en la flora nativa únicamente se encuentra la familia Zamiaceae; con su género *Zamia*, del cual se reportan varias interacciones con otros organismos pero se conoce muy poco sobre la dispersión de semillas u otros aspectos de la historia natural. El género *Zamia* es el taxón con mayor diversidad morfológica y ecológica del orden Cicadales, y alcanza su mayor diversificación en Colombia con 21 especies reportadas, de las cuales 13 son endémicas (López-Gallego, 2015).

La especie *Zamia muricata*, objeto de este estudio; se distribuye en los Bs-T desde la región Noreste de Colombia hasta el área costera central de Venezuela (Stevenson, 2004). La Red Nacional de Jardines Botánicos a través del Jardín Botánico Eloy Valenzuela, ha identificado poblaciones de esta especie en Bosques secos del departamento de Santander, en donde parcialmente se han adelantado estudios demográficos y de caracterización del hábitat. En estos se determinó baja densidad poblacional y su estructura, con alta proporción de individuos adultos de tamaño pequeño y número reducido de hojas, sugiriendo altas tasas de mortalidad para juveniles y plántulas. Estas características son propias de poblaciones con un alto grado de alteración, en este caso en gran medida como consecuencia de la deforestación generada para la construcción del embalse del río Tona. (Gómez et al., 2014). Sobre estas nuevas poblaciones es indispensable continuar las observaciones de los parámetros demográficos toda vez que la degradación del

hábitat afecta la supervivencia y reproducción de las plantas, y reduce los niveles de variación genética (López-Gallego & O'Neill, 2010).

Además de las características poblacionales como la densidad y estructura, se tiene un vacío en información sobre los rasgos funcionales de estas poblaciones de *Z. muricata* reportadas recientemente en el municipio de Bucaramanga, Santander. Según Poorter et al. (2008), los rasgos funcionales son atributos de las especies que influyen sobre sus tasas vitales (supervivencia, crecimiento, y reproducción) y son determinantes para las plantas de los Bs-T porque están relacionados con el control del agua y la temperatura, tanto en las hojas como en los demás órganos de la planta (e.g., área foliar, masa seca, etc.). También se relacionan con las estrategias de defensa contra los herbívoros (e.g., espinas y exudados). López-Gallego y O'Neill (2010), establecen que los rasgos funcionales son importantes no sólo por sus potenciales efectos sobre la viabilidad de la población, sino también porque permiten determinar estrategias de muestreo adecuados para maximizar la representación de la variación fenotípica observada en una población, con fines de restauración.

Por consiguiente, la Red Nacional de jardines botánicos ha decidido continuar con el estudio de la demografía y caracterización del hábitat de estas poblaciones, e iniciar con la descripción de sus rasgos funcionales para determinar si difieren entre ellas lo suficiente como para explorar el potencial adaptativo a cambios en el medio ambiente y la composición florística en fragmentos de Bs-T alterados (Chaturvedi et al. 2011). En este sentido, el propósito de este estudio fue determinar y comparar parámetros demográficos, del hábitat y de rasgos funcionales de varias subpoblaciones de *Z. muricata* para responder a la pregunta: ¿Existe divergencia o similitud en estos parámetros entre estas poblaciones que las relacionan con los fragmentos de Bosque seco tropical donde habitan?. Para esto se han utilizado datos de estudios previos realizados por la Red Nacional de Jardines Botánicos, y se ha incorporado información de las subpoblaciones recientemente reportadas. Finalmente, es nuestro deseo aportar material de apoyo para la estrategia de conservación de la especie adelantada por el Jardín Botánico Eloy Valenzuela.

1. COMPETENCIAS DE LA PASANTÍA DE INVESTIGACIÓN

La pasantía fue enfocada en determinar y comparar parámetros demográficos, del hábitat y rasgos funcionales implementando herramientas metodológicas de la Botánica y la Ecología.

Una vez concluida dicha pasantía, el estudiante:

- Identifica los individuos de la especie *Z. muricata* y los diferencia de otras especies de la familia *Zamiaceae*.
- Toma correctamente las mediciones de parámetros demográficos y funcionales, para los respectivos análisis estadísticos.
- Identifica especies vegetales diferentes a *Z. muricata* y realiza una correcta caracterización de la vegetación acompañante.
- Utiliza las herramientas estadísticas disponibles para el tratamiento de los datos y la correcta presentación de los resultados.
- Interpreta y analiza los resultados aportando información al programa de conservación de la diversidad de *Z. muricata*.

2. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo de grado hace parte del Programa de conservación integral de especies de plantas prioritarias del Bosque Seco Tropical, dicho proyecto fue financiado por ECOPETROL y ejecutado por la Red Nacional de Jardines Botánicos organización registrada con NIT. 830.043.904 - 9.

2.1 Especie de estudio

Zamia muricata se encuentra en riesgo debido principalmente a la destrucción de su hábitat, de modo que ha sido categorizada como Near Threatened (casi amenazada) en la Lista roja de plantas de la IUCN (International Union for Conservation of Nature, 2010) y resaltada en la Resolución de especies de plantas amenazadas de Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Resolución 192, 2014). Además de esto, el Plan de acción para la conservación de las Zamias de Colombia (López-Gallego, 2015), ha categorizado esta especie como en peligro (EN) con base en el parámetro de distribución geográfica AOO (Área de ocupación < 500 Km²); con un número de localidades con poblaciones reportadas < 5, y los reportes de disminución continua de la calidad del hábitat. *Z. muricata* crece como una planta de sotobosque en sitios de condiciones ambientales moderadas; ni definitivamente húmedos, ni completamente secos, prefiriendo los suelos arcillosos. Los folíolos van desde oblongo-lanceolados hasta lanceolados, claramente denticulados en la parte distal de ambos márgenes y sub-opuestos sobre el raquis de la hoja. Las hojas crecen a partir de un tallo subterráneo (rizoma) y presentan una coloración marrón en las primeras etapas de su desarrollo.

En cuanto a su biología poblacional, los individuos adultos presentan de 2 a 6 hojas las cuales pueden alcanzar hasta 2 m de longitud con folíolos de 15 a 40 cm de largo. Es una especie dioica que desarrolla estróbilos poliníferos color amarillento o marrón claro, de 6 a 10 cm de largo y 2 a 3 cm de diámetro. Las plantas hembra presentan estróbilos ovulíferos de color marrón, con longitudes de entre 10 a 20 cm de largo y 5 a 10 cm de diámetro (Stevenson, 2001). La polinización es realizada por pequeños insectos del orden Coleóptera (López-Gallego, 2015) y dado que las poblaciones se ubican en grandes pendientes de suelos rocosos, se asume que la dispersión es por gravedad (Stevenson, 2001).

2.2 Área de estudio

El estudio fue realizado en fragmentos de Bosque seco tropical ubicados al norte de la cordillera Oriental de los Andes colombianos sobre el departamento de Santander, en la zona rural Nor-Oriental del municipio de Bucaramanga. Los grupos de individuos de *Zamia muricata* estudiados se sitúan entre los 800 y 1400 m, en localidades con temperatura promedio de 25°C y precipitación promedio anual de 1253 mm, con un período de sequía entre los meses de Diciembre y Enero (IDEAM, 2005). Se distribuyen desde el límite de los municipios de Bucaramanga y Tona, hasta la zona de influencia del proyecto “Regulación del río Tona – Embalse de Bucaramanga” ubicado a 1 km de la cabecera municipal (Fig. 1).

Para efecto de este estudio los individuos se agruparon en 4 parches segregados espacialmente, y considerados como subpoblaciones porque constituyen conjuntos discretos de pocos individuos, separados a 1km (aprox.) de distancia uno del otro y para los cuales se espera baja diferenciación genética (López-Gallego & O’Neill, 2010). El primer conjunto de individuos se ubica en la zona de inundación del embalse del río Tona (subpoblación Embalse) y su demografía y hábitat se caracterizó en un estudio previo (Gómez et al., 2014). La segunda subpoblación se ubica en el margen occidental del río Suratá (subpoblación Suratá), dentro de un relicto de Bs-T el cual presenta pendientes superiores a 60° y se encuentra rodeado por cultivos de cacao, café y potreros con pastizales. Las últimas dos subpoblaciones, se ubican en la vereda Monserrate, en el límite de los municipios de Bucaramanga y Tona, sobre el cañón del río Tona y se denotan en este estudio como Monserrate A y Monserrate B. Estos dos últimos parches de individuos se encuentran separados por potreros, cultivos y una carretera, factores que fragmentaron la población original dejando un grupo de individuos por encima de la vía; la subpoblación B, con acentuada actividad humana y la subpoblación A ubicada por debajo de la vía y más alejada de factores antropogénicos.

2.3 Estimación de la densidad y la estructura poblacional

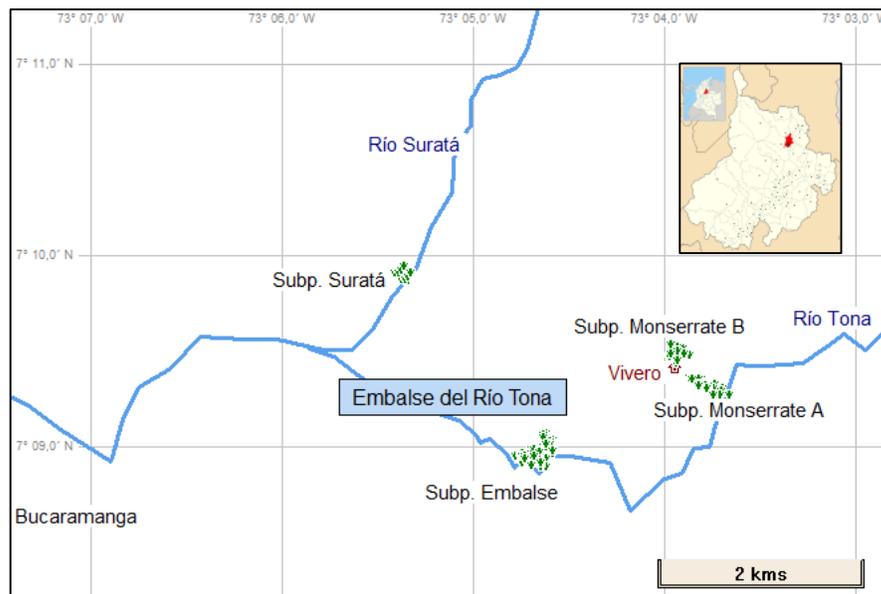
Se realizaron recorridos en el área de distribución de las subpoblaciones A y B de la vereda Monserrate localizando todos los individuos de la especie *Z. muricata*. Cada planta fue marcada con una lámina de aluminio la cual se amarró a la base del peciolo con alambre de cobre y se le asignó un código conformado por un número y una letra, para que fuera reconocido posteriormente. Se realizó la georreferenciación de cada uno de los individuos y mediante el programa Google Earth™ (2014) se estimó el área total sobre la cual se encuentran. Usando el área

de distribución y el número de individuos adultos registrados, se determinó la densidad poblacional mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad Poblacional} = \text{No. Individuos} / \text{Área (m}^2\text{)}$$

(Müller-Dombois & Ellenberg, 1974).

Figura 1. Mapa de la ubicación de 4 subpoblaciones de *Zamia muricata* Will., en el municipio de Bucaramanga, Santander.



Con el objetivo de determinar la estructura de las subpoblaciones de *Zamia muricata* de la vereda Monserrate se visitaron en su hábitat natural 468 individuos para los cuales se escogió la hoja más larga presente para realizar las mediciones *in situ*. Esta hoja corresponde a la hoja más nueva y para la cual se espera que contenga el mayor número de foliolos (López-Gallego, 2007). Se midió su longitud y el número de foliolos sobre esta, considerando la inserción del foliolo en aquellos casos donde este no se encontró por pérdida por herbivoría. Se contabilizó el número de hojas presentes en cada planta y también se midió el diámetro del rizoma en su porción más gruesa para explorar su utilización en la determinación de la estructura poblacional para esta especie. En los individuos más pequeños (<4 foliolos) se realizaron mediciones representativas del diámetro del rizoma, es decir; se excluyeron a la mayoría de las plántulas observadas para evitar afectar su fisiología con la excavación y se registró el diámetro solo en algunos ejemplares en cada

subpoblación para establecer un rango aproximado de valores. Finalmente se registró la condición reproductiva (presencia de conos) de los individuos para clasificarlos dentro de la población según el sexo. Se evaluó la correlación entre las tres variables de tamaño más relevantes a través de los índices de Spearman (r_s) y Pearson (r_p) de acuerdo al tipo de variable, y se calculó el coeficiente de variación para definir más intrínsecamente la magnitud de la variabilidad de los caracteres (Franco e Hidalgo, 2003). Se escogió una combinación de las variables de tamaño y se utilizó en la determinación de la estructura de las cuatro subpoblaciones (Embalse, Suratá, Monserrate A y B), clasificando los individuos en categorías (López-Gallego, 2008; Gómez, 2014). Se calculó la abundancia relativa (Frecuencia %) de individuos en cada categoría de tamaño (López-Gallego, 2008) y se comparó descriptivamente la estructura de las 4 subpoblaciones. Se realizó la prueba estadística Kolmogorov-Smirnov de dos muestras para determinar la significancia de las diferencias encontradas entre las estructuras. Los análisis se realizaron con los programas estadísticos Past 3.01 (Hammer *et al.*, 2001) y R v. 3.2.1 (R Core Team, 2013).

2.4. Caracterización general del hábitat

Para describir el hábitat en la localidad de Monserrate se utilizaron parámetros bióticos relacionados con la composición y estructura de la vegetación, y abióticos como la composición físico-química del suelo. Estos parámetros se evaluaron en aquellos sectores donde el hábitat estuvo menos intervenido por la actividad antrópica y con la metodología aplicada en las subpoblaciones de Suratá y el Embalse por Gómez *et al.* (2014).

2.4.1. Composición de la vegetación acompañante

A lo largo del área de distribución de los individuos de *Z. muricata* se realizó la caracterización vegetal del hábitat en la vereda Monserrate, estableciendo 5 transectos de 50 x 4 m y siguiendo la metodología propuesta por ISA-JAUM (2004); en la cual se registran todos los individuos con $DAP \geq 2,5$ cm. Se separaron los transectos de manera que se incluyera la mayor cantidad de características de la vegetación. Se colectaron muestras representativas de cada individuo siguiendo la metodología estándar para recolección, conservación y herborizado de muestras botánicas (Villarreal *et al.*, 2004). Se registró la abundancia de cada morfotipo y se identificó el material colectado en cada transecto hasta nivel de género y especie en aquellos casos donde fue posible. Con los valores de DAP y altura total registrados para cada individuo se estimó la estructura vertical y horizontal de la

vegetación, y con la información de las especies se calcularon los índices de similitud de Jaccard y Sorensen para comparar la composición florística de las tres localidades.

La información de la composición y abundancia de la vegetación asociada a las poblaciones de *Z. muricata* de la vereda Monserrate se adjuntó con las caracterizaciones de las localidades de Suratá y Embalse (tomados de Gómez, 2014), y se organizaron en una matriz de datos de 15 transectos x 82 especies. Se realizó la ordenación indirecta de las localidades aplicando la técnica multivariada DCA: Análisis de correspondencia sin tendencia (Hill & Gauch, 1980), con transformación de los datos para corregir las diferencias entre el tamaño de las muestras y la abundancia de los taxa (función decostand) y reducción en la ponderación de los taxa raros con la función $weight=1$ (Holland, 2008).

Finalmente se entregaron al Jardín Botánico Eloy Valenzuela, dos muestras alcoholizadas en papel, por cada individuo colectado, para el tratamiento y posterior ingreso a la colección de herbario de esta entidad.

2.4.2 Factores abióticos

Se tomó 1 kg de suelo en cada uno de los cinco transectos compuesto por la mezcla de 4 submuestras tomadas en los metros 10, 20, 30 y 40, siguiendo el protocolo propuesto por Van Reeuwijk (1998) para la toma de muestras de suelo.

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio Químico de Suelos de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), para determinar el contenido de nutrientes (C, P, Ca, Mg, K, Na, Cu, Zn, Fe, Mn), materia orgánica, pH y textura. Finalmente se determinó la altura al nivel del mar de cada transecto y junto con los resultados del análisis físico-químico se construyó la matriz de datos de las variables abióticas.

La información de la composición y abundancia de la vegetación acompañante de las 3 localidades (Monserrate, Embalse y Suratá) se combinó con la matriz de factores abióticos creada a partir de los análisis físico-químicos del suelo de la localidad de Monserrate y los efectuados por Gómez et al. (2014) en las localidades de Embalse y Suratá. Se transformaron las variables ambientales a su logaritmo (\log_{10}) para eliminar el efecto de distintas escalas de medida y reducir la influencia de valores grandes (Greenacre, 2008). Con esta matriz se realizó un Análisis de correspondencias canónicas CCA (Ter Braak, 1987) para explorar si la combinación de todas las variables ambientales explica mejor la variación en la abundancia de las especies, optimizando el ajuste de la abundancia de especies al conjunto de

factores abióticos medidos (Escudero et al., 1994). Se realizó un segundo análisis seleccionando un conjunto de variables abióticas explicativas con base en el criterio de información de Akaike (AIC) para mejorar el ajuste. Estos análisis se realizaron con el paquete Vegan (Oksanen et al., 2008) implementado en el software R versión 3.2.2 (2015).

2.5 Divergencia en rasgos funcionales entre poblaciones.

Se localizaron los individuos previamente georreferenciados por Gómez (2014) en las localidades de Suratá y Embalse, y los registrados en este estudio en la localidad de Monserrate (subpoblaciones A y B). Se determinó un total de 7 rasgos funcionales en cada planta, seleccionados con base en su reconocida relación con la eficiencia en el uso de los recursos (Pérez et al., 2011; De la Riva et al., 2014). Los rasgos medidos en este estudio fueron: 1, diámetro del rizoma (mm); 2, área foliar (cm²); 3, área foliar específica (SLA: área foliar por unidad de masa seca del foliolo; cm²/g); 4, promedio del ancho de cuatro foliolos de la parte media de la hoja (cm); 5, promedio de la longitud de cuatro foliolos de la parte media de la hoja (cm); 6, espesor de la hoja (Lth: Masa fresca del foliolo por unidad de área; g/cm²); 7, contenido de materia seca (LDMC: masa seca por unidad de masa fresca saturada de agua; mg/g).

Para la medición de los rasgos foliares se tomaron los cuatro foliolos más largos de la parte media de la hoja, se llevaron al laboratorio del Jardín Botánico Eloy Valenzuela y previamente se rehidrataron en agua destilada para la determinación del área foliar, el ancho, la longitud y la masa fresca. En aquellos casos donde el individuo presentó menos de seis foliolos, solo se tomaron dos de ellos. Después de las mediciones sobre cada foliolo, se sometieron a secado en horno a 70°C durante 48 horas para posterior determinación de su masa seca. Para la medición del diámetro del rizoma (*in situ*), el ancho del foliolo y la longitud del foliolo se utilizó un calibrador pie de rey de precisión ± 1 mm. La determinación de la masa fresca y seca del foliolo se registró con balanza analítica de precisión ± 1 mg. El cálculo del área foliar se realizó con la aplicación Leaf-Area –measurement (A. P. Askew, University of Sheffield, UK), previo scanner del foliolo con resolución de imagen de 300ppi. Los rasgos funcionales derivados SLA, Lth y LDMC se estimaron con Microsoft Excel (2010), con referencia en las ecuaciones definidas en Pérez et al. (2011).

Se realizó la prueba Kolmogorov-Smirnov para evaluar el ajuste a la distribución normal de los rasgos funcionales en cada subpoblación y la prueba de Levene para determinar si existe homogeneidad de varianzas para cada rasgo funcional entre las subpoblaciones. Se exploró las correlaciones entre los diferentes rasgos a través

del Índice de correlación de Spearman (r_s) y se compararon los promedios y coeficientes de variación entre caracteres en cada subpoblación. Algunas variables presentaron outliers, los cuales fueron removidos posteriormente. Con la matriz de rasgos funcionales y seleccionando exclusivamente la clase adultos (diámetro del rizoma > 51.5 mm) se aplicó la prueba de igualdad de medias (Test de Wilks), con el objetivo de observar como al incorporar variables se afecta el valor de λ , determinando el poder discriminante de cada una. Se aplicó la transformación de datos (\ln) para corregir el ajuste a la distribución normal y la heterocedasticidad y se realizó un Análisis discriminante (AD) simultaneo (con todos los rasgos) para determinar si estos permiten clasificar las observaciones en los 4 grupos definidos previamente en este estudio como subpoblaciones (Fernández, 2002), y determinar si existe o no divergencia funcional entre estos.

Con base en los resultados de la descripción y comparación del hábitat de las localidades (DCA y CCA) y los resultados del análisis discriminante con cuatro grupos; se evaluó una segunda hipótesis de relaciones a través de un segundo análisis discriminante con el objetivo de determinar si los rasgos funcionales permiten diferenciar un primer grupo conformado por los individuos de Suratá y Embalse, de un segundo grupo conformado por las subpoblaciones de Monserrate A y B. Para cada uno de los AD, se realizó un análisis de membresía (Muñoz-Urias, et al., 2008) para comparar el poder clasificatorio bajo los modelos Lineal y Cuadrático. Los análisis se realizaron utilizando el software estadístico R v. 3.2.2 (R Core Team, 2015) y el paquete Vegan v2.0-8 (Oksanen, 2013).

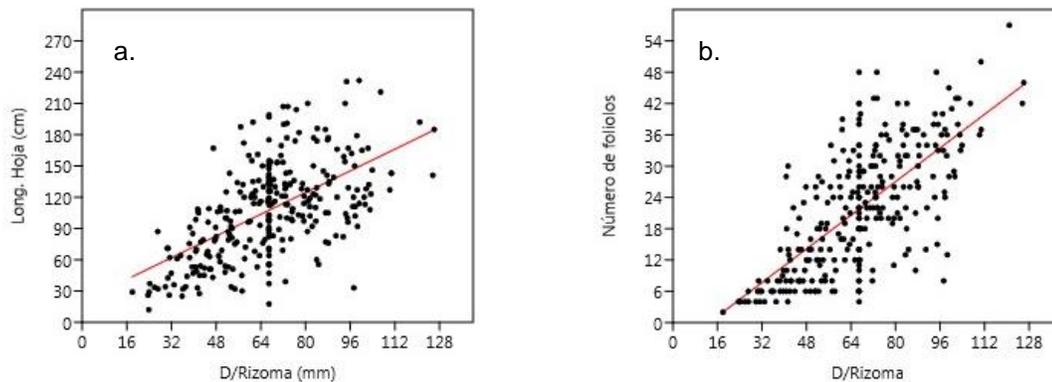
3. RESULTADOS

3.1 Densidad y estructura poblacional

En la vereda Monserrate se localizaron 468 individuos de la especie *Z. muricata*; Subpoblación Monserrate A con $n=390$ individuos y subpoblación Monserrate B con $n=78$ individuos, (Anexo A). Entre los dos agrupamientos se registró un reducido número de individuos con estructuras reproductoras; 17 en total, de los cuales 14 presentaron estróbilo ovulífero y 3 estróbilo polinífero, siendo la gran mayoría de estos individuos pertenecientes a la subpoblación B. Las restantes plantas se encontraron en estado vegetativo. El área total ocupada por la subpoblación A es de $17,953.631$ m² aprox., y la densidad poblacional calculada con individuos adultos fue de $0,007$ ind/m². La subpoblación B se distribuye en un área aproximada de $10,487.909$ m² y la densidad estimada fue de $0,0046$ ind/m².

Para la vereda Monserrate se determinó que las variables de tamaño estudiadas se correlacionan positivamente, donde el número de folíolos mostró fuerte asociación con el diámetro del rizoma con un coeficiente de correlación de Spearman (r_s) de 0,74681 ($p < 0,001$). La longitud de la hoja más larga y el diámetro del rizoma con también se correlación de manera significativa y positivamente (Pearson, $r_p = 0,62577$ ($p < 0,001$)). La mayor asociación entre las tres variables se establece entre el número de folíolos y la longitud de la hoja, con $r_s = 0,81771$ ($p < 0,001$), como era de esperarse en variables intrínsecamente asociadas dentro de un mismo órgano de la planta. Se observó que la correlación entre el diámetro del rizoma y el número de folíolos es fuerte en los individuos más pequeños y la dispersión de los puntos aumenta a medida que el valor del diámetro del rizoma aumenta (Fig. 2).

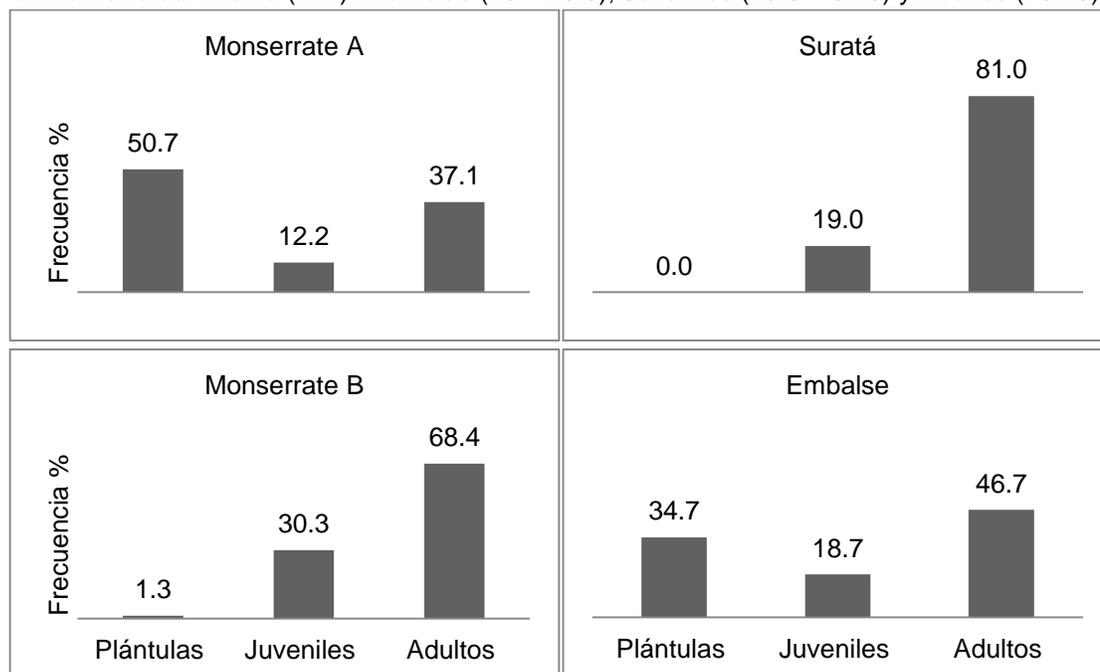
Figura 2. Relación entre las variables de clases de tamaño. a. Longitud de la hoja y Diámetro del rizoma. b. Número de folíolos y Diámetro del rizoma.



Durante el trabajo de campo se observó que los individuos estudiados pierden sus hojas las cuales son remplazadas por nuevas durante el ciclo de vida, generando que el número de folíolos y la longitud de la hoja algunas veces no estén disponibles para su registro. Tomando en cuenta que el diámetro del rizoma presentó una variación importante en todas las subpoblaciones (Anexo E); que se correlaciona fuertemente con las demás variables y corresponde a una medición en la mayoría de casos disponible; se utilizó esta variable combinada con el número de folíolos y atributos reproductivos para la clasificación de los individuos en categorías de tamaño (Castañeda, 2009). Se establecieron tres estadios: plántulas, juveniles y adultos; definidos por los siguientes criterios; 1, las plántulas corresponden a aquellos individuos con menos de cuatro folíolos y para ellos se estimó un diámetro del rizoma menor a 23.5 mm; 2, los juveniles, que corresponden a los individuos con rizomas > 23.5 y < 51.5 mm, y 3, los adultos, son aquellos individuos con diámetros del rizoma superiores a 51.5, rango donde se ubicaron todas las plantas con estructuras reproductoras observadas. La distribución de los individuos en estas

tres clases de tamaño mostró similitud en las estructuras poblacionales entre las subpoblaciones; Monserrate A fue similar al Embalse, y Monserrate B fue similar a Suratá (Fig. 3).

Figura 3. Estructura por clases de tamaño de cuatro subpoblaciones de *Zamia muricata* con base en el Diámetro del rizoma (mm). Plántulas (10 – 23.5), Juveniles (23.6 – 51.5) y Adultos (>51.5).



También se observaron diferencias entre las subpoblaciones. En las subpoblaciones de Monserrate B, Suratá y Embalse el mayor porcentaje de los individuos fue asignado a la clase adultos, mientras que en Monserrate A, la mayoría son plántulas. Suratá y Monserrate B presentaron los porcentajes más bajos en la clase plántulas, 0% y 1.3% respectivamente.

Tabla 1. Comparación de la distribución de individuos con base en el conjunto de variables de tamaño, de cuatro subpoblaciones de *Z. muricata* del municipio de Bucaramanga.

	Monserrate A	Monserrate B	Suratá	Embalse
Monserrate A		0.2053	0.27887	0.45024
Monserrate B	0.14398		0.2243	0.80213
Suratá	0.22167	0.24875		0.65831
Embalse	0.13605	0.11493	0.18367	

Números abajo de la diagonal corresponden al estadístico D – prueba Kolmogorov-Smirnov, y números arriba de la diagonal son los valores de significancia (p -values).

Sin embargo, las diferencias entre las estructuras de las cuatro subpoblaciones de *Z. muricata* no fueron estadísticamente significativas; la comparación de las

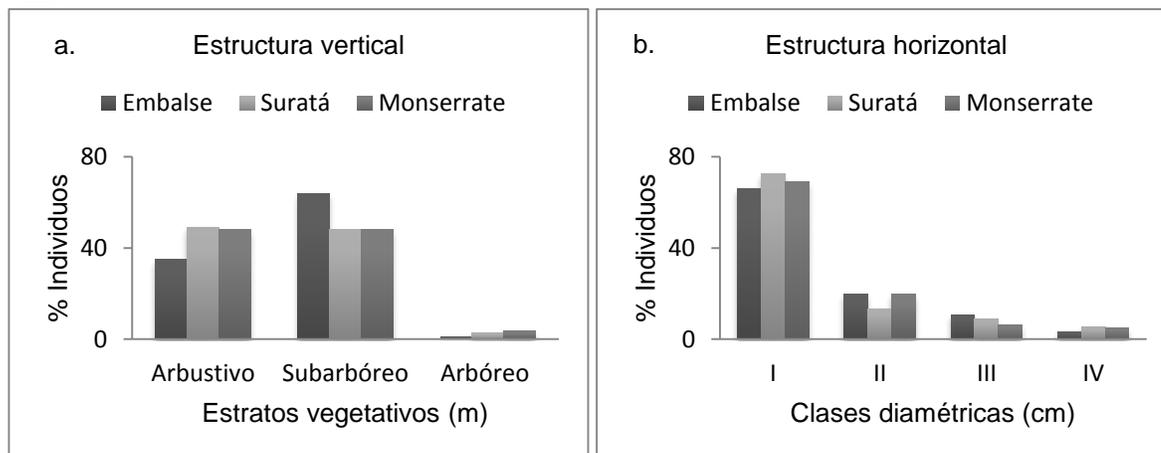
distribuciones realizada con la prueba Kolmogorov-Smirnov de dos muestras presentó valores de p en todos los casos >0.01 , indicando que la hipótesis nula (H_0) de similitud en cada par de distribuciones no fue rechazada (Tabla 1). Por lo tanto, las cuatro distribuciones de abundancia con base en el conjunto de atributos (diámetro del rizoma + número de folíolos + estructuras reproductoras), son muestras que proceden de una misma distribución.

3.2 Caracterización general del hábitat

3.2.1 Composición de la vegetación acompañante

Dentro de los cinco transectos realizados en la vereda Monserrate para determinar la composición de la vegetación se registraron un total de 245 individuos de plantas leñosas, pertenecientes a 47 especies y 28 familias (Anexo B). Las familias con mayor abundancia fueron Caprifoliaceae (11,43%), Anacardiaceae (9,39%) y Myrtaceae (8,57%); las de mayor número de especies fueron Euphorbiaceae (5 sp) y Anacardiaceae (4 sp). Las especies más abundantes fueron *Viburnum sp.* y la palma *Phytelephas macrocarpa*. Por su parte, *Bursera simaruba* y *Cordia alliodora* se reportaron en los cinco transectos realizados (Anexo C).

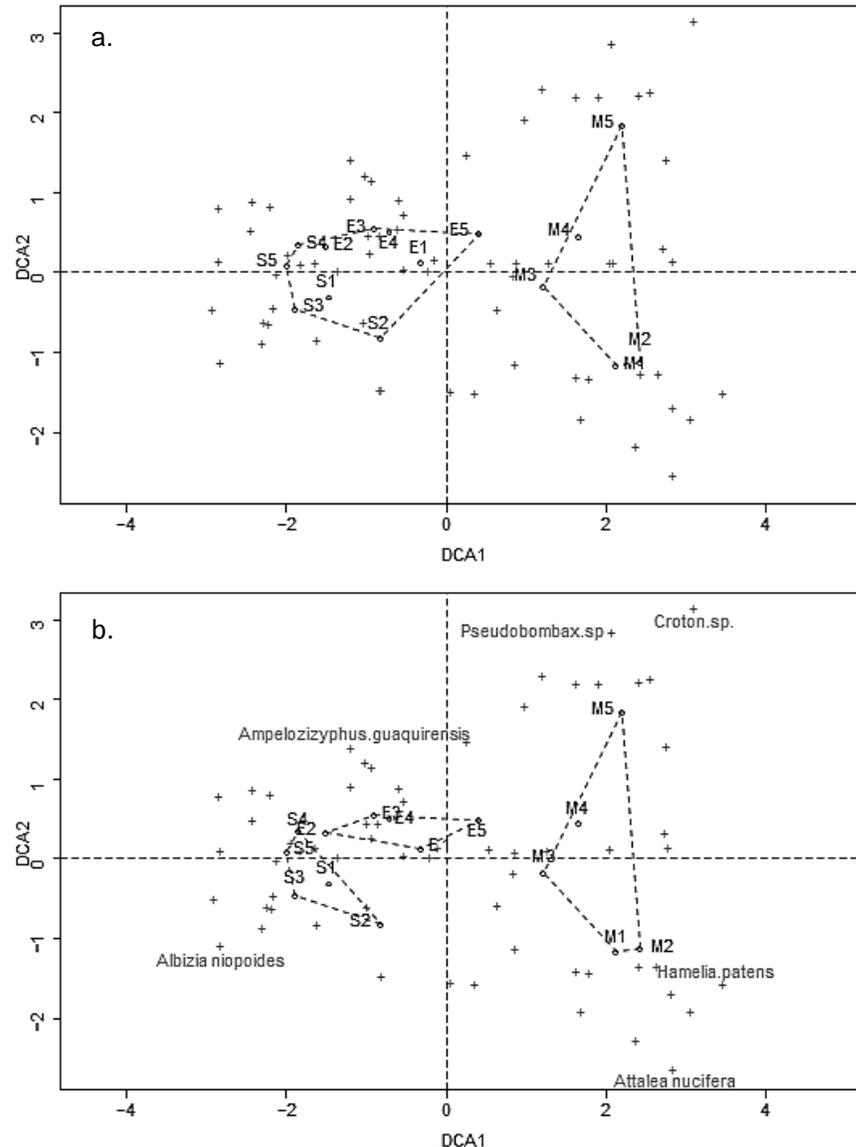
Figura 4. Comparación de las estructuras vertical y horizontal de la vegetación acompañante de tres localidades del municipio de Bucaramanga. a. Estratos vegetativos (m); Arbustivo, 1,5 – 5; Subarbóreo, 5 – 12; Arbóreo, 12 – 25. b. Clases diamétricas (cm); I, 3-8.9; II, 9–15.9; III, 16-21.9; IV, >22.



La cobertura vegetal en los fragmentos de bosque de esta localidad presenta características propias de vegetación secundaria; donde predomina el estrato arbustivo con DAPs inferiores a 9 cm. En este aspecto esta localidad es similar a la localidad de Suratá y se diferencian del Embalse, en donde la mayoría de individuos

están en el estrato subarbóreo. El porcentaje de individuos por encima de los 12 m de altura (estrato arbóreo) fue bastante bajo en las tres localidades (Fig. 4).

Figura 5. Ordenación indirecta (DCA) de 15 transectos y su composición florística. a. Diferenciación de la localidad de Monserrate (derecha) por el primer eje (DCA1). b. Diferenciación de localidad de Embalse por el segundo eje (DCA2). Cruces representan las especies; algunos nombres indicados en b.



La ordenación de la vegetación acompañante de los sitios muestreados, indicó un alto grado de correspondencia entre las localidades y las especies, permitiendo explorar diferencias en la composición y estructura de las comunidades vegetales. Se relacionaron los transectos de la localidad de Monserrate (M1, M2, M3, M4 y M5) entre si y se agruparon los transectos de las localidades de Surata y Embalse (S1,

S2, S3, S4, S5, E1, E2, E3, E4 y E5) (Fig. 5a). Esta segregación en dos grandes grupos, indicó que existe mayor similitud florística entre las localidades del Embalse y Suratá, y marcadas diferencias con respecto a los transectos de la localidad de Monserrate. También se establecieron ligeras diferencias en la composición de especies entre las localidades de Suratá y el Embalse, y una fuerte separación entre los transectos de la vereda Monserrate. Lo anterior sugiere la distinción de especies características para los transectos de la vereda Monserrate, como el caso de *Hamelia patens* para el transecto M2 y *Pseudobombax sp* para el transecto M5 (Fig. 5b).

Tabla 2. Similitud florística de la vegetación asociada a las subpoblaciones de *Z. muricata* del municipio de Bucaramanga.

Localidad	Especies	Familias	Individuos	Monserrate	Embalse	Suratá
Monserrate	47	28	245	1	0,24	0,16
Embalse	43	29	185	0,38	1	0,37
Suratá	33	22	185	0,28	0,54	1

Lado derecho de la tabla muestra los índices de Jaccard I_j (sobre la diagonal) y Sorensen I_s (bajo la diagonal).

La composición de la vegetación acompañante exhibe un bajo número de especies comunes para los sitios muestreados, lo cual se traduce en características de la vegetación propias de cada localidad. Los índices de similitud florística calculados para las tres localidades, las comparan en términos del número de especies compartidas entre estas (Tabla 2) y relacionan las localidades de manera similar al análisis de ordenación. Las localidades del Embalse y Suratá comparten el mayor número de especies ($I_s = 0.54$), mientras que los valores de cada una de ellas con respecto a Monserrate fueron más bajos.

3.2.2 Factores abióticos

El análisis de suelos de la localidad de Monserrate mostró marcadas diferencias entre los transectos en el pH, materia orgánica, Ca, P, Ca y Fe (Tabla 3). Se observaron suelos ligeramente ácidos (transecto 4) y ligeramente básicos (transecto 3) y de pH neutro (transectos 1, 2 y 5). El sitio más deficiente en términos de contenido de materia orgánica (Org.), Ca, P, K y Mg fue el transecto 4. Sin embargo, este sitio presenta valores altos para los metales Cu y Fe. El tipo de suelo fue arenoso franco en todos los sitios y también se observó similitud en el contenido de arena, limo, arcilla, indicando que los transectos comparten la misma textura del suelo (Tabla 3).

La asociación entre la vegetación y el ambiente de los sitios diferenció las especies de la localidad de Monserrate del conjunto de especies del Embalse + Suratá, de manera similar a lo observado en el DCA (Fig. 5a). Esta segregación en dos grandes grupos con base en el análisis de Correspondencias Canónicas con el conjunto completo de 15 variables ambientales integró la gran mayoría de los factores físico-químicos del suelo, siendo solo el pH y el Hierro (Fe) las variables que aíslan entre sí las especies de Monserrate. Sin embargo la inercia total (5.528) de este primer análisis fue explicada en su totalidad por la restricción del espacio realizado por el ambiente (variables físico-químicas del suelo), ignorando el poder explicativo de los datos de la composición de la vegetación (Inercia no-constrañida = 0). Al determinar los factores de inflación de varianza (VIF) para las 15 variables ambientales explicativas, se observó valores >40, lo cual indicó que estas variables son fuertemente dependientes entre ellas y tienen poca o nula información por sí mismas.

Tabla 3. Análisis físico-químico del suelo para los cinco transectos de la vereda Monserrate.

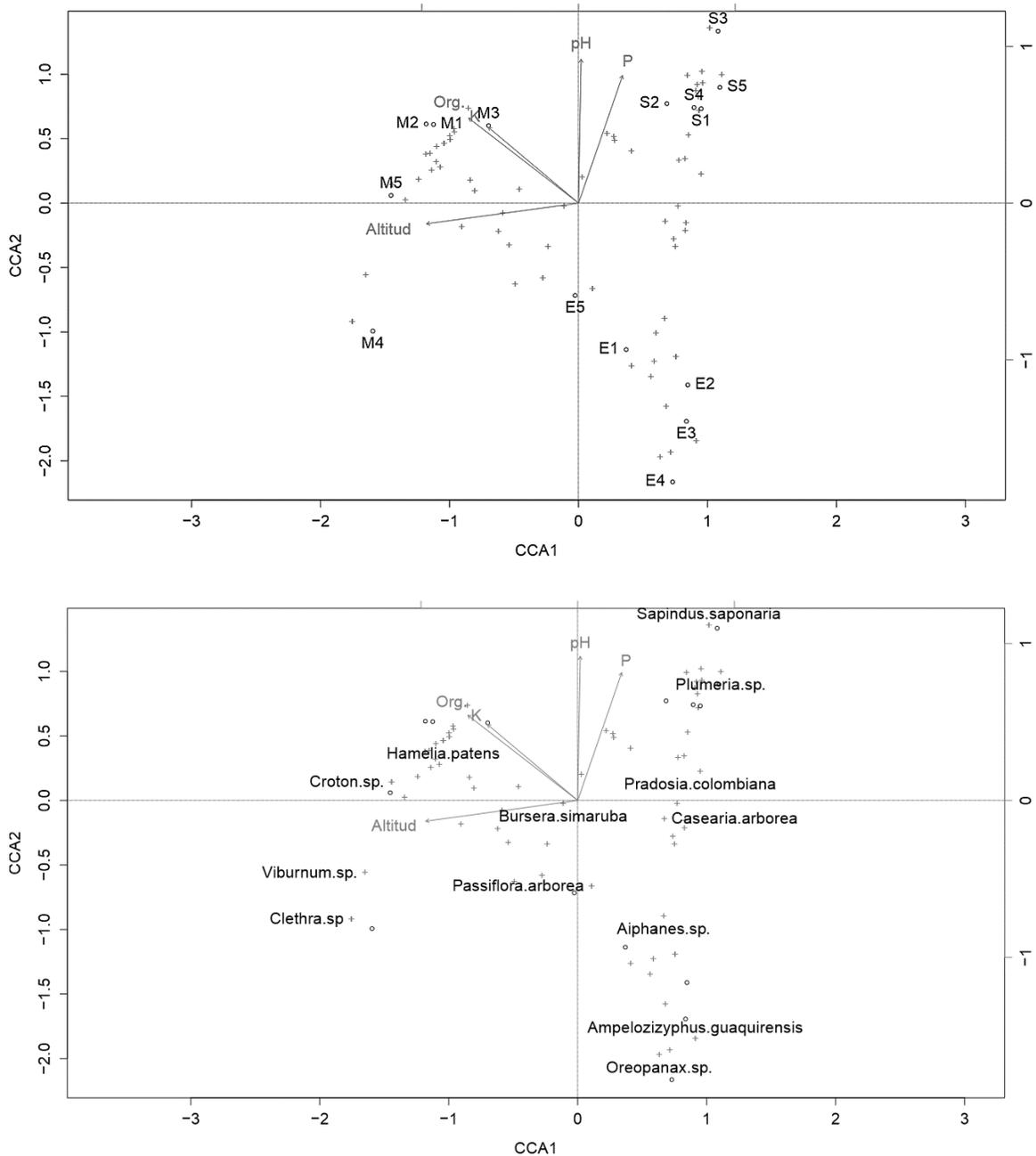
		1	2	3	4	5
Tipo de suelo		Arenoso franco				
Textura	% Arena	86	88	88	88	88
	% Limo	7	7	7	7	7
	% Arcilla	7	5	5	5	5
pH		6,9	6,8	7,8	5,8	7,3
Materia orgánica (Org.)		24,9	17,4	21,7	16,3	17,6
Fósforo (P)		12,1	8,7	16	3,4	12,8
Calcio (Ca)		36,8	14,2	18,5	12,8	17,3
Magnesio (Mg)		22	6,21	4,84	3,65	5,57
Potasio (K)		1,25	0,65	2,5	0,7	1,45
Aluminio		-	-	-	-	-
Cobre (Cu)		0,4	0,68	0,76	0,89	0,68
Zinc (Zn)		17,3	12,2	16,4	8	12,1
Hierro (Fe)		142	112	324	702	179
Manganeso (Mn)		504	402	164	220	386
Boro		-	-	-	-	-
Sodio (Na)		0,9	0,85	0,9	0,85	0,85
Altitud (msnm)		1223	1189	1180	1395	1357

Valores sombreados corresponden a los máximos observados para cada determinación.

En el segundo análisis implementando un modelo con 5 variables; pH + Org. + P + K + Altitud (Fig. 6), se observó que la Altitud, la Materia orgánica (Org.) y el Potasio (K) son determinantes al diferenciar la vegetación de Monserrate de las demás localidades, y las variables “pH” y “P” (Fósforo) separan las especies del Embalse

de aquellas de la localidad de Surató. Por consiguiente especies como *Sapindus saponaria*, *Albizia niopoides* y *Plumeria sp.* se distribuyen en suelos ligeramente alcalinos y con alto contenido de Fósforo; característicos de la localidad de Surató.

Figura 6. Análisis de correspondencias canónicas de la composición florística y los factores físico-químicos del suelo en los 15 transectos de Bosque seco del Municipio de Bucaramanga, Santander. a. Puntos para los centroides de cada transecto; M, Monserrate; E, Embalse; S, Surató. b. Puntos para algunas especies representativas.



Las especies de la localidad del Embalse como *Oreopanax sp.*, *Ampelozizyphus guaquirensis*, y *Capparis macrophylla* habitan en suelos ligeramente ácidos y con bajo contenido de Fósforo. Especies como *Hamelia patens*, *Croton sp.* y *Phytelephas macrocarpa* se distribuyen en suelos con alto porcentaje de materia orgánica y potasio, y suelos con bajos niveles de estos factores, se relacionan con especies como *Erithroxylum oxycarpum*, *Casearia arbórea* y *Pradosia colombiana*.

Por otra parte, existen transectos de vegetación ricos en Materia orgánica (Org.) en la localidad de Monserrate como M1, M2 y M3 y sitios pobres para esta variable como los transectos E2, E3 y E4 del Embalse. Este segundo análisis incluyó el poder explicativo tanto de los factores ambientales como de los datos de las especies y pasó la prueba de significancia indicando que los valores obtenidos con este modelo no se deben al azar y el diagrama de ordenación proporciona una representación de la distribución de las comunidades vegetales y las variables ambientales seleccionadas.

3.3 Divergencia en rasgos funcionales entre poblaciones

Se observó que dentro de las subpoblaciones de Monserrate A, Monserrate B y Embalse, el diámetro del rizoma presentó gran variabilidad (CV; alto), y en la subpoblación de Suratá, el Área foliar es la variable con mayor coeficiente de variación (Anexo E). En la subpoblación del Embalse el contenido de materia seca (LDMC) presenta una media mayor (337 mg/g) a la calculada para las demás localidades, y la variación en este rasgo allí es la menor de todas. El área foliar específica (SLA) también presenta una media y un coeficiente que destacan al Embalse por tener los menores valores reportados. Esto señala que los individuos de *Z. muricata* de esta subpoblación se caracterizan por presentar folíolos con un alto contenido de materia seca y baja área foliar específica. Por otra parte, aunque la media del espesor del folíolo (Lth) es la misma en todas las subpoblaciones (0.04 g/cm²), se distingue la subpoblación de Suratá por presentar la menor variación para este rasgo. El área foliar se comporta de manera similar en las subpoblaciones de Monserrate A y Embalse, en donde los individuos tienen folíolos grandes y con poca variación. Lo mismo sucede entre las poblaciones de Monserrate B y Suratá, donde los folíolos son más pequeños, pero presentan mayor variación en su área (Anexo E). Las pruebas de normalidad mostraron en algunos casos cumplimiento y en otros violación de este supuesto para los caracteres funcionales (Tabla 4). Se destaca que en la vereda Monserrate (A y B), los rasgos funcionales derivados (SLA, Lth y LDMC) mostraron diferencias significativas con respecto a la distribución Normal.

Tabla 4. Prueba Kolmogorov-Smirnov para evaluar el ajuste a la distribución normal de los rasgos funcionales en cada subpoblación.

	Embalse	Montserrat A	Montserrat B	Surata
Long Foliolo (cm)	0.8748	0.05156	0.4283	0.7482
D. Rizoma (mm)	0.3458	0.1182	0.6704	0.6915
Area Foliar (cm ²)	0.3141	0.203	0.4409	0.04264
Ancho (cm)	0.1623	0.4826	0.918	0.1054
SLA (cm ² /g)	0.3676	4,32E-06	0.00265	0.02727
Lth (g/cm ²)	0.5284	0.006406	0.001075	0.1272
LDMC (mg/g)	0.7437	0.03083	0.0004906	0.07216

Valores p sombreados son $<0,05$, por lo tanto se rechazó H_0 para estos casos, y los caracteres no se ajustan a la distribución Normal.

La prueba de Homogeneidad de varianzas entre las cuatro subpoblaciones mostró homogeneidad para todos los caracteres excepto el contenido de materia seca LDMC, para el cual se encontraron diferencias significativas ($p=0.002383$, rechazó H_0).

De las correlaciones observadas entre los rasgos funcionales se destaca la fuerte y significativa correlación entre el diámetro del rizoma y la longitud del foliolo ($r_s= 0.6$), posiblemente por la participación activa de los dos en los procesos fotosintéticos. Las correlaciones positivas entre los rasgos Ancho y Longitud del foliolo con el Área foliar fueron las esperadas, sin embargo, también se establece un importante relación entre esta y el diámetro del rizoma; donde a mayor Área foliar mayor es el diámetro del rizoma. Por otra parte también se destaca el área foliar específica (SLA) y sus correlaciones negativas con los demás rasgos funcionales (Tabla 5). Las asociaciones entre los rasgos SLA, Lth, LDCM y diámetro del rizoma con el Ancho del foliolo no fueron estadísticamente significativas.

Tabla 5. Índice de correlación de Spearman r_s para cada comparación entre rasgos funcionales.

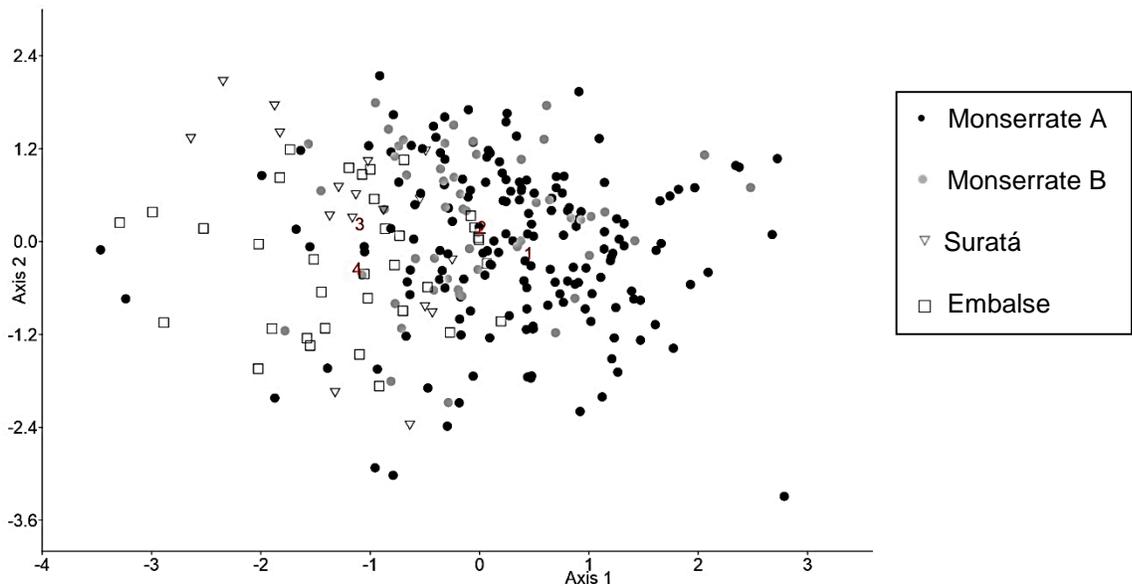
	Long. Foliolo	Diám. rizoma	Área foliar	Ancho foliolo	SLA	Lth	LDMC
Long. Foliolo		7,61E-32	9,56E-78	0,0039656	7,44E-23	9,04E-09	1,12E-06
Diám. rizoma	0,60		5,33E-17	0,67852	1,84E-28	3,66E-11	8,50E-07
Área foliar	0,79	0,44986		3,63E-31	1,93E-10	0,0054597	7,95E-06
Ancho foliolo	0,15	-0,023519	0,56572		0,02268	0,022568	0,83812
SLA	-0,49	-0,57087	-0,33094	0,12144		3,87E-33	2,58E-29
Lth	0,30	0,36268	0,14781	-0,12154	-0,58082		1,87E-06
LDMC	0,26	0,27405	0,23555	0,010928	-0,55079	-0,25092	

Valores sobre la diagonal corresponden a p -values. Valores por debajo de la diagonal corresponden al índice r_s ; sombreados aquellos casos donde se rechazó la H_0 de no asociación entre las variables.

La prueba de igualdad de medias indicó; por una parte que las variables en conjunto tienen alto poder discriminante y exhiben una amplia variabilidad entre grupos y poca dentro de ellos, y además, que el espesor del foliolo (Lth) y el contenido de materia seca (LDMC) profundizan las diferencias de la varianza entre las subpoblaciones. El valor de λ fue considerablemente sensible a la incorporación de estas dos rasgos ($\lambda = 1.788E-86$, con $p=0$).

El diagrama de dispersión (Fig. 7) determinó un solapamiento parcial de las subpoblaciones a través de las dos primeras funciones discriminantes, indicando que la información de los rasgos funcionales estudiados no identifica marcadas diferencias entre estas. No obstante se ubican parcialmente a la derecha las dos subpoblaciones de la localidad de Monserrate y a la izquierda las subpoblaciones de Suratá y Embalse, estas últimas con sus respectivos centroides más cercanos entre sí. Dentro del conjunto de variables funcionales que explican esta ligera diferenciación; el Área foliar es el rasgo de mayor incidencia (coeficiente discriminante = 1.5).

Figura 7. Diagrama de dispersión de las funciones discriminantes 1 y 2 del análisis con todas los rasgos funcionales.



Centroides indicados con números; 1 Monserrate A; 2, Monserrate B; 3, Suratá; 4, Embalse.

Las predicciones del análisis de membresía con el conjunto de todos los rasgos funcionales arrojó la matriz de confusión de la Tabla 6. En general, se clasificaron correctamente el 64.7% y el 69% de los adultos reproductivos evaluados con los discriminantes lineal y cuadrático respectivamente, por lo que existe un mejor ajuste de los datos a este último modelo. No obstante, consideramos que el conjunto de

todos los rasgos funcionales de la clase adultos registrados para las cuatro subpoblaciones, no diferencian las mismas, siendo la disposición de los individuos a través de la función discriminante, la distancia entre los centroides de los grupos entre sí y el alto margen de error en las asignaciones evidencia de que la divergencia fenotípica explorada entre las cuatro subpoblaciones no está soportada.

Los resultados del segundo análisis sugieren que las variables discriminan los dos grupos y ofrecen mejores porcentajes en la asignación que para el análisis con cuatro subpoblaciones (86.5%, discriminante lineal y 89.1%, discriminante cuadrático). Por consiguiente, se considera que los individuos de *Z. muricata* de la localidad de Monserrate exhiben acentuadas diferencias morfológicas y funcionales con respecto a los individuos del Embalse + Suratá. Estas diferencias sugieren una sutil divergencia en las estrategias de aprovechamiento de los recursos, posiblemente como respuesta a la variación encontrada en el ambiente donde estos dos conjuntos de individuos habitan.

Tabla 6. Matriz de confusión del Análisis Discriminante con todos los rasgos funcionales para la categoría adultos de cuatro subpoblaciones de *Z. muricata* de Bucaramanga.

		Mons. A	Mons. B	Suratá	Embalse
Mons. A	F				
	L	94	85	59	37
	C	78	35	0	10
Mons. B	L	2	10	6	7
	C	14	52	6	10
Suratá	L	0	0	24	3
	C	2	8	53	10
Embalse	L	4	6	12	53
	C	7	6	41	70

F – Función Discriminante: Lineal (L, negro) y Cuadrática (C, rojo). Valores resaltados corresponden al porcentaje más alto de individuos asignados para cada función. Sombreado; diagonal principal.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Densidad y estructura poblacional

La baja cantidad de individuos en estado reproductivo observada, posiblemente se debe al hecho de que en Cícadas la reproducción es altamente costosa, y solo un pequeño porcentaje del total de adultos produce estróbilos en la época reproductiva (Lopez-Gallego & O'Neill, 2010). Los bajos valores en la densidad estimada para las subpoblaciones de *Z. muricata* de la vereda Monserrate reflejan el deterioro de los fragmentos de bosque secundario donde habitan. Allí la diferencia en las densidades se da principalmente en la cantidad de individuos en estado de plántula y adulto, lo que sugiere tasas de mortalidad altas para juveniles y plántulas en Monserrate B. La agregada distribución espacial de estos alrededor de la planta madre magnifica el impacto de cualquier agente perjudicial al reducir la cantidad de plantas. Esta manera agregada como se distribuyen las plántulas es común en Cícadas e indica un bajo poder de dispersión (Octavio-Aguilar, et al., 2008). La densidad para la subpoblación A fue ligeramente menor que la estimada por Gómez (2014) para la subpoblación del Embalse (0.01 ind/m²), y la subpoblación B estuvo muy por debajo de dicho valor y de los estimados por López-Gallego (2008) en poblaciones de *Zamia* en nuestro país.

El número de folíolos de la hoja más larga ha sido utilizado por varios autores como variable para la clasificación por tamaños en diferentes especies de Cícadas (Negron-Ortiz & Breckon, 1989; 1996; López-Gallego, 2008; Gómez et al., 2014). Negron-Ortiz & Breckon (1989) observaron individuos de *Zamia debilis* con rizomas pequeños que presentaron poca cantidad de folíolos por hoja y aquellos con rizomas grandes presentaron mayor cantidad de folíolos por hoja. Lo anterior es consistente con la fuerte correlación observada entre estas variables en los individuos pequeños de la vereda Monserrate, probablemente porque estos presentan una primera y única hoja la cual crece a medida que el rizoma también lo hace aunque con tasas de crecimiento diferentes. Castañeda (2009) utilizó el diámetro de la base del tallo para determinar estructuras de edades en *Dioon spinulosum*, encontrando que se relacionó positivamente con otras variables como la altura de la planta y el número de hojas. No obstante, la combinación del número de folíolos con el diámetro del rizoma y atributos reproductivos para explorar la estructura de poblaciones en *Zamia muricata* no había sido explorada, por lo tanto nuestros resultados deben ser contrastados en futuros estudios demográficos.

La ausencia de diferencias significativas entre las distribuciones de tamaño de las subpoblaciones con base en la combinación de atributos, sugieren una fuerte

relación histórica entre estas, indicando que a pesar de los diferentes eventos de alteración del hábitat y de la aparente variación en la magnitud del impacto sobre cada localidad, sus estructuras guardan similitudes en las respuestas a los cambios experimentados. En la vereda Monserrate las diferencias encontradas en la densidad y estructura entre los individuos de las subpoblaciones A y B, se debe en gran medida al impacto de la construcción de la carretera que conduce al municipio de Tona y la utilización del suelo de los alrededores para la agricultura (observación personal). Estos factores han aislado un grupo de individuos por encima de la vía; la subpoblación B, con acentuada actividad humana y la consecuente alteración en la proporción de individuos, y la subpoblación A, segregada y más alejada de estos factores antropogénicos, presentó mayor densidad y una estructura más equitativa.

La estructura poblacional para Monserrate A fue similar a los resultados de López-Gallego (2008), en *Z. melanorrhachis* basadas en el número de foliolos, en las cuales también se presentó mayor proporción de plántulas que de plantas adultas. Por otra parte, las estructuras para Monserrate B y Suratá son características de poblaciones afectadas severamente por la fragmentación del hábitat, tal es el caso reportado por Scott-Shaw (1995) con *Encephalartos ghellinckii*, cuyas poblaciones también mostraron poco o nulo reclutamiento de plántulas y predominancia de individuos adultos. Lo observado en estas poblaciones sugiere que las condiciones medio ambientales están modificadas las tasas de mortalidad y supervivencia de plántulas y adultos respectivamente, tendencia común en especies de Cícadas (Castañeda, 2009).

4.2. Caracterización general del hábitat

La diversidad encontrada en la vegetación acompañante de la vereda Monserrate para la familia Euphorbiaceae, es congruente con lo reportado por Pizano y García (2014) para Bosques secos de Colombia, quienes ubican esta familia dentro de las cinco primeras con mayor número de especies. También se destacaron especies características reportadas por estos autores para los fragmentos de bosque seco tropical del cañón del río Suratá como *Bursera simaruba* (resbala mono) y *Astronium graveolens* (Tirigaro). La semejanza en las estructuras vertical y horizontal de la vegetación en las localidades se debe principalmente a un proceso homogéneo de extracción de madera que se ha desarrollado en la zona durante los últimos 30 años. Esta fuerte actividad de explotación de recursos ha deteriorado el hábitat natural de las especies que conforman estos ecosistemas (observación personal) ejerciendo una presión ambiental en la disponibilidad de recursos como la luz para plantas de sotobosque como *Z. muricata*, con el respectivo impacto sobre sus parámetros demográficos. Al respecto López-Gallego & O'Neill (2010) establecen

que diferencias en las tasas de crecimiento y reproducción para *Z. fairchildiana* entre poblaciones de hábitats nativos y alterados, pueden estar asociadas con la disponibilidad de luz en estos hábitats.

En cuanto a la ordenación de las localidades y la vegetación; el análisis de correspondencias sin tendencia indica que la vegetación se relaciona con un gradiente espacial como el planteado por Palmer (2005). En el presente estudio este gradiente indicó que las localidades de Suratá y Embalse; geográficamente más cercanas y con altitudes de 828 y 939 msnm, son más semejantes entre sí que con la localidad de Monserrate, esta última más distante y sobre los 1268 msnm. Este gradiente altitudinal fue corroborado por el Análisis de Correspondencias Canónicas, en donde además de la altitud; el contenido de materia orgánica (Org.) y el potasio (K) segregan la vegetación de los transectos de la localidad de Monserrate, de aquellos del Embalse + Suratá. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Becker & Utermohlen (1997), quienes encontraron una correlación fuerte entre la altitud y el contenido de potasio a través del primer eje, siendo el vector de la materia orgánica casi paralelo al de la altitud, indicando correctamente su aumento con la altura. Dentro de los conjuntos de transectos estrechamente relacionados en el DCA, especies como *Hamelia patens*, *Crotos sp.* y *Pseudobombax sp.* que tomaron ubicaciones más próximas a los transectos M2 y M5 respectivamente, se consideran identificadoras de los subtipos de vegetación presentes allí (Rodríguez & Montero, 2001). Pennington et al. (2009), Linares-Palomino et al. (2011) y Pizano & García (2014), establecen que en los bosques secos la composición florística varía significativamente a través de gradientes ambientales a una escala relativamente pequeña, por lo que la baja semejanza florística entre las localidades del Embalse y Suratá medida a través de los índices de Jaccard y Sorensen, puede ser un indicativo de condiciones ambientales diferentes (Sánchez, et al., 2005). Lo anterior es consistente con las diferencias en las condiciones físico-químicas de los suelos entre localidades y el Análisis de correspondencias canónicas; en el cual se observó que la segregación de la vegetación del Embalse está asociada al pH y el contenido de fósforo (P) del suelo. Sin embargo, la ligera acidez del suelo en la Localidad del Embalse no es consistente con el alto número de especies reportado, tomando en cuenta que el pH es un factor importante que modifica el grado de solubilidad de minerales como potasio, calcio y magnesio. Según Sonco (2013), estos nutrientes no abundan en suelos con $\text{pH} < 7$ (lo cual se observó en el análisis físico-químico del suelo), los cuales son característicos de zonas bajas y que por lo tanto son pobres en minerales básicos haciéndolos poco fértiles. Álvarez-Yépez et al. (2011) encontraron en sus estudios que la mayor abundancia de *Dioon sonorensis*, cícada endémica de

México, está relacionada con el potasio encontrado en el suelo, debido a que esta variable permite aumentar el contenido de agua en las hojas, las tasas fotosintéticas y la conductancia estomática. Lo anterior es congruente con la mayor densidad de plantas de *Z. muricata* reportadas para la localidad de Monserrate, con concentraciones de elementos básicos superiores a las demás localidades, y para la cual el Análisis de Correspondencias canónicas estableció suelos con mayor proporción de materia orgánica y potasio (K). Por otra parte, aunque el tipo de suelo es el mismo para todas las localidades, los porcentajes de arena, limo y arcilla también asocian las localidades de Surata y Embalse con valores promedio muy cercanos y distinguen un suelo con mayor proporción de arena y menor proporción de limo y arcilla para la localidad de Monserrate.

Con respecto a los modelos utilizados en el Análisis de correspondencias canónicas, al utilizar todas las variables físico-químicas del suelo, se descartó que la alta similitud de las coordenadas de las especies y transectos con las generadas por el Análisis de correspondencias sin tendencia DCA, fuera resultado de la consistencia de los métodos. Aunque este último es un método de ordenación indirecto, con base en los datos florísticos independientemente de cualquier dato ambiental (Kent & Coker, 1992), la no descomposición de la inercia (varianza) total en el primer análisis CCA, posiblemente se debe a que hay información redundante y los valores propios de cada análisis explican la misma variabilidad de los datos. Los resultados de la ordenación directa con el modelo de 5 variables ambientales se consideran confirmados por el DCA, toda vez que los transectos se segregaron de manera similar pero no exacta, incorporando las restricciones de los factores abióticos (suelo) más importantes, responsables en alguna medida de la variación que presentan las comunidades vegetales en el área de estudio (Raya-Ruz, 2008).

No obstante, este tipo de estudios comparativos deben considerarse como exploratorios ya que difieren en la intensidad de la exploración; por lo que nuestros resultados sólo muestran las mayores diferencias y tendencias.

4.3. Divergencia en rasgos funcionales entre subpoblaciones

De las relaciones establecidas entre los rasgos funcionales registrados para *Z. muricata*, los resultados para el Área foliar específica (SLA) coinciden con lo observado por Poorter et al. (2008), quienes determinaron ambiguas correlaciones negativas entre SLA y las tasas de crecimiento relativo. Estos autores concluyen que en Bosques Neotropicales las hojas gruesas y densas exhiben bajos valores de SLA, lo cual fue consistente con la fuerte correlación negativa que observamos entre el SLA y el Lth (espesor de la hoja). Sin embargo, este tipo de correlación no

es lo esperado ya que el SLA se interpreta como la eficiencia de biomasa invertida para interceptar la luz, lo que debería traducirse en un aumento de los tejidos fotosintéticos del foliolo. De la Riva et al. (2014), también registraron correlaciones negativas para el SLA con los rasgos Lth y LDMC en las hojas de plantas leñosas, al igual que con rasgos de la raíz como el diámetro, el contenido de materia seca y la densidad. Lo anterior sugiere la presencia de estrategias conservativas en el uso de los recursos en las poblaciones estudiadas, aspecto que debe ser evaluado en futuros estudios.

Las asignaciones correctamente realizadas por el análisis con cuatro subpoblaciones y dos subpoblaciones, indicaron que la hipótesis de dos grupos diferenciados esta mejor soportada por el conjunto de rasgos funcionales estudiados. Al contrastar estos resultados con los análisis de ordenación de transectos y vegetación (DCA y CCA), encontramos que la variación en rasgos funcionales observada entre las dos subpoblaciones de *Zamia muricata* (y no cuatro como inicialmente se planteó), es consistente con la separación en dos localidades (Monserrate A + B y Embalse + Suratá) soportada por las semejanzas encontradas en la vegetación acompañante y las características físico-químicas del suelo. Al respecto, Baldo-Romero et, al. (2013) mencionan que los caracteres morfométricos en especies vegetales como las Cícadas se encuentran fuertemente influenciados por el ambiente. En este sentido, el Análisis de correspondencias canónicas (CCA) indicó que factores abióticos como la altitud, el pH del suelo y el contenido de materia orgánica podrían tener un algún rol como fuerzas ambientales que alteran la expresión fenotípica en *Z. muricata*.

En los estudios sobre variación funcional en plantas es común que esta se evalúe a nivel interespecífico ya que permite explorar la presencia de “tradeoffs” (Poorter et al., 2008) y de esta manera indagar sobre procesos evolutivos a nivel de comunidades. A nivel poblacional, son pocas las investigaciones al respecto, en parte porque es más difícil detectar este tipo de variación, e inferir sobre sus causas conlleva a tener en cuenta la mayor cantidad de componentes ecológicos e históricos. Sin embargo, este estudio estableció algunas relaciones entre la variación funcional y el limitado conjunto de factores ambientales y demográficos, que si bien no llegan a ser concluyentes, en alguna medida acoplan los resultados obtenidos.

Por consiguiente, señalamos que un alto contenido de materia seca en el foliolo parece estar relacionado con suelos ligeramente ácidos, como lo observado en los individuos del Embalse. De tal manera que los folíolos de *Z. muricata* en suelos ligeramente alcalinos y con alto contenido de fósforo presentan menor proporción

de materia seca y mayor variación en este aspecto, según se observó en Monserrate y Suratá. El área foliar específica también exhibe relaciones con la acidez y el bajo contenido de nutrientes en el suelo, diferenciándose los individuos del Embalse expuestos a estas condiciones, con bajo promedio y poca variabilidad para este rasgo. Las similitudes en el análisis descriptivo del área foliar entre subpoblaciones pueden ser asociadas al efecto de compartir similares niveles de alteración del hábitat. Hemos dicho que Monserrate A y el Embalse son ecosistemas menos degradados que Suratá y Monserrate B, por consiguiente, parece ser que los individuos inmersos en sitios con fuerte deterioro ambiental exhiben folíolos con menor área y más heterogéneos (mayor varianza), que aquellos que habitan en lugares menos afectados por el hombre. López-Gallego & O'Neill (2010) indican que en un hábitat alterado, los individuos producen más hojas, inician su reproducción más temprano, y dirigen los recursos hacia la fecundidad de las hembras. Nosotros superficialmente encontramos en estas subpoblaciones de *Z. muricata*, que algunos de estos fenómenos se presentan, ya que las estructuras reproductoras se observaron en los sitios más alterados, en donde los folíolos presentaron menor área. Sin embargo todos los rasgos foliares estudiados aquí guardan fuertes relaciones con otras variables ambientales como la apertura del dosel y la intensidad lumínica, las cuales no fueron medidas en el presente estudio.

Las diferencias en las predicciones mostradas por los discriminantes cuadrático y lineal utilizando todas las variables podrían estar relacionadas con la presencia de relaciones no lineales entre las variables. Descartamos el no cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas y covarianzas, dado el previo tratamiento que se le aplicó a los datos, y lo expuesto por Tabachnick & Fidell (1996), quienes establecen que si bien para el análisis discriminante las variables continuas deben seguir una distribución normal multivariante, las violaciones a este supuesto no son críticas.

Finalmente, aunque los resultados de este estudio sugieren la existencia de similitudes morfológicas y funcionales al interior de las subpoblaciones y divergencia entre dos localidades separadas; es indispensable evaluar este conjunto de rasgos funcionales en otras poblaciones de esta especie con mayor separación geográfica y diferencias en el grado de alteración antrópica, registrando un grupo más incluyente de variables ambientales para conocer los aspectos poblacionales y funcionales de sus relaciones.

5. CONCLUSIONES

Existen diferencias en las densidades y estructuras poblacionales estimadas, que ofrecen una visión inquietante del estado de conservación de las poblaciones de *Z. muricata* en Santander. Los individuos de Monserrate B y Suratá han sido fuertemente alterados por las actividades antrópicas, toda vez que sus estructuras presentaron baja proporción de individuos pequeños, mientras Monserrate B y Suratá con alta proporción de plántulas y juveniles son sitios menos afectados. El diámetro del rizoma es una variable útil para determinar la estructura poblacional de esta especie, su validación estará sujeta a discusión en futuros estudios, donde se contraste con estructuras basadas en el número de foliolos y se incluyan la totalidad de las plantas.

La comparación de la composición florística y las variables del suelo de las tres localidades permitió diferenciarlas claramente con base en las especies, las distancias geográficas, la altitud y factores físico-químicos del suelo como el pH y la concentración de nutrientes básicos. En general, los análisis de ordenación sugieren que existe separación entre las comunidades vegetales asociada a estos gradientes ambientales, y tomando en cuenta solo la composición de la vegetación, concluimos que la localidad del Embalse se parece más a Suratá que cualquiera de ellas a Monserrate. La localidad de Monserrate reúne mejores características que la postulan como un hábitat apropiado para la viabilidad de individuos de *Zamia muricata*, trasplantados durante los procesos de repoblación que planea realizar el Jardín Botánico Eloy Valenzuela.

Los rasgos funcionales no permitieron inferir divergencia entre las cuatro subpoblaciones, sin embargo ligeramente distinguen dos grandes grupos de individuos de *Z. muricata*; Monserrate (A + B) y Embalse (Embalse + Suratá) para los cuales la variación encontrada puede asociarse a las condiciones específicas donde los individuos se desarrollan. Rasgos como el área foliar, el contenido de materia seca (LDMC) y el área foliar específica (SLA) se relacionaron con los factores abióticos como la alteración del hábitat, el pH y el contenido de fósforo (P) del suelo. Estudios futuros pueden encaminarse hacia explorar esta diversidad funcional en términos de respuestas y tolerancia de las subpoblaciones a las constantes presiones antropogénicas que han transformado el hábitat.

Por ahora sabemos que estos procesos antropogénicos ocurridos en la zona generaron fragmentos de bosque secundario que experimentan un proceso lento de recuperación, el cual se pretende acelerar con las acciones de la Red Nacional de Jardines Botánicos de Colombia. La implementación del Programa de conservación

integral de especies de plantas prioritarias del Bosque Seco Tropical, a través de los procesos de propagación y representatividad de colecciones vivas de *Zamia muricata*, ha construido un vivero en la vereda de Monserrate manejado por la comunidad. En este sentido, este estudio fue fundamental para obtener una visión general sobre la ecología, la composición e interacción de esta especie dentro de estos fragmentos de bosque seco tropical.

Consideramos que los esfuerzos para la conservación de la especie deben incluir la búsqueda, obtención y preparación de semillas de las plantas de las localidades del Embalse y Suratá para su germinación y posterior producción en el vivero, garantizando con esto preservar la variación funcional contenida en las diferencias con los individuos de Monserrate.

6. RECOMENDACIONES

Los principales resultados del presente trabajo corresponden a las diferencias en la demografía, los hábitats y la variación funcional de *Z. muricata* en las poblaciones recientemente reportadas para Santander. Para continuar aportando a la estrategia de conservación de esta especie y mejorar el alcance de futuros estudios se debe indagar sobre cómo interactúan estos elementos de la biología de la especie; ampliando el conjunto de parámetros a evaluar y estableciendo una cantidad de mediciones proporcional entre ellos que permita analizarlos. Por ejemplo, determinar tasas de crecimiento que puedan ser relacionadas con variación en los niveles de luz, medidos para cada planta. En este sentido destacamos la necesidad de obtener más información ambiental, midiendo variables claves como la apertura del dosel y la intensidad lumínica, que sumadas a las variables edáficas proveerán un mayor entendimiento de los efectos de la degradación del hábitat sobre las dinámicas ecológicas de esta especie.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón Cruz, N. & Legaria Solano, J. P. (2013). Caracterización morfología de una muestra etnográfica de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). Rev. Chapingo Ser. Hortic. XIX, 85–98.
- Álvarez-Yépez JC, Dovčiak M, Búrquez A (2011) Persistence of a rare ancient cycad: effects of environment and demography. Biol Conserv 144: 122–130.
- Arango, N., Armenteras, D., Castro, M., Gottsmann, T., Hernandez, O.L., Matallana, C.L., Morales, M., Naranjo, L.G., Rengifo, L.M., Trujillo, A.F., y H. Villarreal. (2003). Vacíos de conservación del sistema de parques nacionales naturales de Colombia desde una perspectiva ecorregional. WWF Colombia, Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 64 p.
- Baldo-Romero, M. Á. et al. (2013). Morphometric markers for gender identification in *Zamia furfuracea* L. f. (Zamiaceae). Rev. Chapingo Ser. Ciencias For. y del Ambient. XIX, 425–434
- Becker, B., & Utermohlen, H. (1997). Identificación de especies indicadoras en la flora acompañante en campos de cultivos de los Andes. Editorial Inst. Ecología
- Chaturvedi, R. K., A. S. Raghubanshi, y J. S. Singh. (2011). Plant functional traits with particular reference to tropical deciduous forests: a review. Journal of Biosciences 36:963–981
- De la Riva, E. G. et al. (2014). Rasgos funcionales en el género *Quercus*: estrategias adquisitivas frente a conservativas en el uso de recursos. Ecosistemas 23, 82–89
- Escudero, A.; Gavilán, R. & Rubio, A. (1994). Una breve revisión de técnicas multivariantes aplicables en fitosociología. Botánica Complutensis, 19:9-38
- Franco, T. L. & Hidalgo, R. (2003). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.

- Fernandez, G. (2002). Discriminant Analysis, a powerful classification technique in data mining. *Statistics and Data analysis. Statistics and data analysis* pp. 244–247.
- Gentry, A. H. (1995). Diversity and floristic composition of neotropical dry forest. En *Tropical deciduous Forest Ecosystem*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. pp. 116-194
- Gómez R, López-Gallego C, Rojas A. (2014). Caracterización demográfica y del hábitat de una población de *Zamia muricata* para apoyar el programa de conservación integral de especies de plantas prioritarias del bosque seco tropical. Trabajo de grado, Departamento de Biología, Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Hammer, Øyvind, Harper, David A.T., and Paul D. Ryan, (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontología Electronica*, vol. 4, issue 1, art. 4: 9 pp.
- Holland, S. M. (2008). Detrended Correspondence Analysis (DCA). *Analysis* 1–9
- Instituto Alexander Von Humboldt, IAVH. (1995). Exploración ecológica a los Fragmentos de bosque seco en el Valle del Río Magdalena (Norte del Departamento del Tolima). Grupo de Exploraciones Ecologicas Rapidas, IAVH, Villa de Leyva. p56.
- Instituto Alexander Von Humboldt, IAVH. (1997). Caracterización ecológica de cuatro remanentes de Bosque seco Tropical de la región Caribe colombiana. Grupo de Exploraciones Ecologicas Rapidas, IAVH, Villa de Leyva. p76.
- Kent, M. & Coker, P. (2001). *Vegetation Description and Analysis. A Practical Approach*. *Folia Geobotanica*. Vol. 36, No. 1, pp. 101-103.
- López-Gallego, C. (2015). Plan de acción para la conservación de las zamias de Colombia. Universidad de Antioquia - Instituto de Biología: Bogotá D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Universidad de Antioquia. 163 p.

- Lopez-Gallego, C. & O'Neil, P. (2010). Life-history variation following habitat degradation associated with differing fine-scale spatial genetic structure in a rainforest cycad. *Popul. Ecol.* 52, 191–201
- López-Gallego, C. (2008). Demographic variation in cycad populations inhabiting contrasting forest fragments. *Biodivers. Conserv.* 17, 1213–1225
- Mueller-Dombois, D. and H. Ellenberg. (1974). *Aims and Methods of Vegetation Ecology.* Wiley, New York.
- Michael Greenacre, (2008). "Dynamic graphics of parametrically linked multivariate methods used in compositional data analysis," *Economics Working Papers 1082*, Department of Economics and Business, Universitat Pompeu Fabra.
- Muñoz–Urias A., Palomino–Hasbach G., Terrazas T., García–Velázquez A. y Pimienta–Barrios E. (2008). Variación anatómica y morfológica en especies y entre poblaciones de opuntia en la porción sur del Desierto Chihuahuense. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 83:1–11.
- Negrón Ortiz, V. and G. J. Breckon . (1989). A Note on the dispersal of *Zamia* (Zamiaceae) in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science* 25: 86 – 87.
- Octavio-Aguilar, P., Vovides, A. & González-Astorga, J. (2008). Population dynamics of the Mexican cycad *Dioon edule* Lindl. (Zamiaceae): life history stages and management impact. *Bot. J. Linn. Soc.* 157, 381–391
- Pennington, R. T, Lewis, G. P. & Ratter, J. A. (2006). *Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests: Plant Diversity, Biogeography, and Conservation.* Boca Raton, FL: Taylor and Francis.
- Perez, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Fourier, H., Jaureguiberry, P. Bret-Harte, M., Cornwell, W., Craine, J., Gurrich, D., Urcelay, C., Veneklaas, E., Reich, P., Poorter, L., Wright, I., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J., Campus de Vos, A., Buchmann, N., Zurich, G., Quetier, F. Hodgson, J., Thompson, K., Morgan, H., Steege, H., van der Heijden, M., Sack, L., Blonder, B., Poschlod, P., Vaieretti, M., Conti, G., Staver, A., Aquino, S., Cornelissen, J. (2011). New handbook for standardized measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, p178.

- Pizano, C y H. García (2014). El Bosque Seco Tropical en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D.C., Colombia.
- Poorter, L., Wright, S. J., Paz, H. Ackerly, D. D., Condit, R., Ibarra-Manriquez, G., Harms, K. E., Licona, J. C., Martinez-Ramos, M., Mazer, S. J., Muller-Landau, H. C., Peña-Claros, M., Webb, C. O., & Wright, I. J. (2008). Are functional traits good predictors of demographic rates? Evidence from five neotropical forests. *Ecology* 89, 1908–1920
- Poulsen, J. & French, A. (1996). Discriminant Function Analysis (DA). *J. Forensic Sci.* 56, 297–301
- Raya-Ruz, J. (2008). Análisis de la Variabilidad de la Vegetación en Sierra Morena (España). Tesis doctoral, Universidad de Córdoba, Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal. 156p.
- Salomé-Castañeda, E. (2009). Parámetros demográficos de *Dioon spinulosum* Dyer & Eichler (Zamiaceae) en San Miguel Soyaltepec, Oaxaca. Tesis Maestría en Ciencias. Instituto Nacional de Ecología (INECOL). México, D. F. 129 p.
- Sánchez-González, A. & López-mata, L. 2005. Semejanza florística entre los bosques de *Abies religiosa* (H. B. K.) Cham. & Schltdl. de la Faja Volcánica Transmexicana. *Belt.* 62–76 (2005).
- Sonco, R. (2013). Estudio de la diversidad alfa y beta en tres localidades de un bosque montano en la región de Madidi, La Paz, Bolivia. Tesis de grado, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.
- Stevenson, D. W. (2004). Cycads of Colombia. *Bot Rev.* 70: 194-234.
- Stevenson D. W. (2001). Cycadales. *Flora de Colombia* 21:1-92.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (1996). *Using multivariate statistics* (3rd ed.). New York: HarperCollins.
- Ter Braak, C. J. F., (1987). The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio* 69, 69-77

- Van Reeuwijk, L. P. (1998). Guidelines for quality management in soil and plant laboratories. FAO Soils Bull. 74. FAO, Rome
- Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. y Umaña, A. M. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 236 p.

ANEXOS

Anexo A. Lista de individuos de *Zamia muricata* con más de 3 folíolos, registrados en la localidad de Monserrate.

Subpoblación A

Código	N° hojas	N° folíolos	Long. Hoja	Código	N° hojas	N° folíolos	Long. Hoja	Código	N° hojas	N° folíolos	Long. Hoja
e001	1	34	133.0	F089	1	20	109.0	F200	1	28	133.0
e002	2	14	55.5	F090	1	18	116.0	F201	1	12	86.0
e003	1	34	187.5	F091	1	16	90.0	F202	2	24	116.0
e004	2	40	132.0	F092	1	22	101.0	F204	2	22	97.0
e005	1	30	108.5	F093	1	34	166.0	F206	2	12	79.0
e007	2	8	75.5	F095	1	43	190.0	F207	2	46	185.0
e009	2	12	100.0	F098	1	6	32.0	F209	2	42	221.0
e010	2	26	177.0	F099	1	34	113.0	F211	2	10	45.0
e011	1	26	169.5	F100	1	28	160.0	F212	1	14	51.0
e012	1	18	126.5	F101	1	24	119.0	F213	2	6	71.0
e013	1	42	150.0	F103	2	17	96.0	F215	1	27	81.0
e014	1	26	79.0	F105	2	12	112.0	F216	2	19	120.0
e015	1	6	42.5	F106	2	8	77.0	F217	1	14	56.0
e016	2	22	125.0	F107	3	8	69.0	F219	2	10	72.0
e017	1	10	98.5	F108	2	12	120.0	F220	1	20	103.0
e018	2	25	153.5	F109	2	11	84.0	F221	2	25	150.0
e019	2	26	147.5	F113	1	42	210.0	F225	1	19	77.0
e020	1	22	153.5	F114	1	11	99.0	F227	1	39	123.0
e021	1	13	105.0	F115	1	20	97.0	F228	2	25	116.0
e022	1	19	92.0	F116	1	10	77.0	F229	1	12	69.0
e023	2	8	79.0	F117	1	17	65.0	F232	2	26	83.0
e024	1	48	177.0	F118	1	15	100.0	F236	1	31	136.0
e025	1	26	106.0	F119	1	10	70.0	F237	1	30	152.0
e026	1	34	131.0	F120	2	48	199.0	F240	3	57	192.0
e027	1	16	114.0	F121	2	21	105.0	F241	2	6	52.0
e028	2	16	110.5	F122	1	26	121.0	F242	1	22	100.0
e029	1	14	107.0	F123	1	32	144.0	F243	1	40	210.0
e030	2	20	133.0	F124	1	33	133.0	F244	3	9	53.0
e031	1	8	71.0	F126	1	38	134.0	F245	2	6	55.0
e032	1	25	128.0	F127	2	45	232.0	F246	1	6	61.0
F001	1	26	91.0	F138	1	29	175.0	F247	3	8	51.0
F003	1	33	120.0	F188	2	35	182.0	F248	2	10	47.0
F004	1	26	105.0	F190	1	22	113.0	F249	1	18	49.0
F006	2	42	174.0	F194	2	42	141.0	F250	2	14	83.0

F007	1	32	179.0	F195	1	15	89.0	F251	1	22	79.0
F008	1	43	128.0	F196	1	8	33.0	F252	1	22	126.0
F011	1	18	107.0	F197	1	20	97.0	F253	1	32	116.0
F012	2	33	192.0	F199	2	6	58.0	F254	2	14	107.0
F013	1	21	127.0	F062	2	24	132.0	F255	1	36	139.0
F014	1	18	60.0	F063	1	18	106.0	F256	1	34	113.0
F018	2	39	132.0	F064	1	18	142.0	F257	1	14	91.0
F020	2	41	165.0	F065	1	38	174.0	F261	1	6	62.0
F021	2	40	111.0	F066	2	22	103.0	F262	1	24	155.0
F022	2	8	63.0	F067	1	6	37.0	F263	1	36	204.0
F023	2	24	125.0	F068	2	14	64.0	F264	1	26	125.0
F024	1	33	130.0	F069	1	31	136.0	F265	1	28	161.0
F025	1	24	102.0	F070	2	10	78.0	F266	1	36	162.0
F026	1	28	82.0	F072	1	24	154.0	F267	1	28	128.0
F027	1	18	89.0	F073	2	42	197.0	F268	1	8	68.0
F028	2	32	122.0	F074	2	6	47.0	F269	1	8	71.0
F029	1	32	135.0	F075	2	32	186.0	F270	1	43	191.0
F031	1	18	82.0	F076	1	23	134.0	F271	1	12	89.0
F032	1	16	120.0	F077	2	34	150.0	F272	1	8	55.0
F033	1	26	118.4	F078	1	21	119.0	F273	1	12	106.0
F034	1	12	82.0	F079	1	32	97.0	F274	2	6	62.0
F035	1	34	102.0	F080	1	37	145.0	F275	1	31	172.0
F036	1	23	130.0	F081	1	28	140.0	F276	1	14	91.0
F037	1	22	109.0	F082	1	28	87.0	F277	1	6	47.0
F038	2	38	167.0	F083	1	8	34.0	F278	2	24	132.0
F039	1	36	127.0	F084	2	6	64.0	F279	1	14	136.0
F040	1	20	102.0	F085	1	8	44.0	F280	1	23	167.0
F042	1	28	113.0	F086	1	37	155.0	F282	1	6	68.0
F043	1	33	129.0	F087	1	22	138.0	F283	1	14	97.0
F044	1	34	146.0	F088	1	29	114.0	F284	2	32	207.0
F045	2	25	150.0	F058	1	48	231.0	F285	2	24	143.0
F046	1	29	120.0	F059	2	6	64.0	F287	1	26	207.0
F047	1	8	54.0	F060	2	14	96.0	F288	1	8	53.0
F048	1	37	92.0	F061	2	6	85.0	F054	1	30	160.0
F049	1	30	121.0	F051	1	31	119.0	F055	2	18	126.0
F050	2	20	131.0	F052	2	20	135.0	F057	2	18	154.0
				F053	1	29	114.0				

Subpoblación B

Código	N° hojas	N° foliolos	Long. Hoja	Código	N° hojas	N° foliolos	Long. Hoja	Código	N° hojas	N° foliolos	Long. Hoja
M01	1	6	54,0	M67	2	4	34,0	M86	2	6	48,0
M02	1	30	111,0	M68	1	37	143,0	M88	2	12	51,0
M03	1	37	185,0	M69	1	9	32,0	M89	1	33	123,0
M04	1	21	132,0	M70	1	15	64,0	M90	2	4	36,0
M05	1	24	97,0	M71	1	43	132,0	M91	2	10	69,0
M06	2	29	137,0	M72	1	50	143,0	M92	2	4	33,0
M07	1	16	76,0	M73	2	4	26,0	M93	2	6	30,0
M08	1	20	96,0	M74	1	4	29,0	M97	1	12	63,0
M09	1	37	111,0	M75	1	6	25,0	M99	1	4	12,0
M13	1	11	114,0	M76	1	38	167,0	M100	1	24	39,0
M15	1	12	68,0	M78	1	4	17,5	M103	2	22	120,0
M16	2	8	45,0	M79	2	4	33,5	M104	1	4	32,0
M21	1	19	102,0	M81	2	12	79,0	M107	1	27	141,0
M24	1	37	175,0	M83	2	13	92,0	P01	1	24	87,0
M31	2	4	34,0	M84	2	6	53,0	P02	1	20	124,0
M32	2	13	110,0	M85	1	12	45,0	P03	2	18	143,0
M33	1	21	93,0	M50	2	24	133,0	P04	2	6	80,0
M34	1	14	53,0	M51	1	36	99,0	P05	1	6	27,5
M36	2	4	26,0	M52	1	8	43,0	P06	1	6	87,0
M37	1	26	76,0	M55	1	34	104,0	P07	2	27	97,5
M38	1	28	114,0	M56	1	26	100,0	P08	2	22	153,0
M39	1	36	129,0	M58	1	4	37,0	P09	2	14	106,5
M41	1	36	108,0	M59	1	2	19,0	P10	1	28	98,5
M43	1	20	80,0	M60	1	38	123,0	M46	2	38	159,0
M44	2	36	127,0	M66	1	8	61,0	M48	1	30	177,0
M45	1	8	75,0					M49	2	30	121,0

Anexo B. Lista de familias de la vegetación acompañante en la vereda Monserrate.

Familia	N° de individuos	N° de especies	Abundancia %
Caprifoliaceae	28	1	11,43
Anacardiaceae	23	4	9,39
Myrtaceae	21	3	8,57
Arecaceae	20	2	8,16
Lauraceae	16	1	6,53
Malvaceae	14	3	5,71
Clusiaceae	13	1	5,31
Fabaceae	13	2	5,31
Burseraceae	11	1	4,49
Euphorbiaceae	11	5	4,49
Rutaceae	11	3	4,49
Boraginaceae	9	1	3,67
Urticaceae	7	2	2,86
Clethraceae	6	1	2,45
Moraceae	6	3	2,45
Myrsinaceae	6	1	2,45
Asteraceae	4	1	1,63
Capparaceae	4	1	1,63
Flacourtiaceae	4	1	1,63
Malpighiaceae	4	1	1,63
Piperaceae	3	1	1,22
Rubiaceae	3	2	1,22
Sapindaceae	2	1	0,82
Tiliaceae	2	1	0,82
Acanthaceae	1	1	0,41
Agavaceae	1	1	0,41
Heliconiaceae	1	1	0,41
Proteaceae	1	1	0,41

Anexo C. Lista de especies y abundancia por transectos de la vegetación acompañante en la vereda Monserrate.

Especie	Autor	T1	T2	T3	T4	T5
<i>Acalypha diversifolia</i>	Jacq.			3		
<i>Acalypha macrostachya</i>	Jacq.			2	1	1
<i>Anacardium excelsum</i>	(Bertero ex Kunth) Skeels	3		1	1	
<i>Astronium graveolens</i>	Jacq.	4		2	2	
<i>Attalea nucifera</i>	H. Karst.	1				
<i>Banara glauca</i>	(Kunth) Benth.	1			1	2
<i>Bunchosia hartwegiana</i>	Benth.		2	2		
<i>Bursera simaruba</i>	(L.) Sarg.	1	4	5		1
<i>Capparidastrum</i> sp	Hutch.		2	1	1	
<i>Cecropia peltata</i>	L.	1			1	1
<i>Citrus sinensis</i>	Osbeck			3		
<i>Clarisia</i> sp.	Ruiz & Pav.	2		1		
<i>Clethra</i> sp	L.				6	
<i>Clusia</i> sp	L.			13		
<i>Cordia alliodora</i>	(Ruiz & Pav.) Oken	1	1	3		4
<i>Critonia morifolia</i>	(Mill.) R.M.King & H.Rob.		1	3		
<i>Croton</i> sp.	L.					2
<i>Euphorbia cotinifolia</i>	L.	1				
<i>Ficus benjamina</i>	L.					1
<i>Ficus insipida</i>	Willd.		2			
<i>Furcraea cabuya</i>	Trel.	1				
<i>Hamelia patens</i>	Jacq.		1			
<i>Hampea punctulata</i>	Cuatrec.	2	3		1	
<i>Heliconia bihai</i>	L.		1			
<i>Heliocarpus americanus</i>	L.				2	
<i>Inga</i> sp		3	3	4	1	1
<i>Justicia</i> sp	L.		1			
<i>Mangifera indica</i>	L.	1				
<i>Machaerium</i> sp.	Pers.			1		
<i>Myrcia fallax</i>	(Rich.) DC.					3
<i>Myrcia guianensis</i>	(Aubl.) DC.	1	1		8	
<i>Myrcia</i> sp	DC.	4		4		
<i>Myrsine</i> sp	L.				5	1

Pavonia sp	Cav.		1			
Persea sp	Mill.	8		2		6
Phytelephas macrocarpa	Ruiz & Pav.	3	11	5		
Piper sp	L.			3		
Pseudobombax sp	Dugand					7
Psychotria sp	L.		2			
Rhus striata	(Ruiz & Pav.)				9	
Roupala montana	Aubl.					1
Sapium sp	Jacq.				1	
Talisia esculenta	Radlk.		2			
Urera baccifera	(L.) Gaudich. ex Wedd.	1	1	1		1
Viburnum sp.	L.				21	7
Zanthoxylum rhoifolium	Lam.		1	1	2	3
Zanthoxylum sp	L.				1	

Anexo D. Valores promedio para la textura, pH, contenido de nutrientes y altitud del suelo, en las tres localidades evaluadas.

		Monserate	Embalse	Suratá
Tipo de suelo				
Textura	% Arena	87,6	82,50	82,25
	% Limo	7	10,25	10,25
	% Arcilla	5,4	7,25	7,5
pH		6,92	5,79	7,48
Materia orgánica		19,58	4,99	9,29
Fósforo		10,6	5,98	19,95
Calcio		19,92	0,84	3,61
Magnesio		8,454	2,55	2,17
Potasio		1,31	0,33	0,6
Aluminio				
Cobre		0,682	0,65	0,65
Zinc		13,2	11,79	11,45
Hierro		291,8	331,75	83,7
Manganeso		335,2	226	252
Boro				
Sodio		0,87	1,18	1
Altitud (msnm)		1268,8	939,4	828,4

Valores sombreados corresponden a los promedios más bajos observados en minerales básicos para las plantas.

Anexo E. Rasgos funcionales en cuatro subpoblaciones de *Zamia muricata* Will., del municipio de Bucaramanga.

Monserrate A					
	n	x	s	CV%	
Long Foliolo (cm)	211	26,92	± 5,32	19,74	
D. Rizoma (mm)	174	67,64	± 20,61	30,46	
Área Foliar (cm ²)	209	73,84	± 19,90	26,94	
Ancho (cm)	209	4,23	± 0,73	17,24	
SLA (cm ² /g)	209	85,87	± 24,66	28,72	
Lth (g/cm ²)	209	0,04	± 0,01	20,09	
LDMC (mg/g)	209	323,40	± 68,77	21,27	
Monserrate B					
Long Foliolo (cm)	77	25,10	± 5,86	23,36	
D. Rizoma (mm)	76	65,24	± 25,13	38,53	
Área Foliar (cm ²)	78	64,20	± 21,61	33,67	
Ancho (cm)	78	3,88	± 0,60	15,55	
SLA (cm ² /g)	78	85,27	± 19,97	23,42	
Lth (g/cm ²)	78	0,04	± 0,01	23,97	
LDMC (mg/g)	78	317,00	± 61,27	19,33	
Suratá					
Long Foliolo (cm)	21	24,79	± 4,88	19,67	
D. Rizoma (mm)	21	71,49	± 17,72	24,79	
Área Foliar (cm ²)	21	66,73	± 24,53	36,76	
Ancho (cm)	21	3,61	± 0,91	25,15	
SLA (cm ² /g)	21	78,25	± 17,92	22,90	
Lth (g/cm ²)	21	0,04	± 0,00	11,65	
LDMC (mg/g)	21	329,40	± 42,16	12,80	
Embalse					
Long Foliolo (cm)	44	26,11	± 3,93	15,06	
D. Rizoma (mm)	49	68,60	± 22,50	32,79	
Área Foliar (cm ²)	44	72,29	± 19,37	26,79	
Ancho (cm)	44	3,61	± 0,66	18,30	
SLA (cm ² /g)	44	72,50	± 11,43	15,76	
Lth (g/cm ²)	44	0,04	± 0,01	15,16	
LDMC (mg/g)	44	337,00	± 24,12	7,16	