

**Distribución de especies del género *Lutzomyia* (França, 1924) (Diptera: Psychodidae)
en los departamentos de Córdoba y Norte de Santander - Colombia**

Yerson Javier García Leal

1.094.270. 909

Departamento de Biología
Facultad de Ciencias Básicas
Universidad de Pamplona
Pamplona, Norte de Santander, Colombia

2018

**Distribución de especies del género *Lutzomyia* (França, 1924) (Diptera: Psychodidae)
en los departamentos de Córdoba y Norte de Santander - Colombia**

Estudiante

Yerson Javier García Leal

1.094.270.909

Director Interno

B.Sc. M.Sc. Diego Armando Carrero Sarmiento

Director Externo

B.Sc. M.Sc. Richard Onalbi Hoyos López

Codirector

Lc. M.Sc. Wlida Margarita Becerra Rozo

Departamento de Biología

Facultad de Ciencias Básicas

Universidad de Pamplona

Pamplona, Norte de Santander, Colombia

2018

**TRABAJO DE GRADO REALIZADO CON EL FIN DE OPTAR POR EL TÍTULO DE
BIÓLOGO OTORGADO POR LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA.
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA**

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a mi abuelo Apolinar Leal que ya no se encuentra conmigo y quien fuese mi figura paterna a seguir, que junto a mi tía Fidelia Leal han sido, son y serán mi apoyo incondicional, mi inspiración y mi fuerza, que permitió la culminación de la que quizá, sea la etapa más importante en mi vida. A mi hermana Andrea García Leal, con quien compartí y viví este sueño que ya es una realidad para ambos. A mi madre Magda Leal, por sus grandes enseñanzas. A mis demás familiares que fueron de apoyo en diferentes momentos y de distintas formas en este largo proceso. También a aquellas personas que pasaron o que aún se encuentran en mi vida, por sus aportes a mi crecimiento personal y profesional.

Agradecimientos

A mis apreciados directores de trabajo de grado Diego Carrero y Richard Hoyos.

A mí apreciada codirectora de trabajo de grado y maestra Wlda Becerra Rozo.

Al programa de pregrado en Biología.

Al Laboratorio de Entomología, Universidad de Pamplona.

Al Grupo de Investigación en Ecología y Biogeografía (GIEB), Universidad de Pamplona.

Al Laboratorio de Investigaciones Biomédicas, Universidad del Sinú.

Al Grupo de Investigación en Enfermedades Tropicales y Resistencia Bacteriana, Universidad del Sinú.

Al B.Sc. Carlos Cáceres por los aportes al manuscrito.

A mis amigos de pregrado: Friedman Pabón, Joaquín Rojas, Mauricio Cobos y Yelenka Vega.

A las Esp. Virginia Hernández y Mónica Martínez por su apoyo.

A la P.hD. Nancy Jaimes por sus aportes a mi formación profesional.

A mi familia y a cada uno de ellos, por su apoyo incondicional y la confianza depositada.

Contenido

Lista de figuras.....	8
Lista de tablas	11
Resumen.....	12
1. Introducción	14
2. Marco de Referencia	17
2.1. Distribución de especies.....	17
2.2. Diversidad de especies	18
2.3. Vectores de enfermedades tropicales	21
2.3.1. Género <i>Lutzomyia</i>	22
2.4. Leishmaniasis	31
3. Objetivos	37
3.1. Objetivo general	37
3.2. Objetivos específicos	37
4. Metodología	38
4.1. Área de estudio.....	38
4.2. Diversidad y estructura del género <i>Lutzomyia</i> spp. en el departamento de Córdoba.	41
4.2.1. Composición del género <i>Lutzomyia</i>	42
4.2.2. Curva de completitud	42

4.2.3. Diversidad del género <i>Lutzomyia</i>	42
4.2.4. Estructura de la comunidad de <i>Lutzomyia</i>	44
4.3. Relación de diversidad y distribución de las especies del género <i>Lutzomyia</i>	45
4.4. Modelo espacial de la distribución de las especies del género <i>Lutzomyia</i>	46
5. Resultados	48
5.1. Diversidad y estructura del género <i>Lutzomyia</i> spp. en el departamento de Córdoba.....	48
5.2. Relación de diversidad y distribución de las especies del género <i>Lutzomyia</i>	61
5.3. Modelo espacial de distribución de las especies del género <i>Lutzomyia</i>	64
6. Discusión.....	69
6.1. Diversidad y estructura del género <i>Lutzomyia</i> spp. en el departamento de Córdoba.....	69
6.2. Relación de diversidad y distribución de las especies del género <i>Lutzomyia</i>	73
6.3. Modelo espacial de distribución de las especies del género <i>Lutzomyia</i>	75
7. Conclusiones	78
8. Recomendaciones.....	80
9. Referencias bibliográficas	81

Lista de figuras

Figura 1 Hembra de <i>Lutzomyia</i> spp.	28
Figura 2 Macho de <i>Lutzomyia</i> spp.	28
Figura 3 Amastigotes de <i>Leishmania</i> spp.	33
Figura 4 Promastigotes de <i>Leishmania</i> spp. en cultivo.....	34
Figura 5 Mapa del departamento de Córdoba, en el cual se muestran los puntos de recolecta de los especímenes del género <i>Lutzomyia</i>	39
Figura 6 Mapa del departamento de Norte de Santander, donde se indican los puntos de recolecta de los especímenes del género <i>Lutzomyia</i>	40
Figura 7 Mapa del departamento de Córdoba en el cual, se indican las zonas en que fueron agrupados los puntos de recolecta	50
Figura 8 Diagrama de cajas de abundancias de las especies registradas en los diferentes estudios realizados en el departamento de Córdoba – Colombia	51
Figura 9 Diagrama de cajas de abundancias por cada zona muestreada en el departamento de Córdoba – Colombia (A); Diagrama de barras de riqueza por cada zona muestreada en el departamento de Córdoba – Colombia (B)	52
Figura 10 Diagrama de cajas de abundancias por cada localidad muestreada en el departamento de Córdoba – Colombia	53

Figura 11 Diagrama de barras de riqueza por cada localidad muestreada en el departamento de Córdoba – Colombia.....	54
Figura 12 Curvas de distribución de abundancias de las especies de <i>Lutzomyia</i> en las zonas: costera, montañosa y plana del departamento de Córdoba – Colombia.....	56
Figura 13 Curva de completitud para las abundancias de cada especie para cada zona estudiada, mediante el método Chao y Jost 2012.....	57
Figura 14 Perfiles de diversidad alfa (α) por zonas geográficas donde se recolectaron las especies del género <i>Lutzomyia</i> en el departamento de Córdoba – Colombia.....	58
Figura 15 Perfiles de diversidad beta (β) comparando zonas geográficas donde fueron recolectadas las especies del género <i>Lutzomyia</i> en el departamento de Córdoba – Colombia.....	59
Figura 16 Clúster por zonas de la abundancia de especies en el departamento de Córdoba, Colombia	60
Figura 17 Curvas de distribución de abundancias de las especies de <i>Lutzomyia</i> en Bosque Seco, Bosque de Transición y Bosque Subandino en la cuenca del río Pamplonita en el departamento de Norte de Santander – Colombia.....	62
Figura 18 Curvas de completitud para los tres bosques asociados a la cuenca del río Pamplonita, del departamento de Norte de Santander (A); y para las tres zonas del departamento de Córdoba (B), donde se recolectaron las diferentes especies del género <i>Lutzomyia</i> , mediante el método Chao y Jost 2012.....	63

Figura 19 Modelo espacial de distribución de <i>Lutzomyia evansi</i> , como especie que se comparte entre ambos departamentos	65
Figura 20 Modelo espacial de distribución de las especies que se comparten entre todos los sitios de muestreo de cada departamento.....	66
Figura 21 Modelo espacial de distribución de las especies que no se comparten entre las tres zonas geográficas del departamento de Córdoba – Colombia	67
Figura 22 Modelo espacial de distribución de las especies que no se comparten entre los tres tipos de bosque muestreados en la cuenca del río Pamplonita, de Norte de Santander – Colombia	68

Lista de tablas

Tabla 1 Información de los puntos de recolecta ubicados en las diferentes zonas del departamento de Córdoba – Colombia.....	39
Tabla 2 Información de los puntos de recolecta ubicados en las diferentes zonas del departamento de Norte de Santander – Colombia.....	41
Tabla 3 Número de especímenes recolectados en las diferentes localidades de cada municipio perteneciente a cada zona del departamento de Córdoba – Colombia.....	49

Resumen

El cambio climático y las perturbaciones antropogénicas son fenómenos que están afectando a la biosfera, alterando a los ecosistemas y contribuyendo a generar nuevas enfermedades emergentes y re-emergentes transmitidas por insectos vectores, donde la estimación de los cambios en la diversidad y como se encuentran compuestas las comunidades de insectos en áreas de transmisión pertenecientes a diferentes zonas de vida, puede indicar patrones diferenciales en la transmisión y fauna de reservorios asociada, así como diferentes escenarios de riesgo epidemiológico. Un ejemplo, es la parasitosis relacionada con la presencia de flebotomíneos del género *Lutzomyia* que en Córdoba y Norte de Santander (N. de S.) – Colombia, presenta áreas de transmisión para las formas cutánea y visceral de Leishmaniasis, enmarcadas en diferentes zonas de vida – Holdridge (Bs – T, Bh – T, entre otras). El presente estudio, tiene como objetivo utilizar las bases de datos, generadas a partir de inventarios entomológicos realizados en diferentes zonas con presencia de los potenciales vectores de Leishmaniasis en 17 localidades de 10 municipios que integran tres zonas geográficas (Alto Sinú, Costera y de Sabana) del departamento de Córdoba, en periodos de tiempo comprendidos entre Mayo de 2015 y Noviembre de 2016, resultados que se relacionaron con lo reportado para el departamento de Norte de Santander, por Bolaños en 2015, y se infirió el modelo de distribución espacial de las especies registradas para cada departamento. Donde, para Córdoba resultaron como las especies más abundantes para estas tres zonas *Lutzomyia evansi* y *Lutzomyia gomezi*, con el 30,44% y 29,62%, respectivamente. La mayor riqueza y abundancia la obtiene la zona del Alto Sinú. Se presenta, con base a la abundancia de las especies, la relación entre los departamentos de Córdoba y Norte de Santander, que para el total de especies analizadas, tres se comparten para ambos, entre ellas *Lutzomyia evansi*. Se logra estimar la diversidad del género *Lutzomyia* spp. para el departamento de Córdoba y su relación con el departamento de Norte de Santander,

además de inferir el modelo espacial de distribución de las especies, donde la altitud, la temperatura y la precipitación, son variables climáticas que determinan la diversidad de especies asociadas a estas áreas, pertenecientes a ambos departamentos, las cuales pueden encontrarse alteradas por el cambio climático favoreciendo así, la proliferación de los vectores potenciales de Leishmaniasis.

Palabras clave: Análisis de Diversidad, Leishmaniasis, Modelo de distribución, Vectores, Zonas geográficas.

1. Introducción

En un marco global se han descrito más de 900 especies de flebotómíneos, de las cuales, cerca de 500 están asociadas al continente americano y alrededor de 90 se consideran vectores de la patología tropical multisistémica denominada Leishmaniasis (Colla-Jacques, 2014; Contreras-Gutiérrez, Vélez, Porter, & Uribe, 2014a; Hoyos-López, Viviero-Gómez, Contreras-Gutiérrez, & Soto, 2013) y para Colombia, se han reportado 153 especies del género *Lutzomyia*, siendo 13 de importancia médica por su actividad vectorial (Bejarano, 2006; Bejarano & Estrada, 2015; Contreras-Gutiérrez, Vélez, Porter, & Uribe, 2014).

En el país, los estudios realizados sobre esta patología se han limitado a brotes de la enfermedad (epidemias), donde se reporta la enfermedad y sus vectores en un rango intra – peri domiciliario, dejando entrever un ausente interés en la búsqueda de la entomofauna silvestre de los posibles flebotómíneos asociados a las zonas subtropicales y tropicales, donde factores como el calentamiento global y el crecimiento demográfico, pueden estar generando una alteración en el medio natural de los flebotómíneos como vectores potenciales de esta patología, obligándolos a colonizar otros sitios y como resultado, el aumento en su rango de distribución, incrementando el riesgo de infección ante una mayor exposición humano – flebotómíneos, respectivamente, razón por la cual las evaluaciones del impacto epidemiológico y entomológico de estas asociaciones se hacen necesarias (Marceló, Cabrera, & Santamaría, 2014), sustentados en la realización de inventarios de las diferentes especies en la región caribe colombiana puesto que posee características biogeográficas como el clima, la altura, la humedad entre otras, que son determinantes para la presencia de diferentes vectores de varias enfermedades tropicales, pero que en el componente entomológico de Leishmaniasis ha sido poco estudiado para esta región

(Bejarano *et al.*, 2015), lo que se hace necesario para una interpretación de su distribución y actualización de los listados de especies vectores en búsqueda de una mayor comprensión sobre la diversidad de estos insectos asociados a esta región.

La elaboración de estudios de tipo ecológicos, con énfasis en analizar la diversidad como característica del ecosistema, apoya a los inventarios de fauna silvestre, los cuales aportan una información relevante en el entendimiento de la zoonosis y se hacen necesarios para caracterizar estructuralmente a las comunidades vectoriales y a los ecosistemas donde habitan. Todos los anteriores aspectos requieren del conocimiento en la composición y estructura de la comunidad del género *Lutzomyia* en ecosistemas tanto naturales como fragmentados, donde la actividad humana interviene directamente en el ciclo de vida y la interacción parásito – vector – humano, es inminente (Hoyos-López, Bolaños, Contreras-Gutierrez, & Carrero-Sarmiento, 2016). En este contexto, se hace imperioso examinar con regularidad la abundancia y la riqueza de los vectores en zonas activas para la zoonosis, y divulgar una información actualizada de su distribución geográfica que determine la comprensión de la ecología de estos dípteros, para dar una visión clara sobre el riesgo epidemiológico de la infección con dicha parasitosis (Vélez, Carrillo, Muskus, & Robledo, 2017a) y que se desarrollen estrategias de control en el país (Eiras, 2009; Miranda *et al.*, 2015; Vivero-Gómez *et al.*, 2013).

El departamento de Córdoba, perteneciente a la región caribe colombiana, cuenta con factores biogeográficos y antecedentes epidemiológicos de Leishmaniasis cutánea y visceral que afectan a la población más vulnerable residente en esas zonas, razones que lo hacen óptimo para la presencia abundante y continúa de los vectores de esta patología y que están asociados a zonas tropicales, las cuales ocupan gran parte del territorio cordobés, en el cual los estudios realizados han sido basados en municipios y localidades con antecedentes epidemiológicos, como son

Cerete, Chinú, Moñitos, Sahagún, San Andrés de Sotavento y Tierralta. Por ende, el siguiente trabajo, complementa el trabajo realizado en las zonas endémicas activas de 10 municipios del departamento de Córdoba, en los cuales se incluyen los 4 municipios registrados como focos de infección, como son Moñitos, Sahagún, San Andrés de Sotavento y Tierralta.

Municipios en los cuales durante los meses de Mayo de 2015 a Noviembre de 2016, se recolectaron e identificaron taxonómicamente las especies del género *Lutzomyia* spp., obteniendo como resultado bases de datos que fueron trabajadas para proporcionar información relevante y la actualización de metodologías, con el fin de dar una visión actualizada de la diversidad y de las perspectivas del futuro de esta enfermedad en las zonas activas del departamento de Córdoba, y su relación con Norte de Santander basado en el trabajo realizado por Bolaños (2015), dando como resultado un aproximado de la distribución de las especies como potenciales vectores de esta parasitosis, para ambos departamentos ubicados al norte del país.

2. Marco de referencia

2.1. Distribución de especies

Las especies se encuentran distribuidas actualmente en sitios condicionados a diferentes factores ambientales (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2012), pueden ser específicas de un hábitat con condiciones determinantes para su sobrevivencia o, debido a un alto grado de adaptabilidad, se pueden encontrar con rangos de distribución bastante amplios, por ende diferentes factores ambientales (Pearson & Dawson, 2003).

La distribución de las especies se puede entender de dos maneras: la real que hace alusión a los sitios donde fueron recolectadas u observados las especies, y la potencial que se refiere a aquellos sitios que tienen altas probabilidades de estar ocupados por las especies, donde sus condiciones ambientales se asemejan a las áreas donde se encuentran las especies (Gómez Pastrana, 2011).

La distribución de algunas especies varía, influenciada por el cambio climático actual, que para un conocimiento máximo de la presencia de estas en determinadas áreas, se hace necesario la implementación de modelos de distribución de especies, que han venido experimentando un gran desarrollo, proporcionando así nuevas herramientas para la investigación en biología (Mateo et al., 2012).

2.1.1. Modelo de distribución de especies

Los modelos de distribución de especies son representaciones cartográficas de la relación matemática y/o estadística entre la distribución real conocida y un conjunto de variables

independientes que se usan como indicadores para determinar la presencia de una especie en función de las variables. Estos modelos están en plena expansión y desarrollo con nuevas estrategias y métodos para tratarlas e interpretarlas (Elith et al., 2006; Mateo et al., 2012) ya que, conocer detalladamente las distribuciones geográficas y ecológicas de las especies es fundamental para la conservación (Funk & Richardson, 2002; Rushton, Ormerod, & Kerby, 2004) y la comprensión de los determinantes evolutivos y ecológicos de los patrones espaciales de la biodiversidad (Elith et al., 2006; Graham, Moritz, & Williams, 2006; Ricklefs, 2004).

Los modelos de distribución de especies intentan proporcionar predicciones detalladas al relacionar la presencia o la abundancia de las especies con las variables ambientales (Elith et al., 2006; Mateo et al., 2012) haciéndose relevantes la realización de modelos de distribución puesto que, una de sus aplicaciones está en las predicciones sobre invasiones biológicas y expansión de los vectores biológicos o de los agentes patógenos (Holt, Salkeld, Fritz, Tucker, & Gong, 2009; D. F. Ward, 2007) siendo estos últimos los que probablemente se encuentren más beneficiados con el cambio climático debido a que, está contribuyendo a la proliferación de enfermedades emergentes y re-emergentes transmitidas por insectos vectores.

2.2. Diversidad de especies

La biodiversidad, es un término acuñado por Edward Wilson en 1988, la cual también se conoce como diversidad biológica. Abarca todos los niveles de organización biológica, incluyendo en su totalidad a los procesos ecológicos y evolutivos que tienen lugar a nivel de genes, especies, ecosistemas, paisajes y región. Es relevante mencionar que la biodiversidad, de manera particular, se deriva de la teoría de sistemas basados en la conceptualización de la diversidad, lo cual no es otra cosa más que la medida de la heterogeneidad de un sistema, que, en

el caso de los sistemas biológicos, se refiere a la proporción y cantidad de los diferentes elementos biológicos que contenga el sistema, es decir, la heterogeneidad biológica. Ahora, en cada uno de los distintos niveles de organización biológica se puede estudiar la biodiversidad, reconociendo en cada uno tres atributos como son la composición, la estructura y la función. Donde, la composición hace referencia a la variedad y la identidad de los elementos (la riqueza); la estructura es la organización física o el patrón del sistema (la abundancia); y la función se refiere a los procesos evolutivos y ecológicos en el sistema (Halffter, 1995).

A cada nivel de organización biológica en el que se pretenda estudiar la biodiversidad, se va a ver condicionado a la manera en la que se mida la diversidad biológica, adoptando metodologías distintas para ello, pero que no se encuentran desvinculadas una de la otra, por ende, Halffter en 1995, da una clasificación de los diferentes niveles donde se estudia la biodiversidad, los cuales son: a nivel de biomas – la diversidad gamma (γ), a nivel de comunidades – entre hábitats la diversidad beta (β) y dentro de hábitats la diversidad alfa (α), y a nivel de poblaciones – variación y heterosis (Halffter, 1995). La diversidad “ γ ” es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran cierto entorno, resultante tanto de la diversidad beta como de la diversidad alfa, la diversidad “ β ” es el grado/tasa de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje y la diversidad “ α ” es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea.

La biodiversidad a escala de una comunidad depende tanto del número de especies presentes (riqueza), como de las abundancias relativas (equitatividad) los cuales son factores fundamentales que definen la diversidad de una comunidad (Halffter, 1995). Donde, la riqueza y la diversidad me permiten entender la estructura de una comunidad, y una de sus características

fundamentales es la composición de especies tanto en número de especies como en sus porcentajes.

2.2.1. Ecología de comunidades y análisis de diversidad:

Las comunidades se encuentran asociadas a los niveles de organización jerárquica superiores (Ecosistema, Paisaje, Bioma, Región Biogeográfica y Biosfera) por ende, no se encontrarán aisladas en entornos neutros. Debido a esto, son de gran utilidad la separación de los componentes alfa (α), beta (β) y gamma (γ) para la comprensión de los cambios en la relación de su entorno y la biodiversidad, esta a su vez suele ser caracterizada como una propiedad emergente dentro de la ecología de las comunidades.

Resulta demasiado conveniente, en el contexto actual, analizar la biodiversidad bajo estos tres componentes, puesto que en los ecosistemas naturales es acelerada la transformación y para que sean monitoreados los efectos del cambio en el ambiente es necesario contar con la información sobre la biodiversidad en comunidades tanto naturales como modificadas (alfa) y también sobre el grado de cambio en la biodiversidad entre las comunidades (beta), para el entendimiento, a nivel regional, de la actividad vectorial, de la distribución de los vectores, de los posibles nuevos focos de infección y de manera general una actualización en el estado de la enfermedad, de tipo emergente y reemergente como lo es la leishmaniasis llevando a cabo así, acciones concretas a escala local que solucionen problemas globales (Moreno, 2001).

Todos los análisis estadísticos realizados a partir de una base de datos, aportan gran información acerca de la diversidad de las especies, cuyos resultados van enfocados al entendimiento de la ecología, en este caso del vector (Ostfeld & Keesing, 2000). Los estudios realizados para Colombia hacen énfasis en el agente etiológico de las diferentes enfermedades

transmitidas por vectores – ETV's, obteniendo como resultado muy general la distribución de dichos vectores, hecho que actualmente está siendo reevaluado debido a que, los vectores son parte fundamental de cualquier ciclo de vida de estas ETV's lo que hace necesario el estudio de los mismos. Estudios sobre el entendimiento de su ecología, de su ciclo de vida y de su distribución, aportarán resultados que conllevan a entender la rápida diseminación de la enfermedad con miras a diseñar mecanismos de prevención y potenciales estrategias de control a tiempo, ya que, actualmente el cambio climático y los cambios ecológicos causados por esta razón, cambiarán la distribución geográfica de las especies vectores en función de sus necesidades biológicas, generando nuevos registros de zonas activas para las diferentes enfermedades transmitidas por vectores (Karimi, Hanafi-Bojd, Yaghoobi-Ershadi, Akhavan, & Ghezelbash, 2014).

2.3. Vectores de enfermedades tropicales

A nivel mundial las ETVs, son trastornos causados por agentes patógenos (virus, bacterias y parásitos) en el ser humano, los cuales son diseminados bajo el hábito hematófago, por diferentes especies de los órdenes pertenecientes a la clase Insecta (Phylum Arthropoda), como son Diptera y Hemiptera. Son de importancia médica, dentro del orden Diptera, la familia Culicidae, que alberga las subfamilias Anophelinae y Culicinae con los géneros *Anopheles*, *Aedes* y *Culex*, respectivamente, que son los responsables de la transmisión de los agentes patógenos de enfermedades como Paludismo y diferentes arbovirosis (*Aedes* spp.: Chikungunya, Dengue, Zika, entre otras, y *Culex* spp.: Encefalitis Equina Venezolana, Fiebre del Nilo Occidental, entre otras); y la familia Psychodidae, subfamilia Phlebotominae, con los géneros *Phlebotomus* y *Lutzomyia*, que son los responsables de la transmisión de Leishmaniasis en el viejo mundo y nuevo mundo, respectivamente (OMS, 2017).

2.3.1. Género *Lutzomyia* spp.

Los artrópodos del género *Lutzomyia* (França, 1924) (Diptera: Psychodidae) son insectos importantes desde el punto de vista de la salud pública, debido a que este género agrupa a los insectos transmisores de los parásitos causantes de Leishmaniasis en América (Young & Duncan, 1994), que también pueden transmitir otros agentes causantes de diferentes enfermedades como arbovirus, bacterias y protozoos (M. A. Contreras-Gutiérrez & Uribe, 2014; Rebollar et al., 1996). A nivel mundial, más de 900 especies de “sand-flies” se han descrito, y de éstos, aproximadamente 500 se encuentran distribuidos por las Américas, pero sólo 70 se consideran vectores del agente etiológico de la leishmaniasis (Colla-Jacques, 2014; M. Contreras-Gutiérrez et al., 2014a). Para Colombia, están registradas 153 especies de *Lutzomyia* spp. (E. Bejarano & Estrada, 2015; M. Contreras-Gutiérrez et al., 2014a), las cuales tienen una amplia distribución en las zonas tropical y sub-tropical, y en el país, solo 13 han sido incriminadas como vectores de *Leishmania* spp. (E. Bejarano, 2006; Contreras & Vivero, 2011).

Para el 2006, un estudio realizado por Bejarano reporta, para el departamento de Córdoba la presencia de 12 especies del género *Lutzomyia*, como son: *Lutzomyia cayennensis cayennensis* (Floch & Abonnenc, 1941), *Lu. dubitans* (Sherlock, 1962), *Lu. evansi* (Núñez-Tovar, 1924), *Lu. gomezi* (Nitzulescu, 1931), *Lu. longipalpis* (Lutz & Neiva, 1912), *Lu. micropyga* (Mangabeira, 1942), *Lu. migonei* (França, 1920), *Lu. panamensis* (Shannon, 1926), *Lu. rangeliana* (Ortíz, 1952), *Lu. shannoni* (Dyar, 1929), *Lu. serrana* (Damasceno & Arouck, 1949) y *Lu. trinidadensis* (Newstead, 1922) (E. Bejarano, 2006), listado al cual, en su actualización en el 2016, se suma la presencia de *Lu. caprina* (Osorno-Mesa, Morales & Osorno, 1972) (E. E. Bejarano & Estrada, 2016).

Para el 2017, se reportan dos nuevos registros, los cuales son: *Pintomyia rangeliana* (Ortíz, 1952) de origen zoofílico y *Micropygomyia cayennensis* (Floch & Abonnenc, 1941) moderadamente antropofílica, para el municipio de San Bernardo del Viento en el estudio realizado por Hoyos *et al.* (Toro-Cantillo, Atencia-Pineda, & Hoyos Lopez, 2017); y para los municipios de Tierralta y Valencia, Vivero *et al.*, 2017, reporta cinco nuevos registros para el género *Lutzomyia*, como son: *Lutzomyia atroclavata* (Knab, 1913), *Lu. carpenteri* (Fairchild & Hertig, 1953), *Lu. camposi* (Rodríguez, 1950), *Lu. dysponeta* (Fairchild & Hertig, 1952) y *Lu. yuilli yuilli* (Young & Porter, 1972) (R. J. Vivero *et al.*, 2017), estudios con los cuales aumenta a 18 el número de especies de *Lutzomyia* para el departamento de Córdoba, Colombia.

Para el departamento de Norte de Santander son registradas por Bejarano, las siguientes especies del género *Lutzomyia*: *Lu. abbonenci* (Floch & Chassignet, 1947), *Lu. atroclavata*, *Lu. bicolor* (Fairchild & Theodor, 1971), *Lu. cayennensis cayennensis*, *Lu. chassigneti* (Floch & Abonnenc, 1944), *Lu. cirrita* (Young & Porter, 1974), *Lu. dasymera* (Fairchild & Hertig, 1961), *Lu. davisii* (Root, 1934), *Lu. dubitans*, *Lu. erwindonaldi* (Ortíz, 1978), *Lu. evansi*, *Lu. flaviscutellata* (Mangabeira, 1942), *Lu. gomezi*, *Lu. lichyi* (Floch & Abonnenc, 1950), *Lu. longipalpis*, *Lu. micropyga*, *Lu. ovallesi* (Ortíz, 1952), *Lu. panamensis*, *Lu. pia* (Fairchild & Hertig, 1961), *Lu. quasitownsendi* (Osorno, Osorno-Mesa & Morales, 1972), *Lu. sauroida* (Osorno-Mesa, Morales & Osorno, 1972), *Lutzomyia shannoni*, *Lu. sordelli* (Shannon & Del Ponte, 1927), *Lu. spinicrassa* (Morales, Osorno-Mesa, Osorno & Muñoz, 1969), *Lu. trapedoi* (Fairchild & Hertig, 1952), *Lu. trinidadensis*, *Lu. venezuelensis* (Floch & Abonnenc, 1948), *Lu. walkeri* (Newstead, 1914) y *Lu. yencanensis* (Ortíz, 1965) (E. Bejarano, 2006).

Para el 2016, en la actualización realizada por Bejarano y Estrada, se suma el registro de las siguientes especies: *Lu. ceferinoi* (Ortíz & Álvarez, 1963), *Lu. ferroae* (Young & Morales,

1987) *Lu. hartmanni* (Fairchild & Hertig, 1957) *Lu. hernandezii* (Ortíz, 1965), *Lu. longiflocosa* (Osorno-Mesa, Morales, Osorno & Muñoz, 1970), *Lu. nuneztovari* (Ortíz, 1954) *Lu. oresbia* (Fairchild & Hertig, 1961), *Lu. pilosa* (Damasceno & Causey, 1944) *Lu. scorzai* (Ortíz, 1965) y *Lu. serrana*, y se descarta la presencia de *Lu. chassigneti*, *Lu. cirrita* *Lu. erwindonaldi* (E. E. Bejarano & Estrada, 2016). Para el mismo año, en el estudio realizado por Bolaños, se registran 11 especies, de las cuales 1 es nuevo reporte para este departamento, como es: *Lu. townsendi* (Ortíz, 1960) (Hoyos-López et al., 2016), obteniendo un total de 37 especies para Norte de Santander.

2.3.2. Biología y taxonomía

Los flebotomíneos (del griego *phlebos* – “vena” y *tomos* – “cortar”) son insectos pequeños que taxonómicamente están clasificados en el orden Diptera, suborden Nematocera, familia Psychodidae (Newman, 1834), subfamilia Phlebotominae (Rondani, 1856), en la cual se aceptan 7 géneros dentro de esta, pero con importancia médica en la transmisión de enfermedades, en este caso de la leishmaniasis, solo son relevantes estos tres géneros *Sergentomyia*, *Phlebotomus* – Viejo Mundo y *Lutzomyia* – Nuevo Mundo, siendo este último quien posee mayor interés, pues dentro de él existe un conglomerado de especies de hábito hematófago y antropofílico, importantes en Salud Pública (M. Contreras-Gutiérrez, 2013a), las cuales representan un alto grado de afección para la población humana residente en las Américas, por su capacidad vectorial en la transmisión de enfermedades.

Estos vectores son insectos holometábolos, depositan sus huevos en sustratos ricos de materia orgánica donde los diferentes estadios encuentran la fuente de su alimentación y desarrollo, contribuyendo a su vez con el ciclaje de nutrientes en suelos en descomposición. Los

adultos se conocen como voladores débiles caracterizados por un vuelo corto y silencioso, ellos presentan fototropismo positivo con actividad nocturna y crepuscular, cuando aumenta la humedad y disminuye la temperatura, aunque se han reportado algunos casos con actividad diurna (B. Alexander, 2000; Casanova, 2001).

Además son fitófagos, en especial los machos, ya que las hembras para una correcta maduración de los huevos antes de la postura, deben alimentarse de sangre, lo que las hace directamente hematófagas obligadas, relacionadas con fuentes sanguíneas como lo son vertebrados endo y exotérmicos, y responsables de transmitir el agente etiológico de la patología Leishmaniasis (M. Contreras-Gutiérrez, 2013a; Hoyos-López, Vivero-Gómez, Contreras-Gutiérrez, & Soto, 2013).

2.3.3. Ciclo de vida

Su desarrollo comprende una metamorfosis completa la cual posee cuatro estadios: huevo, larva (4 instares larvales), pupa y adulto. El ciclo comienza a partir de la ingesta de sangre por parte de la hembra para la maduración de los huevos, proceso que dura entre 6 a 9 días, por cada oviposición se depositan de 70 a 200 huevos, aproximadamente; estos poseen un aspecto elíptico, con una coloración que va del castaño claro al oscuro, una longitud entre 300 a 500 μm y son fusiformes. Luego de la incubación de los huevos, que tiene un tiempo de 4 a 20 días, ocurre la eclosión dando lugar al primer estadio larval con un tiempo de maduración entre los 18 y 31 días (M. Contreras-Gutiérrez, 2013a; Young & Duncan, 1994).

Las larvas se caracterizan por tener 4 instar (I – IV) y por ser vermiformes, con un cuerpo alargado que está cubierto con protuberancias y que es ventralmente aplanado, formado por tres segmentos torácicos y 9 segmentos abdominales, para un total de 12 segmentos conformando su

cuerpo, con un aparato bucal de tipo masticador para su alimentación basada en materia orgánica. La larva del instar I es de un tamaño pequeño, de color blancuzco con una cápsula cefálica esclerotizada diferenciada del resto del cuerpo y tiene un par de setas caudales delicadas (Nieves, Ribeiro, & Brazil, 1997; R. Ward, 1976).

Las larvas de los instar II, III y IV, presentan dos pares de setas caudales. El último instar larval (IV) presenta el tórax abultado, tiene un esclerito oscuro en el dorso exactamente en el octavo segmento abdominal, y esta deja de alimentarse previendo el paso al siguiente estadio, encontrando un refugio apropiado para su conversión a pupa (M. Contreras-Gutiérrez, 2013a; Young & Duncan, 1994).

La pupa presenta un color dorado o pardo, el tamaño esta entre 2 a 4 mm, prácticamente alargada, es vermiforme, algo descubierta de cerdas y se encuentra anclada al sustrato por medio del último segmento abdominal del instar IV larval, con el que conserva una posición erecta. Su desarrollo tarda entre 10 a 20 días, en las óptimas condiciones y en la parte inferior, mediante movimientos constantes, se rompe la envoltura y es abandonada la exuvia por el adulto formado completamente (M. Contreras-Gutiérrez, 2013a; Young & Duncan, 1994).

El adulto es pequeño, mide entre 2 a 3 mm de longitud, su color es variado. De un mismo lote de huevos, los machos adultos emergen antes que las hembras, alcanzando su madurez sexual tras 24 horas. Los adultos poseen tres pares de patas largas, alas lanceoladas, tórax giboso, cuerpo revestido de cerdas finas y largas que le confieren aspecto hirsuto. Este estado es el más estudiado debido a lo tedioso de encontrar criaderos naturales para analizar los demás estadios (M. Contreras-Gutiérrez, 2013a; Young & Duncan, 1994).

2.3.4. Morfología

Las especies de *Lutzomyia* spp., tienen aproximadamente de 2 a 3 mm de longitud y su color puede estar entre casi negro a un amarillo o gris plateado pálido, siendo su estadio adulto el mayormente descrito. Su cabeza, generalmente posee ojos compuestos, con una distancia interocular que es incompleta para este género; tienen un aparato bucal de tipo picador – chupador, su palpo maxilar se divide en 5, lo cual es una característica relevante en la separación de géneros y subgéneros; poseen antenas con 14 flagelómeros, el pedicelo y el escapo; y en la parte distal de la probóscide aparecen las labelas y suturas longitudinales mediales que originan la división labial que en algunos grupos de especies pueden o no unirse (M. Contreras-Gutiérrez, 2013a; Young & Duncan, 1994).

El tórax está dividido en protórax, mesotórax y metatórax, que cuentan con una sutura longitudinal que es característica determinante de especie por el número de cerdas y la presencia de estas en dicha estructura, al igual que son características relevantes la venación, la disposición de las venas radiales y la longitud de los segmentos presentes en las alas ubicadas en el tórax. El abdomen está constituido por 10 segmentos de los cuales los 3 últimos están modificados para la formación de la genitalia, donde la genitalia masculina presenta una bomba eyaculadora y unos filamentos genitales de forma y tamaño variable, y la genitalia femenina está conformada por un par de espermatecas, de las cuales su longitud y morfología son características determinantes de especie (Figura 1 y 2) (M. Contreras-Gutiérrez, 2013a; Young & Duncan, 1994).



Figura 1 Hembra de *Lutzomyia* spp.

Fotografía: García-Leal, J., 2018.



Figura 2 Macho de *Lutzomyia* spp.

Fotografía: García-Leal, J., 2018.

2.3.5. Ecología

Este vector presenta distintos hábitats y por lo general, se encuentran en lugares con humedad alta o relativamente alta, con difícil acceso ya sea en grietas, huecos y raíces de árboles maduros o en estado de descomposición, también se hallan en cuevas y en sitios con humus abundante, puesto que son espacios ricos en materia orgánica y presentan una alta humedad, factores que son relevantes en la postura de huevos, el desarrollo y la maduración de los instares larvales (Young & Duncan, 1994).

La determinación de los sitios de cría de los flebotomíneos es relevante para el control sistemático en etapas larvales del desarrollo, pero el pequeño tamaño de las larvas, su movimiento lento, la gran variedad de materia orgánica presente en cada ecosistema, sus numerosas interacciones con diferentes especies arbóreas y su comportamiento de tipo oportunista por el cual coloniza diversos hábitats, son factores que hacen difícil la detección de

los sitios de cría del vector, hecho que ha retrasado la aplicación de estrategias de control vectorial *in situ* en etapas temprano del desarrollo.

En el 2015, Vivero *et al.*, reportan la positividad, para la familia Phlebotominae en áreas de transmisión de Leishmania en Colombia, en sitios naturales de cría como son: en la base, el tronco, los agujeros y la corteza de los árboles, dentro de raíces tabulares, en la hojarasca, en los montículos de termitas, en cuevas, en madrigueras de animales, en las axilas de las palmas, en los gallineros y criaderos de cerdos, sitios donde los factores fisicoquímicos son óptimos para el correcto desarrollo del ciclo de vida de estos vectores, y sus resultados son potencialmente útiles en el desarrollo de futuras estrategias de control vectorial en ambientes de bosques húmedos y secos tropicales de Colombia (R. Vivero et al., 2015).

Los flebotomíneos tienen actividad crepuscular y nocturna, con algunos registro diurnos asociados a la cópula y la oviposición, algunas especies del género *Lutzomyia* son atraídas por la luz y por el CO₂ (B. Alexander, 2000). No vuelan, solo se desplazan hacia los lados, de manera silenciosa y a cortas distancias, características que los hacen ser denominados voladores débiles, con excepciones de especies que se han reportado desplazándose a distancias que van de los 280 m hasta los 2 Km, aunque en América están limitados en un rango de 50 a 200 m por la abundancia de zonas boscosas (Bolaños, 2015; M. Contreras-Gutiérrez, 2013a).

En estado adulto, las hembras y los machos comparten una alimentación basada en azúcares proporcionados por los coqueidos, áfidos y plantas, pero las hembras son hematófagas obligadas para la correcta producción y el óptimo desarrollo de los huevos antes de la oviposición, encontrando la fuente de su alimentación sanguínea en los mamíferos, condición que las hace cumplir el rol más importante en el ciclo de vida de varias zoonosis como vector

natural de los agentes patógenos, característica que los convierte en base fundamental para el entendimiento del desarrollo de técnicas o estrategias de control y prevención sobre la propagación de enfermedades, con un enfoque dirigido a estudiar las interacciones con su entorno, su comportamiento, su distribución, su ecología.

2.3.6. Distribución

A nivel de las américas, Los flebotomíneos tienen una distribución amplia, que va desde el del norte del continente, donde el cambio climático parece estar impulsando un cambio temporal en la distribución de los potenciales vectores, hasta el sur del continente, habitando áreas tropicales, que incluyen zonas áridas, semiáridas y selva húmeda tropical lluviosa (Burbano, 1992), alcanzando zonas por debajo del nivel del mar y llegando a encontrarse hacia los 3800 msnm de los Andes Peruanos. Su presencia se limita a zonas que durante el día, alcanzan temperaturas superiores a los 15, 6 °C y los cambios en las densidades poblacionales de flebotomíneos, depende de que las áreas cuenten con fluctuaciones significativas en temperatura y precipitación.

En Colombia, estudios realizados por González, *et al.*, en 2006 y en 2014, que junto a Ferro, *et al.*, en 2015, documentan la distribución de especies de importancia médica en el país, siendo en los estudios realizados en 2014 y 2015, donde se aplican modelos espaciales de distribución usando diferentes variables climáticas. Para el departamento de Córdoba, se cuenta con el estudio realizado por González, *et al.*, en 2018, mientras que para Norte de Santander, se cuenta con el apoyo de estudios anteriormente nombrados que cuentan con información a nivel nacional, más no a nivel departamental, y basadas en especies de importancia médica (Ferro et

al., 2015; González et al., 2018; González, Cabrera, Munstermann, & Ferro, 2006; González, Paz, & Ferro, 2014)

2.4. Leishmaniasis

2.4.1. Generalidades

Se conocen cuatro tipos clínicos de leishmaniasis: cutánea, visceral, mucocutánea y difusa (G. Rodríguez et al., 1985), causadas por cerca de 20 especies de parásitos del género *Leishmania* (Ross, 1903) (Sierra, Ochoa, Calle, & García, 2006), que son enfermedades de transmisión vectorial y con ciclos zoonóticos en las Américas, estas siguen siendo un problema de salud pública, debido a que producen formas clínicas graves que pueden causar deformidades, incapacidades y muertes (OPS & OMS, 2016). La leishmaniasis es una de las enfermedades parasitarias que es, de gran importancia epidemiológica con carácter emergente y reemergente (Ashford, 2000), causante de una alta tasa de morbilidad y mortalidad en más de 88 países en el mundo (Gratz, 1999; OMS, 1990; Valderrama, Herrera, & Salazar, 2008).

Esta enfermedad es causada por el protozoo flagelado del orden Kinetoplastida, de la familia Trypanosomatidae, del género *Leishmania*, el cual está compuesto por dos subgéneros: *Leishmania* y *Viannia*, ambos albergan numerosas especies y subespecies, agrupadas en diferentes complejos, que en sus características morfológicas son iguales, pero con diferencias en su comportamiento biológico, molecular e inmunológico, con distintas características clínicas y su distribución geográfica es diferente (Botero, 2012a). En Colombia, se han reportado actualmente nueve especies, de las 29 descritas a nivel mundial (Fernández, 2012), de *Leishmania* spp. distribuidas ampliamente por todo el territorio: *Leishmania amazonensis*, *Le. braziliensis*, *Le. guyanensis*, *Le. mexicana* y *Le. panamensis*, asociadas con las formas cutánea y

mucocutánea de la enfermedad, y *Le. infantum* (*Le. chagasi*), asociada principalmente a la forma visceral (Kreutzer *et al.*, 1984), y recientemente descritas *Le. colombiensis*, *Le. equatoriensis* y *Le. lainsoni* (GIMUR, 2016), para el departamento de Córdoba se ha reportado *Le. braziliensis*, *Le. infantum* y *Le. panamensis* (Baena-Pacheco, 2013; González *et al.*, 2018; Ovalle, Porras, Rey, Ríos, & Camargo, 2006) para el departamento de Norte de Santander están presentes: *Le. braziliensis*, *Le. infantum*, *Le. mexicana*, *Le. panamensis* (Baena-Pacheco, 2013).

2.4.2. Eco-epidemiología

La ecología estudia la interacción entre los seres vivos en sus diferentes niveles más altos de organización jerárquica (Organismo, Población, Comunidad, Ecosistema, etc.) con su ambiente. La epidemiología puede definirse como la disciplina que estudia el proceso salud – enfermedad desde el punto de vista de poblaciones y comunidades, de los factores bióticos y abióticos que determinan a cada nivel (Basáñez & Rodríguez, 2004).

Ahora, la eco-epidemiología de la leishmaniasis hace referencia al estudio de las influencias ecológicas sobre la distribución en tiempo y espacio de esta enfermedad en el hombre a diferentes escalas. La distribución de los casos humanos de leishmaniasis (probabilidad de contacto hombre – vector en el mismo tiempo y espacio), en los distintos escenarios donde se ha reportado la enfermedad se entiende, a partir de los atributos de las comunidades y poblaciones de insectos vectores y de posibles reservorios (abundancia, riqueza, diversidad), su distribución y fluctuaciones poblacionales observadas en el tiempo y en el espacio (Fernández, 2012), con el fin de entender las interacciones parásito – vector – reservorio/hospedero y en conjunto con su ambiente, para en general definir los periodos de mayor densidad de vectores, debido a su dependencia de la presencia activa de factores abióticos en su ciclo de vida, y de alto riesgo de

infección parasitaria (Vélez, Carrillo, Muskus, & Robledo, 2017), contribuyendo así al conocimiento de la ecología del vector y su distribución.

2.4.3. Ciclo de vida y transmisión

Dentro del ciclo de vida de este protozooario, están involucradas directamente las hembras del género *Lutzomyia*, como vectores de este parásito para el nuevo mundo; estas hembras se infectan por la ingesta de sangre ya que son hematófagas obligadas, pican a los reservorios vertebrados succionando, durante su alimentación, macrófagos infectados y amastigotes de *Leishmania* spp. (Figura 3). El desarrollo del flagelo para dar lugar al estado de promastigote se da en el tubo digestivo del mosquito, siendo este último estado la forma infectiva del parásito para el vertebrado, el promastigote metacíclico (Figura 4).

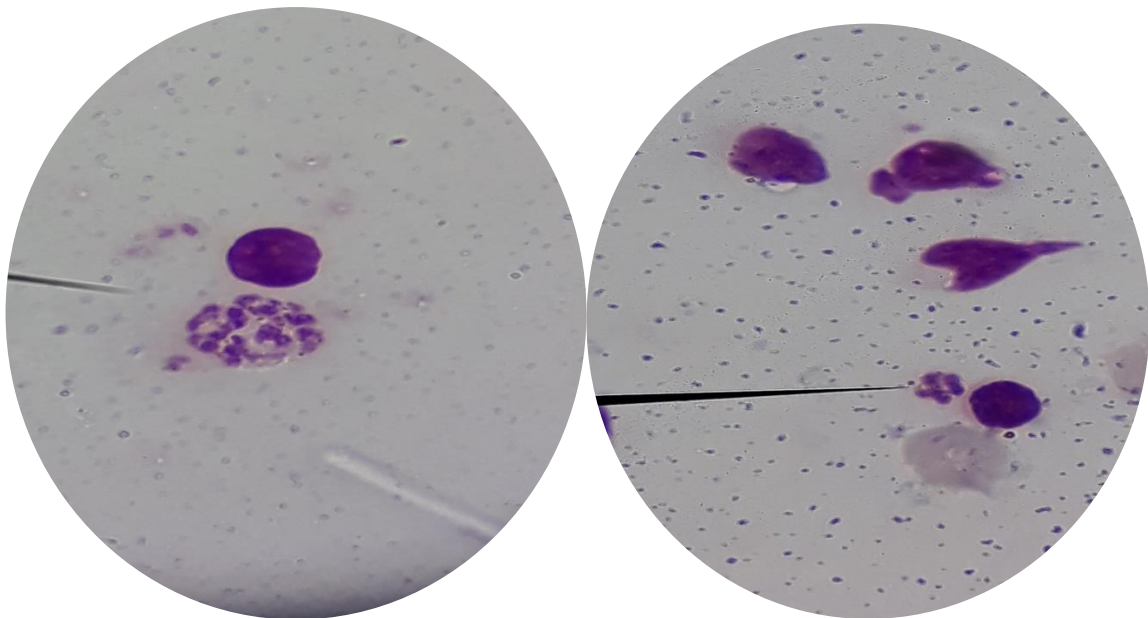


Figura 3 Amastigotes de *Leishmania* spp..

Fotografía: García-Leal, J., 2018.

Los promastigotes se reproducen por división binaria y según la localización en el tubo digestivo del mosquito, se clasifican de la siguiente manera: Hypopylora en la parte posterior del tubo digestivo, Suprapylora en la anterior y Peripylora en ambas partes. Alrededor de 10 días le toma al vector volverse infectante y requiere de varias picaduras para infectar, debido a que la carga parasítica a inocular debe estar entre 10 a 200 parásitos. En el huésped, los promastigotes penetrados por medio de la picadura, son encapsulados por las células de Langerhans y los macrófagos, dando lugar a la formación de fagosomas donde se transforman en amastigotes, donde se reproducen intracelularmente por división binaria, causando el rompimiento de la célula y diseminándose hacia las demás células del tejido, el cual es destruido por la generación de lesiones ulcerativas (Botero, 2012b).

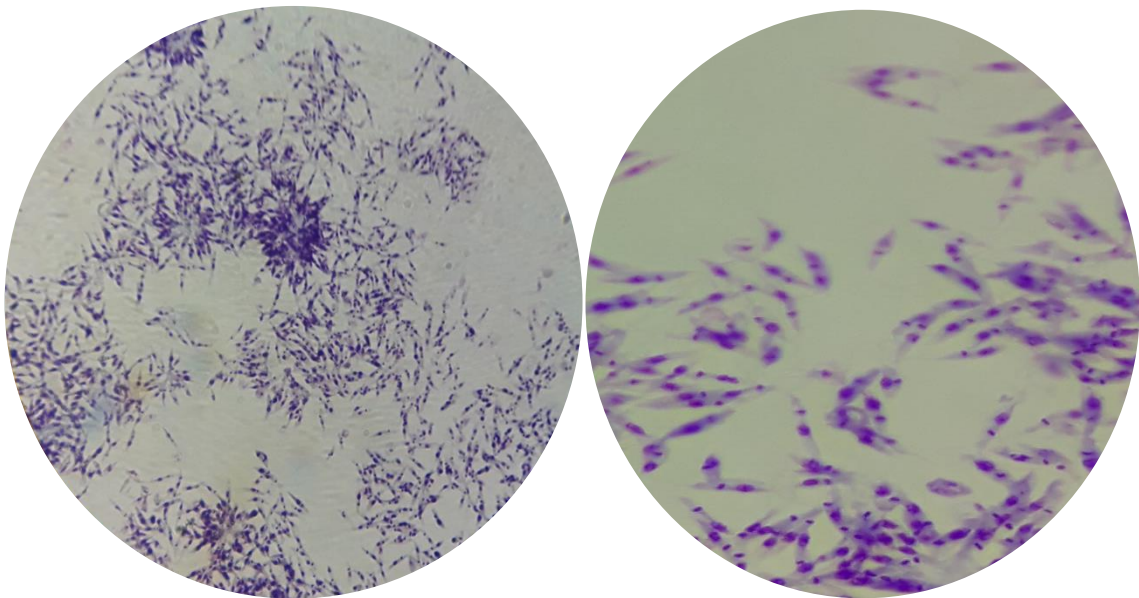


Figura 4 Promastigotes de *Leishmania* spp. en cultivo.

Fotografía: García-Leal, J., 2018.

La transmisión se lleva a cabo del invertebrado al vertebrado, de los dípteros del género *Phlebotomus* – Viejo Mundo, y *Lutzomyia* – Nuevo Mundo, a los animales reservorios y al hombre, respectivamente (Herrer, Christensen, & Beumer, 1976; Herwaldt, Stokes, & Juranck, 1993). Las hembras del género *Lutzomyia*, infectadas naturalmente, portan en su aparato bucal la forma infectiva del parásito que son, los promastigotes metacíclicos; y debido a su hábito alimenticio de tipo hematófago pican al vertebrado, transmitiendo vía sanguínea, al agente etiológico de la leishmaniasis, entre otras enfermedades como la bartonelosis y algunas arbovirosis (Botero, 2012b). Para el centro y el sur de América, la transmisión de la leishmaniasis está asociada principalmente a los hábitats selváticos, donde los humanos y otros mamíferos, durante la realización de actividades como el ecoturismo, la extracción maderera, la cacería y el desarrollo de estudios científicos, entre otros (Duque, Vélez, Morales, & Sierra, 2004), se encuentran en contacto directo con los vectores responsables de transmitir el agente etiológico de alguna de las leishmaniasis u otras enfermedades asociadas a este vector (M. Contreras-Gutiérrez, 2013b; Desjeux, 2004; Gramiccia & Gradoni, 2005; Velez, Hendrickx, Robledo, & Agudelo, 2001); aunque predominan también los ciclos de transmisión en ambientes domésticos rurales y urbanos, debido al crecimiento demográfica y a la expansión en la frontera agrícola (E. Bejarano, Uribe, Rojas, & Vélez, 2002; M. Contreras-Gutiérrez et al., 2014a).

Dentro del ciclo de vida y de transmisión de los parásitos del género *Leishmania* los reservorios de dicha zoonosis son muy relevantes, la OMS considera que al menos 70 especies de animales a nivel mundial son reservorios del agente etiológico de la patología multisistémica denominada Leishmaniasis (Hoyos-López, Vivero-Gómez, Contreras-Gutiérrez, et al., 2013), y algunos de estos son animales domésticos que interactúan directamente con los humanos; los

reservorios desempeñan un rol importante en la diseminación de la enfermedad y en la infección natural, en este caso, de las hembras del género *Lutzomyia*.

Bajo este contexto, el presente estudio se basa en dar una visión actualizada de la distribución y, una explicación estadística sobre la estructura y composición de la comunidad del género *Lutzomyia*, como vectores activos de agentes etiológicos de varias enfermedades, con énfasis en Leishmaniasis, con el objetivo de estimar la biodiversidad de los vectores recolectados en diferentes localidades, de diez municipios con antecedentes epidemiológicos para leishmaniasis cutánea y visceral. Municipios como, San Andrés de Sotavento son áreas catalogadas como focos de infección para esta parasitosis y las demás zonas que son endémicas para estas patologías, se pueden categorizar como pasivas y activas dependiendo de la actividad vectorial, basado en la proliferación del vector. Dejando así, un precedente tanto para el desarrollo de estudios en el seguimiento de la actividad vectorial en los departamentos de Córdoba y Norte de Santander, como para futuras revisiones y actualizaciones en estudios de salud pública en el territorio colombiano.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Estimar la distribución y diversidad del género *Lutzomyia* (França, 1924) (Diptera: Psychodidae) en los departamentos de Córdoba y Norte de Santander – Colombia.

3.2. Objetivos específicos

- ✓ Estimar la diversidad y estructura del género *Lutzomyia* spp. para el departamento de Córdoba – Colombia.
- ✓ Relacionar la diversidad y distribución de las especies del género *Lutzomyia* registradas entre los departamentos de Córdoba y Norte de Santander – Colombia.
- ✓ Inferir el modelo espacial de distribución de las especies del género *Lutzomyia* registradas para los departamentos de Córdoba y Norte de Santander – Colombia.

4. Metodología

4.1. Área de estudio

El departamento de Córdoba, ubicado en la región caribe colombiana, al norte del país, localizado entre los 09° 26' 16" y 07° 22' 05" de latitud norte, y los 74° 47' 43" y 76° 30' 01" de longitud oeste, con una temperatura entre los 25°C y 33°C. Se caracteriza por su división en zonas asociadas al río Sinú (Alto, medio y bajo) y al río San Jorge, zona Costera y zona de Sabana, las cuales con excepción de la zona costera, ocupan la mayor parte del territorio cordobés ya que hacen parte de la gran llanura del caribe, y los diez municipios donde se ubican las diferentes localidades estudiadas para la realización de este proyecto se encuentran distribuidos así: Montelibano, Puerto Libertador, Tierralta y Valencia – Zona del Alto Sinú; Los Córdoba, Moñitos, San Andrés de Sotavento y Tuchín – Zona Costera y, Planeta Rica y Sahagún – Zona de Sabana (Tabla 1), donde predomina el bosque seco tropical – BsT, zona de vida característica para la presencia de flebotomíneos (Figura 5), por ende durante los meses comprendidos entre Mayo de 2015 y Noviembre de 2016 se ejecutaron diferentes proyectos entomológicos, con énfasis en la recolección de especímenes del género *Lutzomyia*, para la generación de diferentes bases de datos las cuales fueron relacionadas con la reportada por el trabajo de Bolaños (2015), cuyo estudio fue realizado en tres tipos de bosques (Tabla 2), como son: el Bosque Seco asociado a los municipios de Cúcuta y Los Patios, Bosque de Transición comprendido en los municipios de La Don Juana y Chinácota, y al municipio de Pamplonita el Bosque Subandino, pertenecientes a la cuenca del río Pamplonita en el departamento de Norte de Santander – Colombia (Figura 6) (Bolaños, 2015; Hoyos-López et al., 2016).

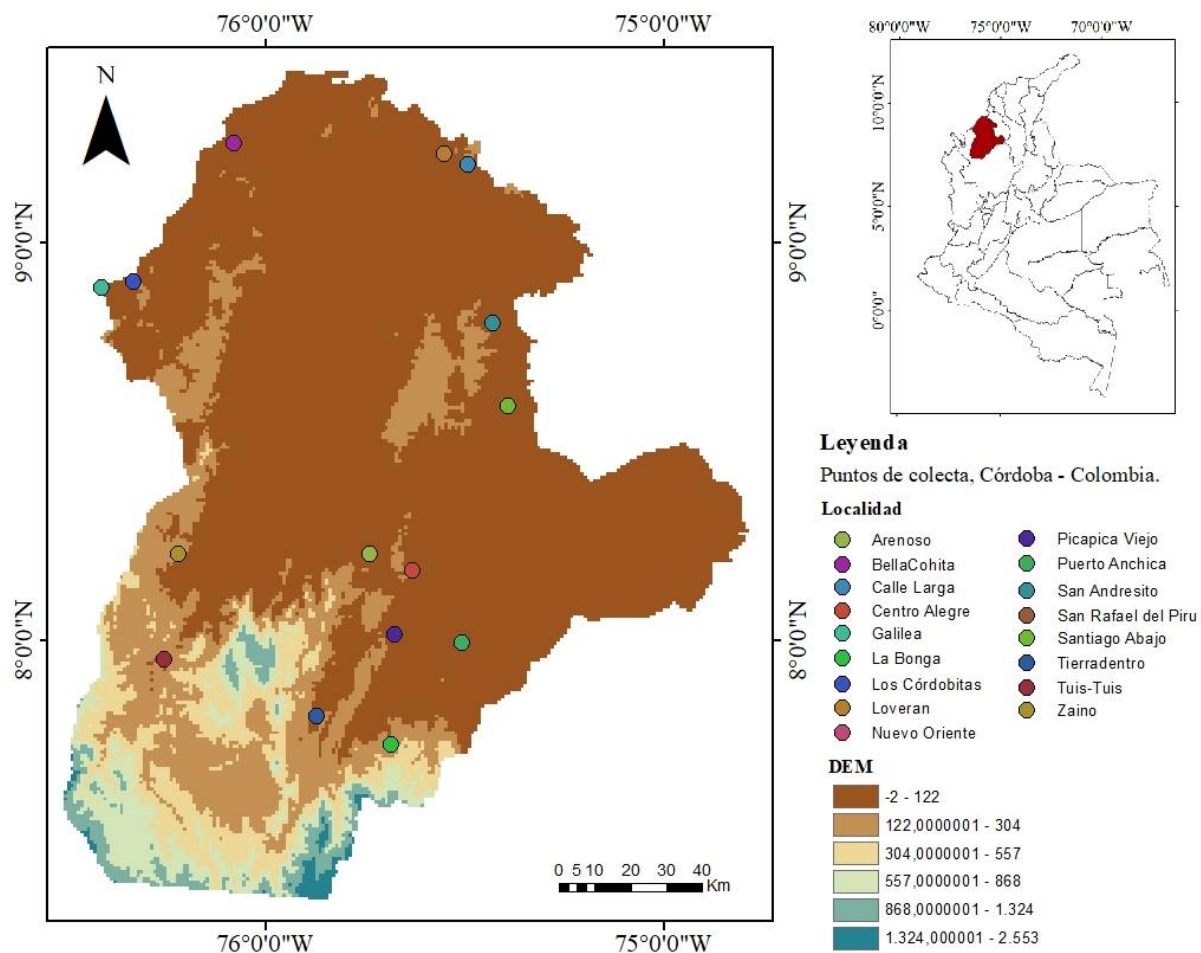


Figura 5 Mapa del departamento de Córdoba, donde se indican los puntos de recolecta de los especímenes del género *Lutzomyia*. Elaboró: García-Leal, J.

Tabla 1 Información de los puntos de recolecta ubicados en las diferentes zonas del departamento de Córdoba – Colombia.

Municipio	Localidad	Coordenadas	
		Longitud	Latitud
Los Córdoba	Galilea	-76,415699	8,887486861
	Los Córdoba	-76,33476944	8,901016667
Montelíbano	Puerto Anchica	-75,50815218	7,99529808
	Tierradentro	-75,8743911	7,810908736
Moñitos	Bellacohita	-76,0824262	9,249031224
Planeta Rica	Arenoso	-75,739145	8,217639817
	Centro Alegre	-75,6318821	8,176731886
	Picapica Viejo	-75,67656115	8,013695171

Puerto Libertador	La Bonga	-75,68668491	7,737308175
	San Andresito	-75,42912318	8,797865406
Sahagún	Santiago Abajo	-75,39235396	8,587833689
San Andrés de Sotavento	Calle Larga	-75,4909807	9,196678344
	Nuevo Oriente	-76,25752593	7,951118249
Tierralta	Tuis – Tuis	-76,25752593	7,951118249
Tuchín	Loveran	-75,55200262	9,221918111
	San Rafael del Pirú	-76,22254211	8,218169877
Valencia	Zaino	-76,22254211	8,218169877

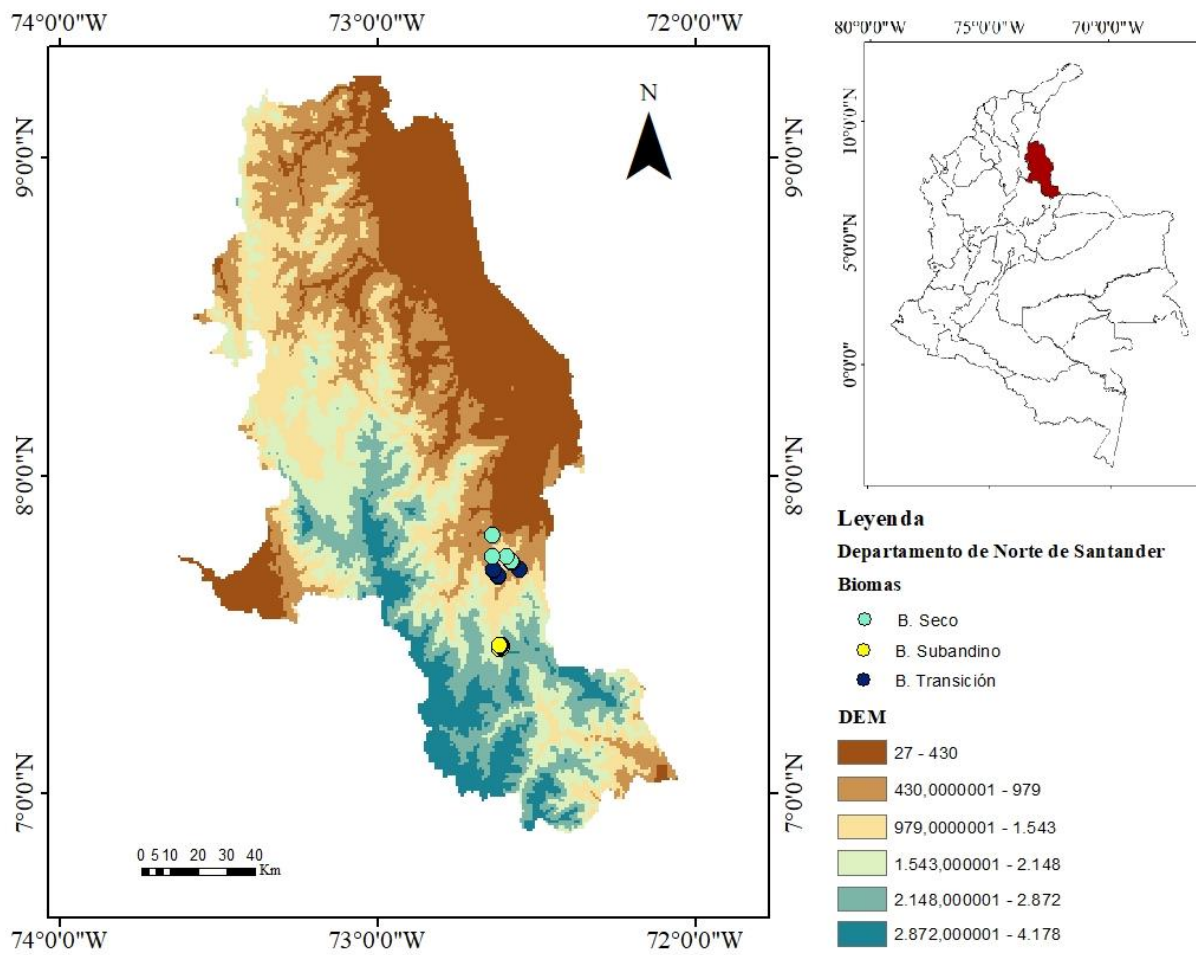


Figura 6 Mapa del departamento de Norte de Santander, en el cual se muestran los puntos de recolecta de los especímenes del género *Lutzomyia*. Elaboró: García-Leal, J.

Tabla 2 Información de los puntos de recolecta ubicados en las diferentes zonas del departamento de Norte de Santander – Colombia.

Municipios	Bosque	Rango de alturas (msnm)	Coordenadas	
			Longitud	Latitud
Cúcuta – Los patios	Bosque Seco	300 – 1100	-72,5750277778	7,7266389
			-72,5759444444	7,7268611
			-72,5784444444	7,7273333
			-72,5792222222	7,7278056
			-72,5940555556	7,7435278
			-72,6361111111	7,7458056
			-72,6364166667	7,81225
			-72,6190861111	7,6820556
			-72,6191194444	7,683225
			-72,6189444444	7,6845917
La Don Juana – Chinácota	Bosque Transición	1100 – 1600	-72,6357888889	7,6981972
			-72,5530027778	7,7028972
			-72,6357888889	7,7037556
			-72,0024555556	8,0548667
			-72,0015111111	8,0775083
			-72,0045916667	8,1217083
Pamplonita	Bosque Subandino	1600 – 2100	-72,60925	7,4594167
			-72,6095	7,4604167
			-72,6091666667	7,4641944
			-72,6139722222	7,4549444
			-72,6086388889	7,4580556
			-72,6116388889	7,4624444
			-72,6115277778	7,4636111
			-72,6138611111	7,4645278

4.2. Diversidad y estructura del género *Lutzomyia* spp. en el departamento de Córdoba.

La siguiente metodología se realizó teniendo como referente lo expuesto por Bolaños (2015), en la cual se hicieron modificaciones para la actualización y continuidad de la misma.

Las bases de datos generadas en los diferentes proyectos realizados en el departamento de Córdoba por parte del Grupo de Investigación en Enfermedades Tropicales y Resistencia Bacteriana de la Universidad del Sinú – Montería, fueron tratadas bajo análisis estadísticos realizados en el programa en línea iNEXT, el cual estima la riqueza–abundancia, propuesto por Chao & Jost (2012) (Hsieh, Ma, & Chao, 2016), y en el programa libre R, donde se relacionaron el número de especímenes, las especies, las localidades, los municipios y las zonas en las que se divide el territorio cordobés.

4.2.1. Composición del género *Lutzomyia*

Para cada zona en la que se dividió lo registrado en las diferentes bases de datos, se midió la abundancia y riqueza del género *Lutzomyia*. La composición se midió mediante rango abundancia en logaritmo base 10.

4.2.2. Curva de completitud

Se realizaron las curvas de completitud respectivas para el departamento de Córdoba, usando el software estadístico iNEXT (Hsieh et al., 2016), donde se realizaron las comparaciones entre las localidades y entre los municipios los cuales fueron agrupados en la zona respectiva (Alto Sinú, Costera y de Sabana) (Bolaños, 2015).

4.2.3. Diversidad del género *Lutzomyia*

Se realizaron, utilizando los índices de Shannon y el inverso de Simpson, perfiles de diversidad α (Alfa) -el cual mide la riqueza de especies de un ensamble local-, determinando así,

el cambio en la diversidad en las zonas activas a estudiar (Rös, Escobar, & Halffter, 2012), estos análisis estarán bajo los parámetros expuestos por Jost en el 2007 (L. Jost, 2007).

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

El índice de *Shannon-Wiener* asume que en la muestra todas las especies están representadas y que cada individuo está siendo seleccionado al azar. Si todas las especies abundan por igual sucede que se presentan los valores más altos (Chordá Olmos, 2014). Este se encarga de predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar basado en la medición del grado promedio de incertidumbre (Magurran, 1988).

$$X \equiv \sum_{i=1}^S p_i^2$$

El *índice de Simpson* manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie. Este valor, con base al obtenido por los índices de equidad, es inverso (Chordá Olmos, 2014; Moreno, 2001).

Para elaborar una intuitiva y unificada interpretación de la diversidad de especies del género *Lutzomyia* en las zonas en estudio, se convirtieron los índices comunes de Shannon y el inverso de Simpson, en números efectivos, llamado según Jost en el 2006 “*qD*” (L. Jost, 2006) o “*N_a*” según Hill en 1973 (Hill, 1973), mediante el uso de esta ecuación:

$${}^qD = \left(\sum_{i=1}^S p_i^q \right)^{1/(1-q)}$$

Donde, qD es la diversidad.

La ecuación tradicional del índice de entropía de Shannon se convierte fácilmente en una medida de diversidad al expresarlo como: ${}^1D = \exp(H')$ (L. Jost, 2006; Moreno, Barragán, Pineda, & Pavón, 2011).

Los perfiles de diversidad α se obtuvieron a partir de los órdenes de diversidad, donde el orden 0D es insensible a la abundancia de las especies y calcula la riqueza de las mismas (L. Jost, 2007; Moreno, 2001; Moreno et al., 2011); el orden 1D es el valor del exponencial del índice de Shannon y en el muestreo tiene en cuenta a las especies más comunes, y el orden 2D representa el inverso del índice de Simpson y expone a las especies más abundantes (L. Jost, 2007; Lou Jost et al., 2010; Olarte-Quiñonez, Acevedo-Rincón, Ríos-Málaver, & Carrero-Sarmiento, 2016).

4.2.4. Estructura de la comunidad del género *Lutzomyia*

Se estimaron los perfiles de diversidades β (Beta) el cual mide el grado de diferencia entre las comunidades utilizando los índices de diversidad del inverso de Simpson y de Shannon, mediante la fórmula de diversidades α y β propuesta en el 2007 por Jost (L. Jost, 2007):

$$\begin{aligned} {}^0D_Y &= S \\ {}^0D_\alpha &= (1/N)(S_1 + S_2 + \dots + S_j) \\ {}^0D_\beta &= {}^0D_Y / {}^0D_\alpha, \end{aligned}$$

Donde,

S: número de especies por unidad de muestreo.

N: número de unidades de muestreo.

${}^0D_\alpha$: número total de especies en todo el conjunto de unidades de muestreo.

En la partición de diversidad verdadera de Shannon en α y β , se utilizaron las fórmulas propuestas por Jost, en el 2007 (L. Jost, 2007):

$$\begin{aligned}
 {}^1D_\gamma &= \exp \left[\sum_{i=1}^S (p_i \ln p_i) \right] \\
 {}^1D_\alpha &= \exp \left[-w_1 \sum_{i=1}^S (p_{i1} \ln p_{i1}) + -w_2 \sum_{i=1}^S (p_{i2} \ln p_{i2}) + \dots \right] \\
 w_j &= \text{ind}_j / \text{ind}_{\text{TOT}} \\
 {}^1D_\beta &= {}^1D_\gamma / {}^1D_\alpha,
 \end{aligned}$$

Donde,

W: peso estadístico aportado por cada unidad de muestreo para la diversidad total (número de individuos en la comunidad M dividido por el número total de individuos).

Se estimó también, la diferencia entre las diversidades del orden dos ($q=2$) entre cada uno de las zonas en estudio (Hoyos-López et al., 2016).

Se realizó el análisis de disimilaridad, basado en el *índice de disimilitud de Morisita-Horn*, el cual usa un método de tipo cuantitativo y está fuertemente influenciado por la abundancia de la especie más común entre las zonas geográficas en que se dividió el departamento de Córdoba (Magurran, 1988), haciendo uso del software R.

4.3. Relación de la diversidad y distribución de las especies del género *Lutzomyia* en los departamentos de Córdoba y Norte de Santander.

La relación entre ambos departamentos se hará basada en las abundancias resultantes de cada especie, teniendo en cuenta cuáles se comparten y cuáles no, junto a su importancia médica, para la aplicación del modelo espacial de distribución de especies.

4.3.1. Curva de completitud para el departamento de Norte de Santander

Se realizarán las curvas de completitud respectivas para el departamento de Norte de Santander, usando el software estadístico iNEXT (Hsieh et al., 2016), donde se realizaron los tipos de bosques asociados a la cuenca del río Pamplonita (Bolaños, 2015).

4.3.2. Modelo estadístico

El modelo se hará basado en la metodología modificada descrita por Dantas – Torres *et al.*, en el 2014, donde los datos se evaluarán inicialmente utilizando la prueba de Lilliefors para la normalidad y luego se realizarán las comparaciones de datos utilizando las pruebas paramétricas (prueba t de Student) o no paramétricas (prueba de Kruskal-Wallis, pruebas U de Mann-Whitney). Se utilizará el coeficiente de correlación de Pearson (r) para determinar la correlación entre los departamentos de Córdoba y Norte de Santander con las abundancias de cada especie recolectada. Las diferencias se considerarán significativas cuando $p < 0,05$ (Bolaños, 2015; Dantas-Torres *et al.*, 2014).

4.4. Modelo espacial de distribución de las especies del género *Lutzomyia*.

Se empleó un modelo de elevación (DEM – 30m), hidrografía, cobertura vegetal y centros poblados para preparar las capas geográficas delimitando las áreas de estudio seleccionadas. Seguido a esto, se eliminó la información duplicada y se transformaron las coordenadas a un sistema común como UTM. Luego, para que cada localidad se geo–posicionará

y mostrará la distribución actual de las especies de fauna para cada celda, fueron importados los registros a los programas de sistema de información geográfica como DIVA–GIS y/o ArcMap de ArcGis.

Para el análisis de distribución potencial, se importaron los datos climáticos en DIVA–GIS. Estos datos están en bases de datos mundiales y son de libre acceso. La base de datos más comúnmente referenciada es WorldClim y BioClim, se usaron las variables bioclimáticas, además de datos climáticos mensuales, como son temperaturas máxima y mínima, y precipitación (83.3 m) y se evaluó que variables son las más importantes para el modelo, según la prueba Jackknife calculado en MaxEnt (Ortega-Andrade, Prieto-Torres, Gómez-Lora, & Lizcano, 2015). MaxEnt estima la probabilidad de distribución basado en la máxima entropía mediante la aplicación del siguiente principio: El valor esperado para cada función debe ser igual (variables climáticas) al valor medio empírico de los puntos relacionados con la presencia conocida de la especie. El algoritmo realiza un cierto número de interacciones hasta alcanzar un límite de convergencia, produciendo un mapa que propugna como valores para la idoneidad del hábitat que va de 0 (no apto) a 1 (perfectamente adecuado).

La validación se realizará por medio de la curva ROC (Receiver Operating Characteristic/Características Operativas del Receptor) y el valor AUC (Area Under the Curve/Área Bajo la Curva ROC); este último valor es una medida directa de la capacidad de discriminación y validación del modelo, que toma valores próximos a 1 cuando existe un buen ajuste del modelo con los datos de evaluación o validación y cercanos a 0.5 cuando el ajuste estimado por Maxent no es mejor que los modelos obtenidos por azar (Phillips et al. 2006).

5. Resultados

5.1. Diversidad y estructura del género *Lutzomyia* spp. en el departamento de Córdoba.

5.1.1. Tratamiento de los datos

Se generaron tres bases de datos donde se registran los resultados de las fases de campo y de laboratorio. Estas bases de datos fueron presentadas en formato Excel, y para un mejor uso de las mismas durante el desarrollo de este trabajo se unificaron en la plantilla para la documentación de registros biológicos basada en el estándar Darwin Core. La información suministrada por esta base de datos fue trabajada bajo 3 zonas geográficas en las que es dividido el territorio cordobés, donde son agrupados los puntos de recolecta, de los 10 municipios así: Zona del Alto Sinú: Montelibano, Puerto Libertador, Tierralta y Valencia; Zona Costera: Los Córdoba, Moñitos, San Andrés de Sotavento y Tuchín; Zona de Sabana: Planeta Rica y Sahagún (Tabla 3); también se registraban datos con referencia a *Lutzomyia* spp., las cuales no se trabajaron en los análisis estadísticos debido a que su clasificación llega a género, desconociendo su especie o el grupo al que pertenecen (Figura 7). La base de datos generada por Bolaños en el 2015, fue actualizada en la plantilla para la documentación de registros biológicos basada en el estándar Darwin Core, información que está dividida entre los diferentes bosques que fueron muestreados, como son: Bosque Seco, Bosque de Transición y Bosque Subandino ubicados a lo largo del río Pamplonita.

Tabla 3 Número de especímenes recolectados en las diferentes localidades de cada municipio perteneciente a cada zona del departamento de Córdoba – Colombia.

Zonas	Municipio	Localidad	Número de especímenes recolectados
Costera	Los Córdoba	Galilea	73
		Los Córdoba	2
	Moñitos	Bellacohita	47
	San Andrés de Sotavento	Calle Larga	445
	Tuchín	Loveran	8
Alto Sinú	Montelibano	Puerto Anchica	89
		Tierradentro	201
	Puerto Libertador	Picapica Viejo	57
		La Bonga	148
	Tierralta	Nuevo Oriente	137
		Tuis – Tuis	105
		San Rafael del Pirú	68
Valencia	Zaino	73	
Sabana	Planeta Rica	Arenoso	15
		Centro Alegre	16
	Sahagún	San Andresito	24
		Santiago Abajo	187

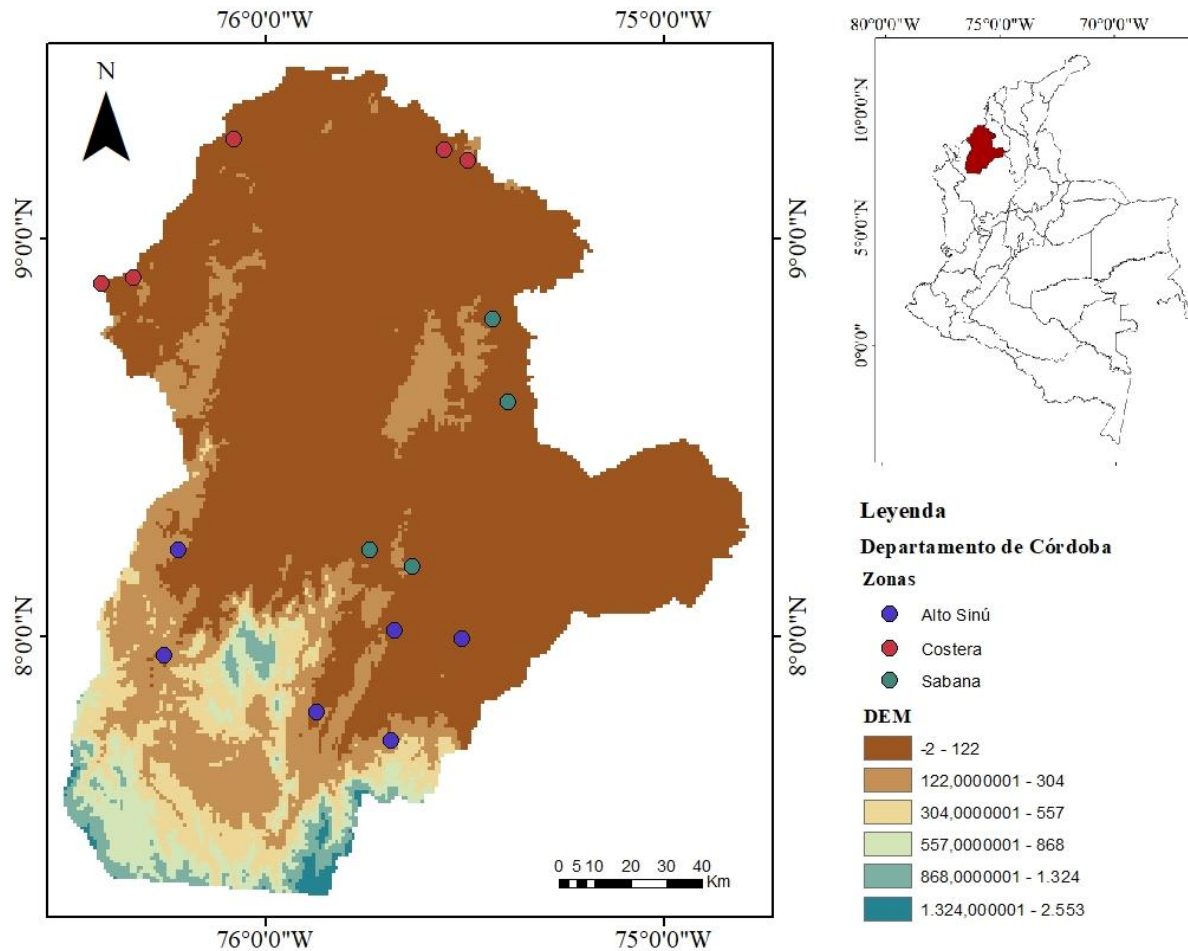


Figura 7 Mapa del departamento de Córdoba en el cual, se indican las zonas en las que fueron agrupados los puntos de recolección. Elaboró: García-Leal, J.

5.1.2. Composición del género *Lutzomyia*

Se registraron un total de 1695 individuos, los cuales se clasifican en el orden Diptera, de la familia Psychodidae, (Newman, 1834), subfamilia Phlebotominae (Rondani, 1856), del género *Lutzomyia* (França, 1924) representado en un total de 13 especies. Las especies más representativas son *Lutzomyia evansi* con un 30,44% y *Lutzomyia gomezi* con el 29,62% siendo las más abundantes, seguidas de *Lutzomyia cayennensis* con 17,76%, *Lu. panamensis* con 10,03%, *Lu. trinidadensis* con 4,60%, *Lu. micropyga* con 1,83%, *Lu. dubitans* con 1,65%, *Lu.*

shannoni con 1,59%, *Lu. dysponeta* con 1,00%, *Lu. rangeliana* con 0,94%, *Lu. atroclavata* con 0,35%, *Lu. carpenteri* con 0,12% y *Lu. trapidoi* con 0,06% (Figura 8).

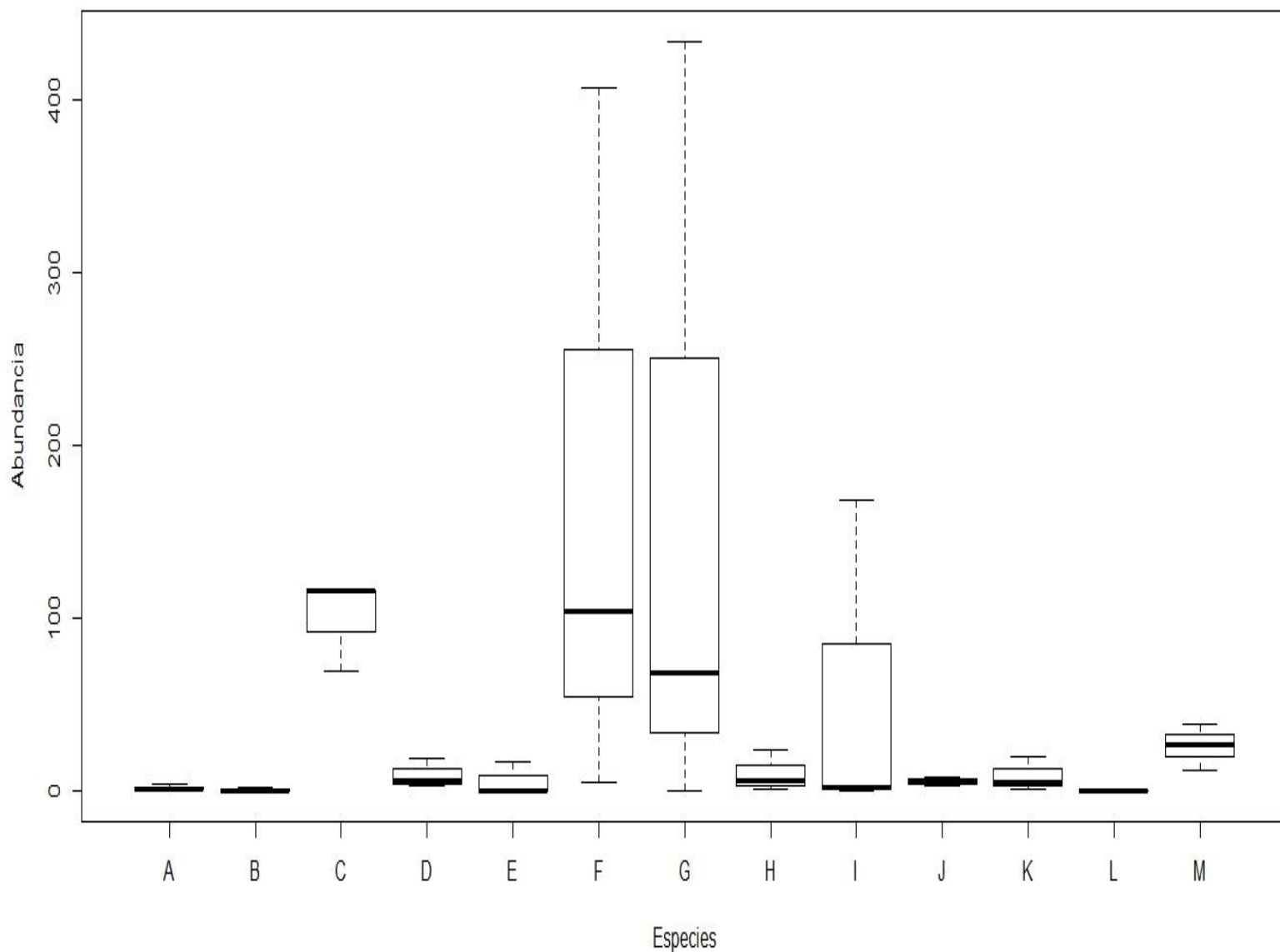


Figura 8 Diagrama de cajas de abundancias de las especies registradas en los diferentes estudios realizados en el departamento de Córdoba – Colombia. *Lutzomyia atroclavata* (A), *Lutzomyia carpenteri* (B), *Lutzomyia cayennensis* (C), *Lutzomyia dubitans* (D), *Lutzomyia dysponeta* (E), *Lutzomyia evansi* (F), *Lutzomyia gomezi* (G), *Lutzomyia micropyga* (H), *Lutzomyia panamensis* (I), *Lutzomyia rangeliana* (J), *Lutzomyia shannoni* (K), *Lutzomyia trapidoi* (L) y *Lutzomyia trinidadensis* (M).

Para las zonas en las que se dividió el territorio cordobés, se presentan las abundancias, de mayor a menor, así: la zona del Alto Sinú con 51,79%, seguida de la zona Costera con 33,92% y la zona de Sabana con 14,27% (Figura 9 (A.)); manteniéndose el mismo patrón para la riqueza de especies por zona estudiada: la zona del Alto Sinú con 12 especies seguida de la zona de Costera con 10 y la zona de Sabana con 8 (Figura 9 (B.)).

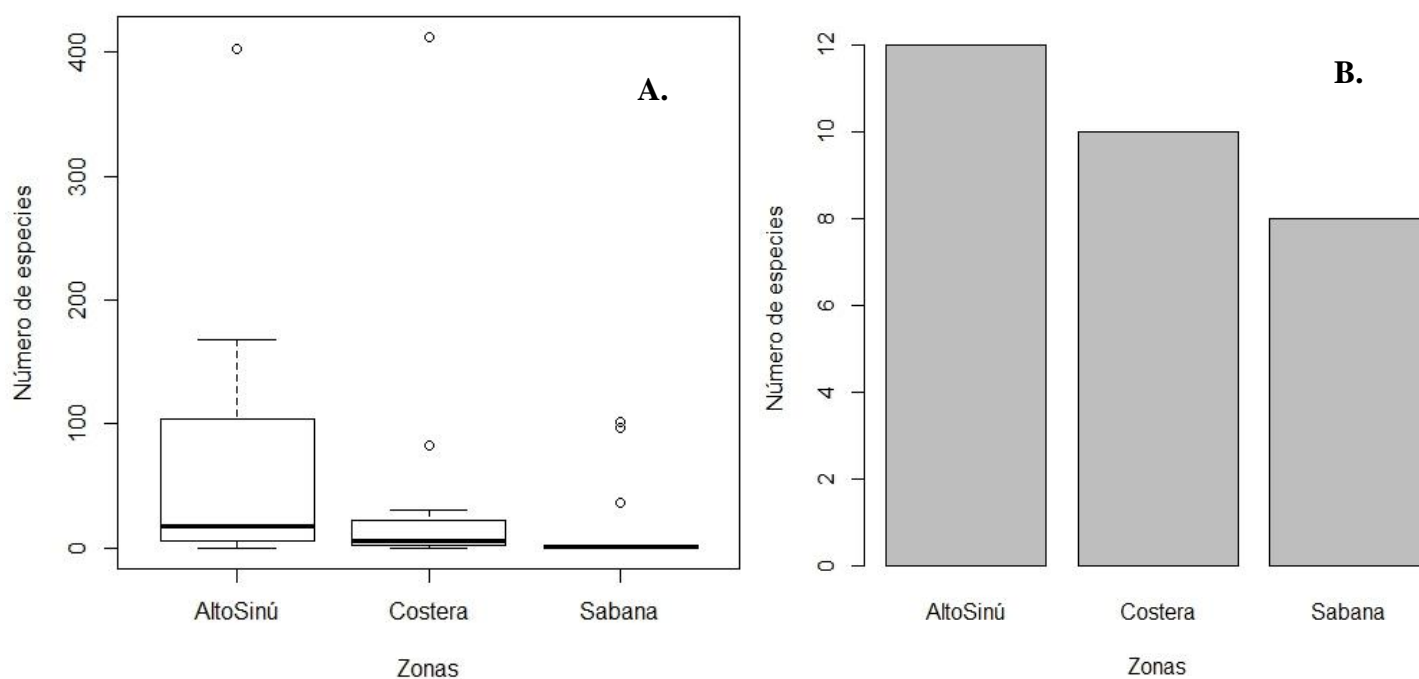


Figura 9 Diagrama de cajas de abundancias por cada zona muestreada en el departamento de Córdoba – Colombia (A.); Diagrama de barras de riqueza por cada zona muestreada en el departamento de Córdoba – Colombia (B.).

Para las localidades en las que fueron recolectadas las distintas especies del género *Lutzomyia*, se presenta a Calle Larga (CL) como la localidad con mayor abundancia representada en un 26,25% seguida de Tierradentro (Ti) con un 11,86%, en las zonas Costera y del Alto Sinú, respectivamente, y como la localidad con menor abundancia esta Los Córdoba (LC) con el 0,11% para la zona costera (Z-Cos) (Figura 10).

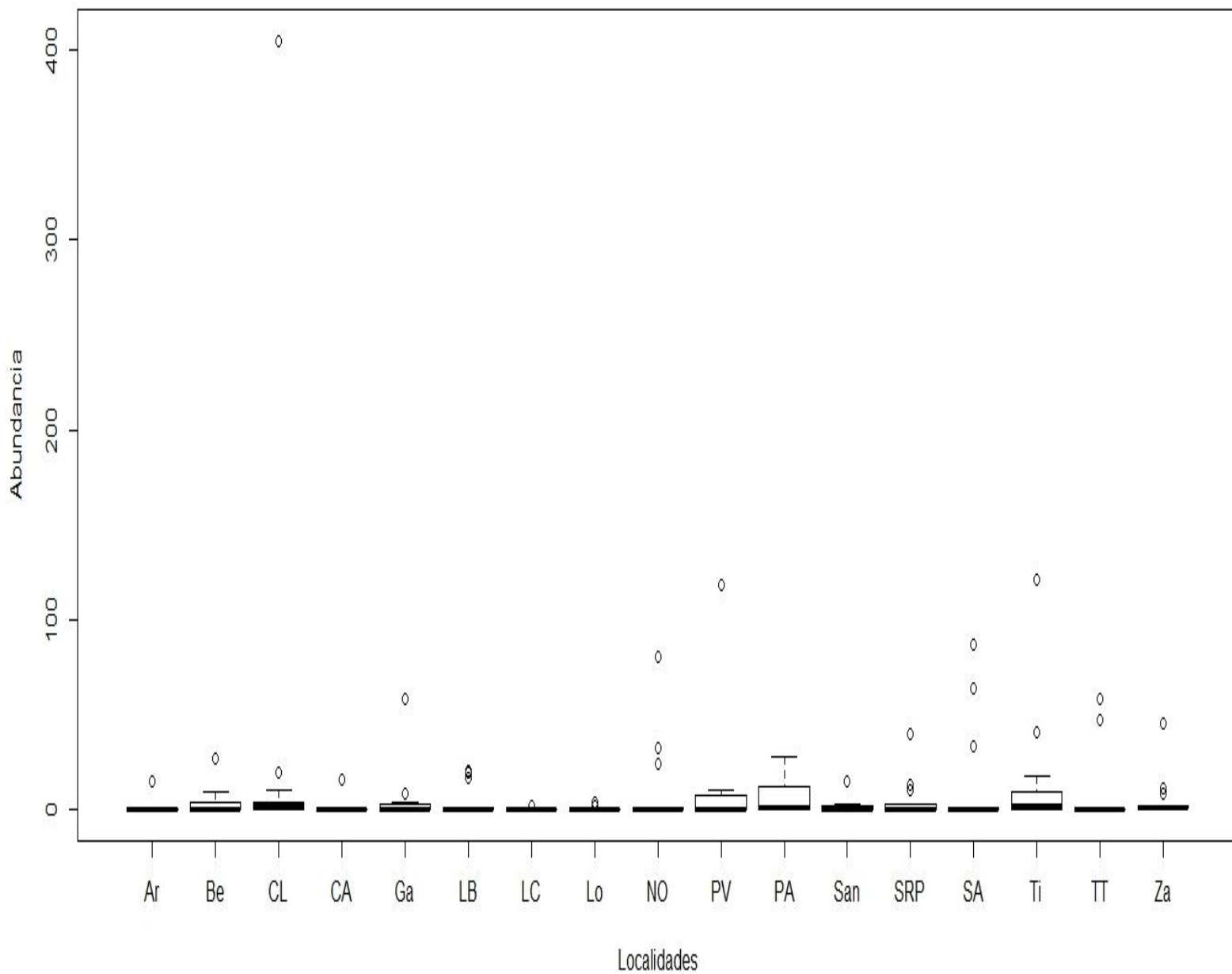


Figura 10 Diagrama de cajas de abundancias por cada localidad muestreada en el departamento de Córdoba – Colombia. Arenoso (Ar), Bellacohita (Be), Calle Larga (CL), Centro Alegre (CA), Galilea (Ga), La Bonga (LB), Los Córdoba (LC), Loveran (Lo), Nuevo Oriente (NO), Picapica Viejo (PV), Puerto Anchica (PA), San Andresito (San), San Rafael del Pirú (SRP), Santiago Abajo (SA), Tierradentro (Ti), Tuis-Tuis (TT) y Zaino (Za).

En términos de riqueza, la localidad con mayor número de especies es Zaino (Za) con 10 especies de las 13 reportadas, lo que equivale a un 76,92%, seguida de Puerto Anchica (PA) y Tierradentro (Ti) con 69,23% y 61,54% respectivamente, localidades pertenecientes a la zona del Alto Sinú, y como localidades con menor número de especies están con el 7,69% Arenoso (Ar), Centro Alegre (CA) y Los Córdoba (LC), donde las dos primeras pertenecen a la zona Sabana y la tercera hace parte de la zona costera (Figura 11).

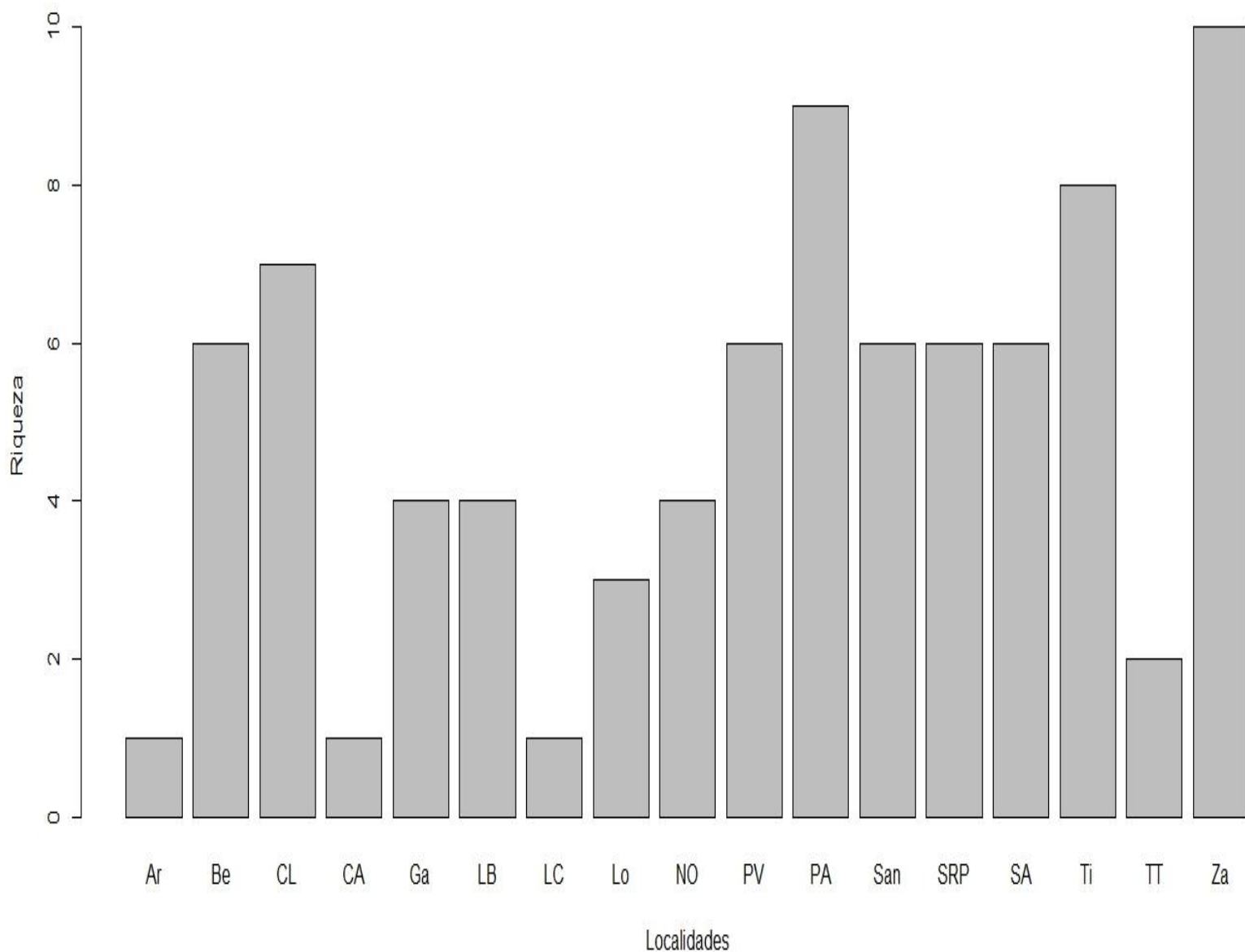


Figura 11 Diagrama de barras de riqueza por cada localidad muestreada en el departamento de Córdoba – Colombia. Arenoso (Ar), Bellacohita (Be), Calle Larga (CL), Centro Alegre (CA), Galilea (Ga), La Bonga (LB), Los Córdoba (LC), Loveran (Lo), (Nuevo Oriente (NO), Picapica Viejo (PV), Puerto Anchica (PA), San Andresito (San), San Rafael del Pirú (SRP), Santiago Abajo (SA), Tierradentro (Ti), Tuis-Tuis (TT) y Zaino (Za).

La curva de distribución de abundancia para el departamento de Córdoba – Colombia, mostró que las zonas estudiadas no comparten una especie en común en términos de abundancia, aunque la especie que mejor se distribuye entre las tres zonas es *Lutzomyia cayennensis* (Letra C) y la que se distribuye con menor abundancia es *Lu. atroclavata* (Letra A.). Para la zona del Alto Sinú la especie con mayor distribución de abundancia es *Lu. gomezi* (Letra G), seguida de *Lu. panamensis* (Letra I) y la especie que presenta la menor abundancia es *Lu. atroclavata* (Letra A.); mientras que, para la zona Costera, la especie con mayor distribución de abundancia es *Lu. evansi* (Letra F), seguida de *Lu. cayennensis* (Letra C) y las especies que presentan la menor abundancia son *Lu. gomezi* (Letra G) y *Lu. panamensis* (Letra I); por último, para la zona de Sabana *Lu. cayennensis* (Letra C) es la especie con mayor distribución de abundancia, seguida de *Lutzomyia gomezi* (Letra G), y las especies que presentan la menor abundancia son *Lu. rangeliana* (Letra J), *Lu. atroclavata* (Letra A) y *Lu. trapidoi* (Letra L), siendo esta última registrada solamente en esta zona, es decir, no está presente en las demás zonas, según lo reportada por este trabajo (Figura 12).

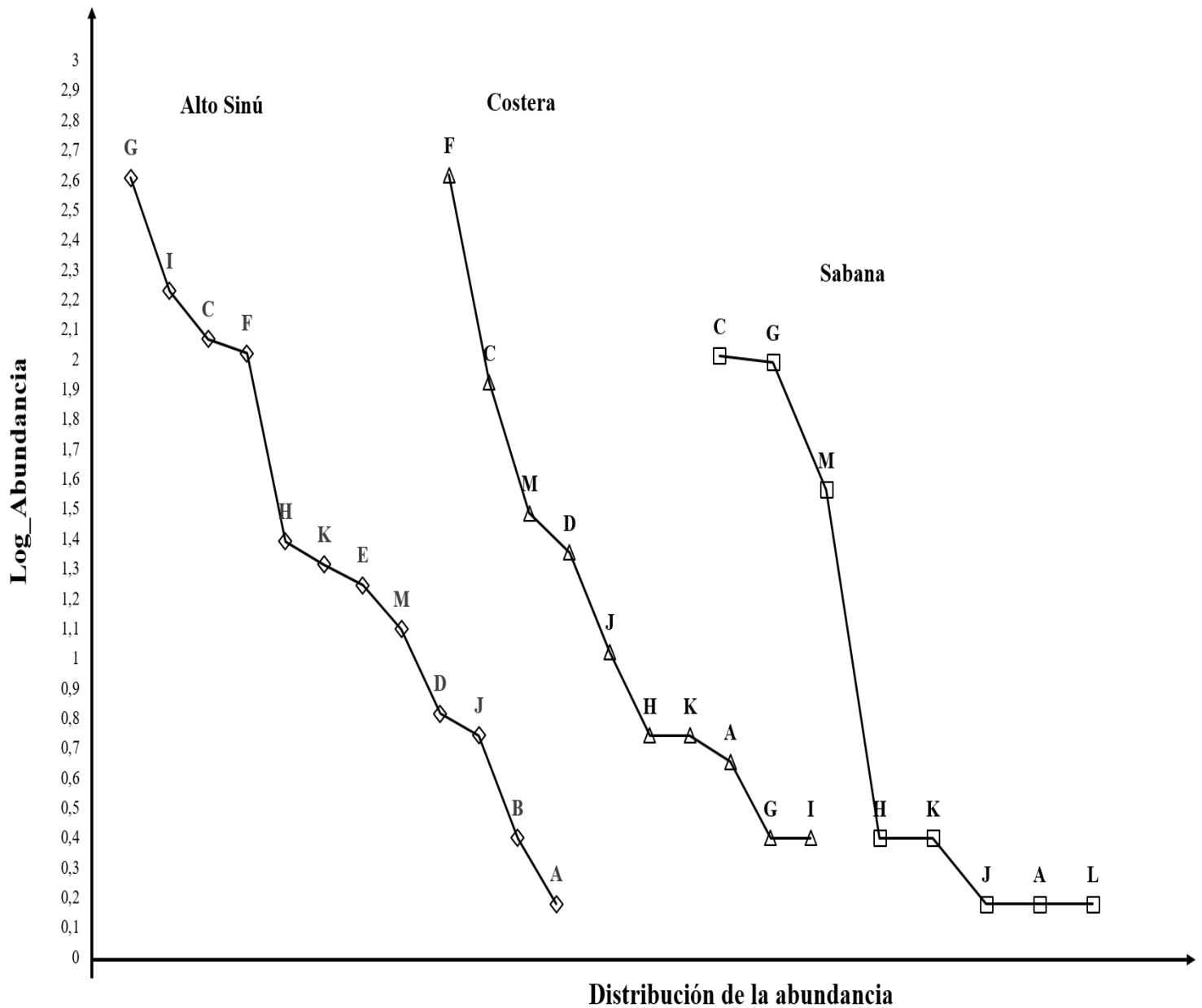


Figura 12 Curvas de distribución de abundancias de las especies de *Lutzomyia* en las zonas: costera, montañosa y de sabana del departamento de Córdoba – Colombia. *Lu. atroclavata* (A), *Lu. carpenteri* (B), *Lu. cayennensis* (C), *Lu. dubitans* (D), *Lu. dysponeta* (E), *Lu. evansi* (F), *Lu. gomezi* (G), *Lu. micropyga* (H), *Lu. panamensis* (I), *Lu. rangeli* (J), *Lu. shannoni* (K), *Lu. trapidoi* (L) y *Lu. trinidadensis* (M).

5.1.3. Curva de completitud

La completitud del muestreo, en términos generales, fue representativa para las tres zonas en estudio alcanzando el 99%, siendo así la zona Costera la más representativa con un 100%, seguida del Alto Sinú con el 99,89 % y con un 98,77% de completitud del muestreo se encuentra Sabana, resultados que apoyan un buen esfuerzo de muestreo y una buena recolección de datos, donde también se detalla un bajo número de especies, pero un alto número de individuos recolectados. El diagrama de barras que representa la riqueza obtenida por cada zona muestreada en su representación gráfica sobre la curva de estimación de riqueza, muestra al Alto Sinú y a Costera como las zonas de mayor riqueza de especies del género *Lutzomyia* para el departamento de Córdoba – Colombia (Figura 13).

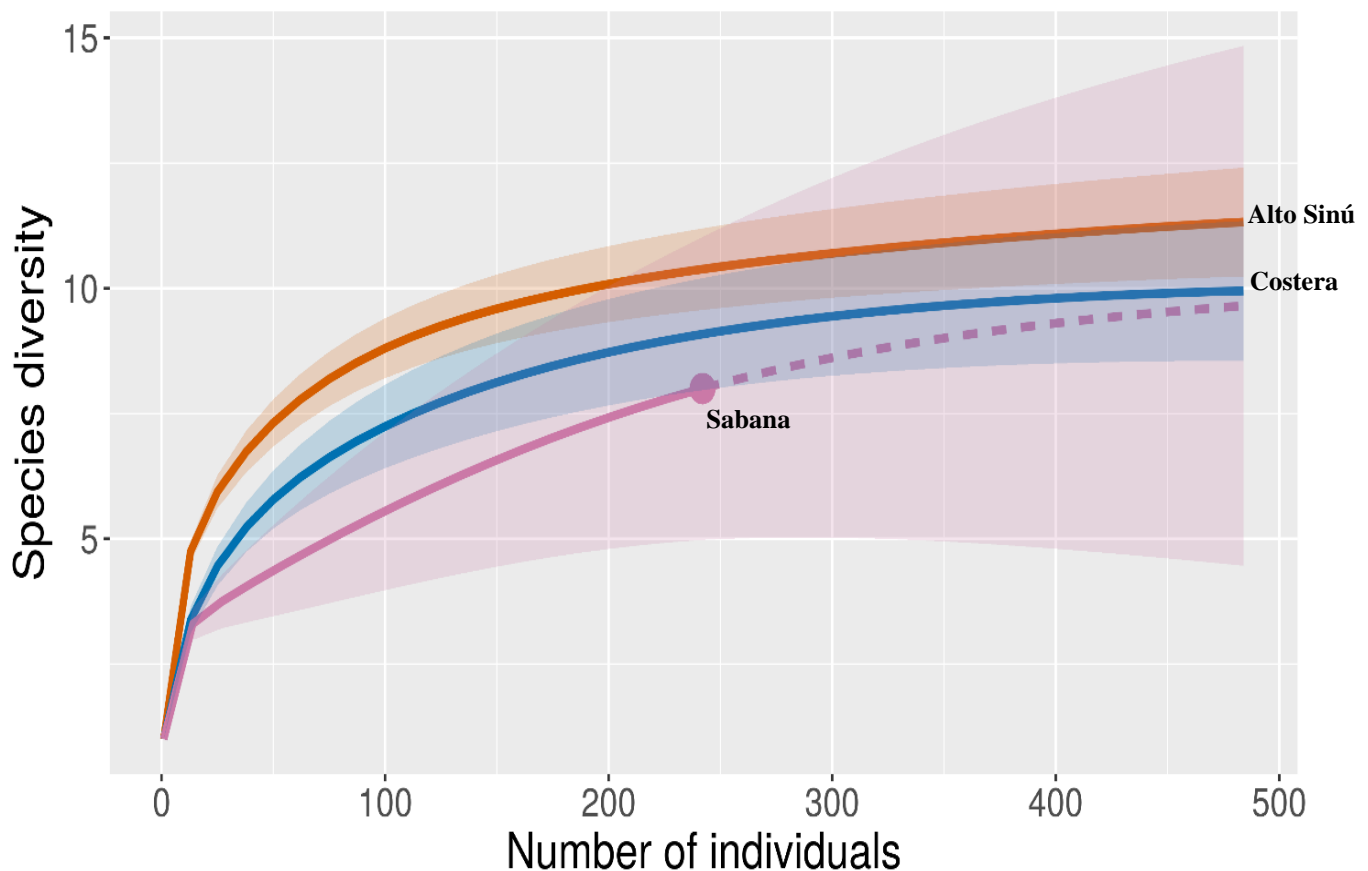


Figura 13 Curva de completitud para las tres zonas donde se recolectaron las diferentes especies del género *Lutzomyia*, mediante el método Chao y Jost 2012.

5.1.4. Diversidad del género *Lutzomyia*

5.1.4.1. Diversidad alfa (α)

Los órdenes de diversidad mostraron que, en 0D la zona que presentó mayor riqueza de especies fue la zona del Alto Sinú con un total de 12 especies efectivas, seguida de la zona de Costera con 10 y por último la zona de Sabana con 8 especies efectivas. En 1D , se observa que el Alto Sinú es la zona con mayor cantidad de especies comunes con 4,94, seguida de Sabana con un total de 3,19 y por último esta Costera con 2,78, es decir, la zona del Alto Sinú es 1,75 y 2,16 más diversa que Sabana y Costera, respectivamente; y para finalizar en 2D , respecto a la cantidad de especies abundantes, se muestra de mayor a menor el siguiente orden: Alto Sinú, Sabana y Costera con 3,56, 2,77 y 1,85 de especies efectivas, respectivamente (Figura 14).

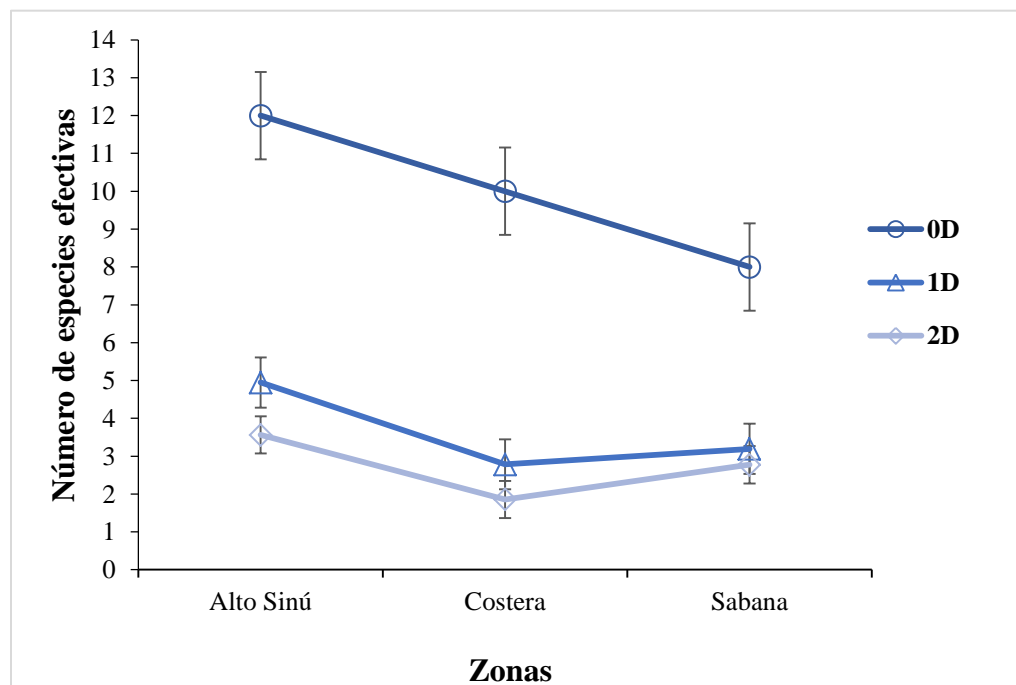


Figura 14 Perfiles de diversidad alfa (α) por zona geográfica donde se recolectaron las especies del género *Lutzomyia* en el departamento de Córdoba – Colombia. Diversidad de orden 0D ; diversidad de orden 1D ; diversidad de orden 2D .

5.1.5. Estructura del género *Lutzomyia*

5.1.5.1. Diversidad beta (β)

Las zonas que registran una mayor diversidad 0D es la zona de Sabana y del Alto Sinú con 1,3 especies efectivas, es decir, de las trece especies registradas, en el par de zonas se encuentran la totalidad de especies reportadas para este trabajo, exhibiendo un valor elevado en cuanto a recambio de especies; seguido de la zona de Costera y de Sabana con 1,22 especies efectivas, y por último, con 1,09 de especies efectivas están la zona del Alto Sinú y Costera, resultados que documentan la presencia de dos comunidades (Figura 15).

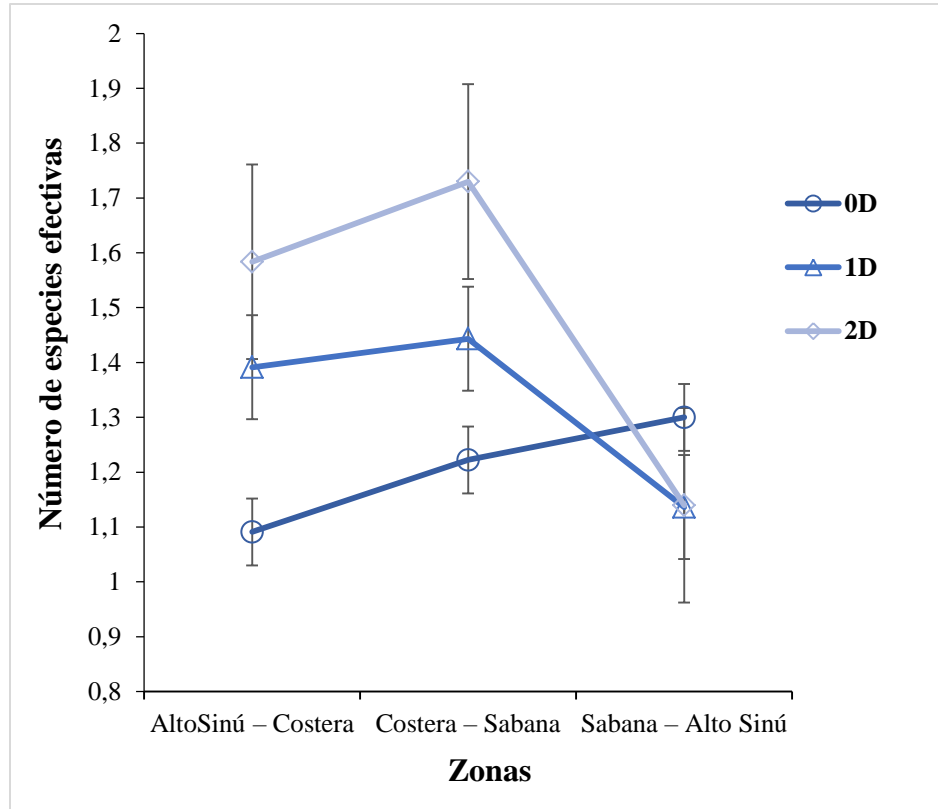


Figura 15 Perfiles de diversidad beta (β) comparando zonas geográficas donde fueron recolectadas las especies del género *Lutzomyia* en el departamento de Córdoba – Colombia. Diversidad de orden 0D; diversidad de orden 1D; diversidad de orden 2D.

El análisis de disimilaridad, por abundancia de especies, mediante el índice de Morisita, documenta la presencia de dos comunidades de *Lutzomyia* spp. con valores entre el 80 – 90%, asimismo las especies pertenecientes a la zona costera muestra una diferencia del 85% respecto a las demás zonas. Las zonas del Alto Sinú y de Sabana, evidencian una disimilitud del 20% debido a que *Lu. trapidoi* no se comparte entre ambas zonas (Figura 16).

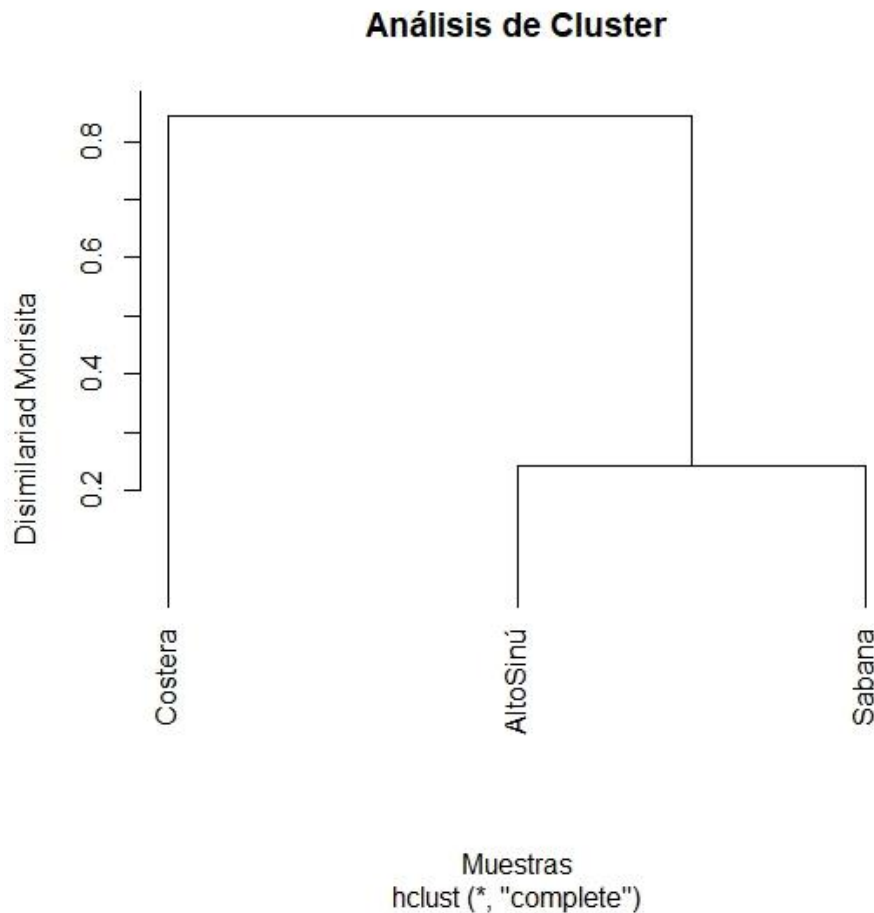


Figura 16 Clúster por zonas de la abundancia de especies del género *Lutzomyia* en el departamento de Córdoba – Colombia.

5.2. Relación de la diversidad y distribución de las especies del género *Lutzomyia* en los departamentos de Córdoba y Norte de Santander.

La curva de distribución de abundancia para el departamento de Norte de Santander mostró que los sitios estudiados comparten una especie en común en términos de abundancia, la cual es *Lutzomyia* (*Serie: townsendi*) spp. (Letra T). Para el Bosque Seco, la segunda y tercera especie con mayor distribución de abundancia es *Lu. evansi* (Letra F) y *Lu. ovallesi* (Letra P), y la especies de menor abundancia es *Lu. serrana* (Letra R); mientras que, para el Bosque de Transición, la segunda especie con mayor distribución de abundancia es *Lu. ovallesi* (Letra P), seguida de *Lu. spinicrassa* (Letra U), y la especie de menor abundancia es *Lu. pia* (Letra Q), este bioma alberga, con baja abundancia, a *Lu. dubitans* (Letra D) siendo la especie que no se comparte entre los tres biomas; por último, para el Bosque Subandino, la segunda especie con mayor distribución de abundancia es *Lu. ovallesi* (Letra P), seguida de *Lu. spinicrassa* (Letra U), y la especie con menor abundancia es *Lu. shannoni* (Letra K) (Figura 17).

La relación de especies entre los departamentos de Córdoba y Norte de Santander, evidenció que son pocas las especies que se comparten, entre ellas están: *Lutzomyia dubitans*, *Lu. evansi* y *Lu. shannoni* con claras diferencias entre las abundancias de cada especie, como se puede observar en las curvas de distribución de las abundancias (Figuras 13 y 17). También se documenta que para Norte de Santander se comparte una misma especie más abundante entre los tres tipos de bosques muestreados como lo es *Lutzomyia* (*Serie: townsendi*) spp., mientras que para Córdoba está *Lutzomyia cayennensis*, como la especie que se comparte entre las tres zonas con un rango de abundancia similar, pero siendo solamente la más abundante para la zona Costera.

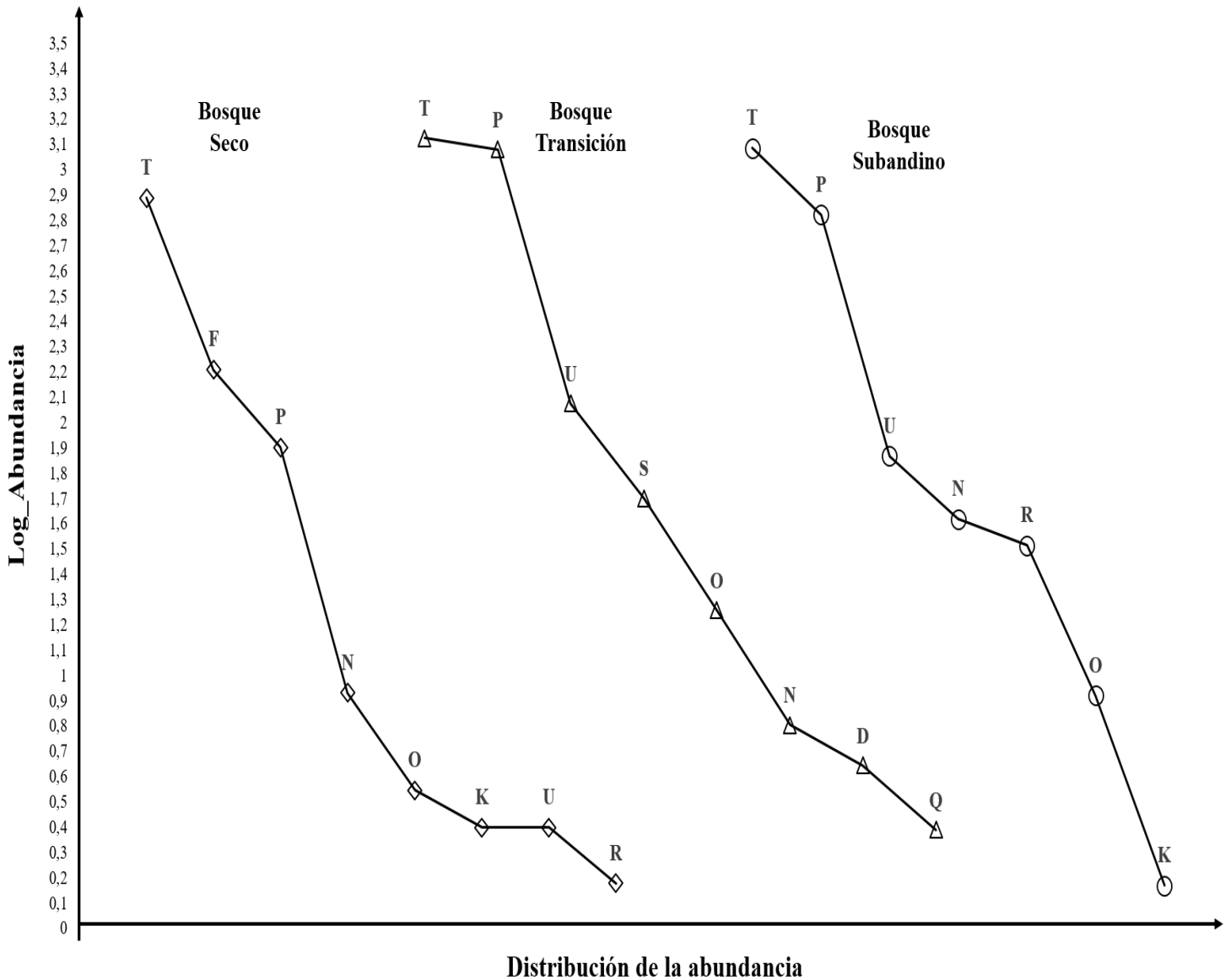


Figura 17 Curvas de distribución de abundancias de las especies de *Lutzomyia* en Bosque Seco, Bosque de Transición y Bosque Subandino en la cuenca del río Pamplonita en el departamento de Norte de Santander – Colombia. *Lu. dubitans* (D), *Lu. evansi* (F), *Lu. shannoni* (K), *Lu. hartmanni* (N), *Lu. nuneztovari* (O), *Lu. ovallesi* (P), *Lu. pia* (Q), *Lu. serrana* (R), *Lu. (serrana) spp.* (S), *Lu. (townsendi) spp.* (T) y *Lu. spinicrassa* (U).

Para ambos departamentos, la completitud se documenta alrededor del 100%, mostrando un buen esfuerzo de muestreo y una buena recolección de datos. Donde, el número de individuos recolectados varía al igual que el número de especies, dejando entrever que, las zonas de estudio del departamento de Córdoba, poseen mayor número de especies, pero con abundancias menores a las registradas en los tres biomas pertenecientes a la cuenca del río Pamplonita, del departamento de Norte de Santander.

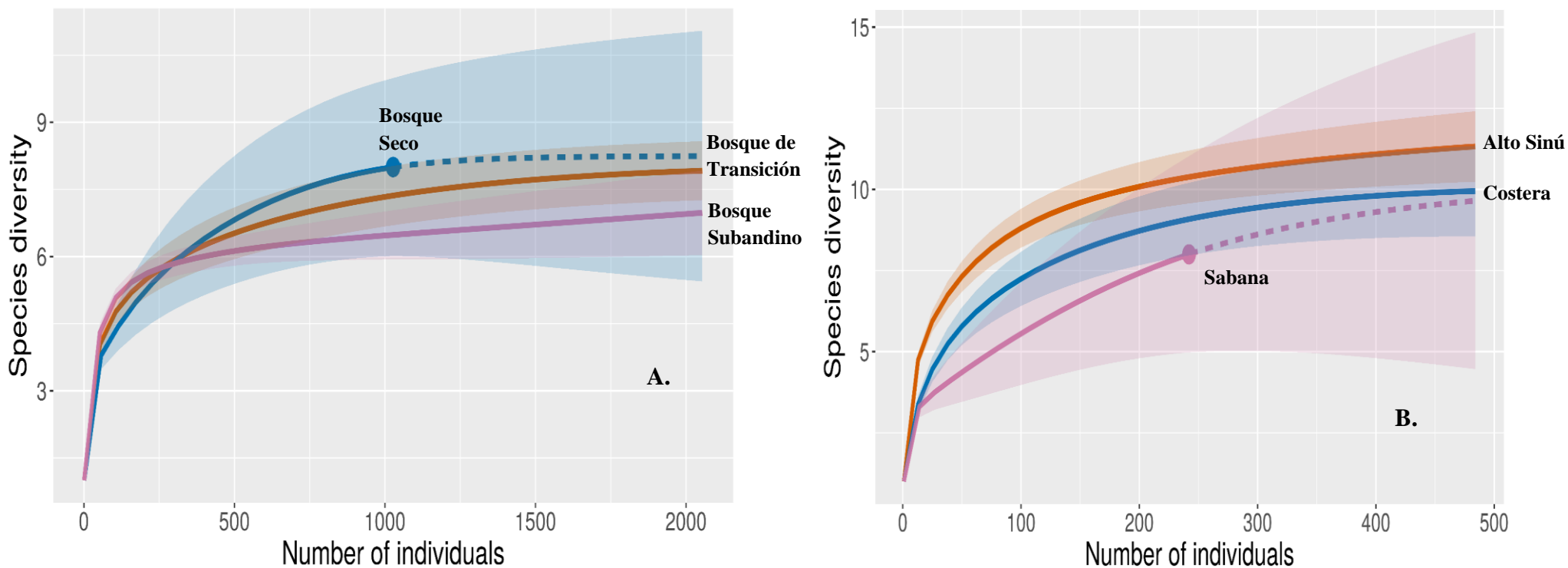


Figura 18 Curvas de completitud para los tres bosques asociados a la cuenca del río Pamplonita, del departamento de Norte de Santander (A); y para las tres zonas del departamento de Córdoba (B), donde se recolectaron las diferentes especies del género *Lutzomyia*, mediante el método Chao y Jost 2012.

Los datos de abundancia de cada especie para ambos departamentos se evaluaron inicialmente utilizando la prueba de Lilliefors, para la normalidad, obteniendo un p-valor de $6.692e-9$ para Córdoba y de $3.589e-12$ para Norte de Santander. Luego se realizaron las comparaciones de datos utilizando las pruebas paramétricas, prueba t de Student, con un p-valor de 0.301. Se determinó la correlación entre los departamentos de Córdoba y Norte de Santander con las abundancias de cada especie recolectada a partir del coeficiente de correlación de Pearson (r) con un valor de 0.5205, resultados que documentan que no hay diferencias significativas en la composición del género *Lutzomyia* entre ambos departamentos (Bolaños, 2015; Dantas-Torres et al., 2014).

5.3. Modelo espacial de distribución de especies del género *Lutzomyia*

El modelo espacial de distribución para ambos departamentos se definió a partir del uso de los datos pertenecientes a las especies más abundantes que se comparten entre Córdoba (Figura 19 (A.)) y Norte de Santander (Figura 19 (B.)), obteniendo *Lutzomyia evansi* un AUC (Área Bajo la Curva, por sus siglas en inglés) de 0,444 y 0,859, respectivamente. También la especie más abundante y que se distribuya entre los tres sitios muestreados de cada departamento, siendo así *Lutzomyia cayennensis* para Córdoba con un AUC de 0,531 (Figura 20 (A.)) y *Lutzomyia (Serie: townsendi) spp.* para Norte de Santander con un AUC de 0,837 (Figura 20 (B.)), especies que no se comparten entre ambos departamentos.

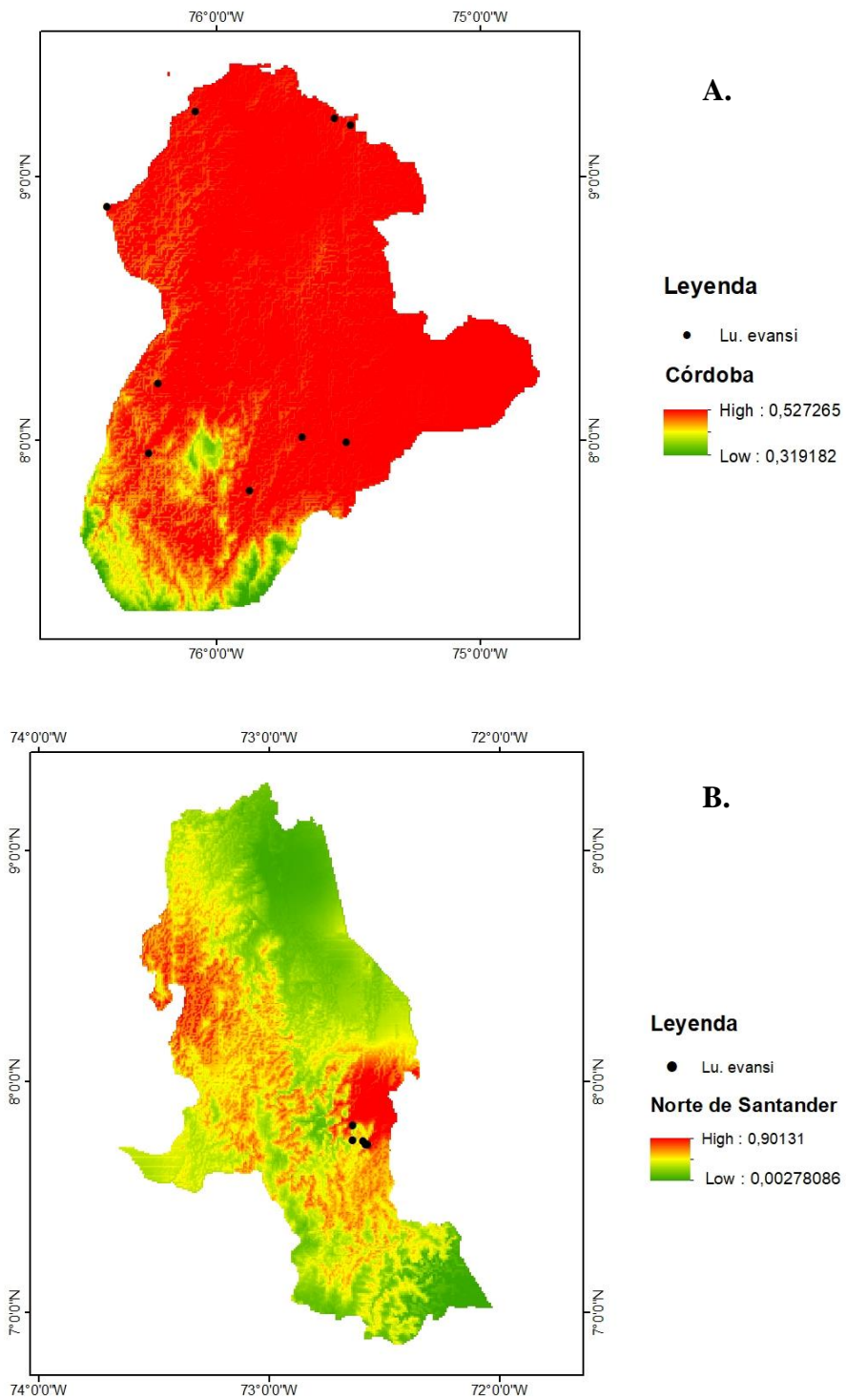


Figura 19 Modelo espacial de distribución de *Lutzomyia evansi* como especie que se comparte entre ambos departamentos. Córdoba – Colombia (A.); Norte de Santander – Colombia (B.).

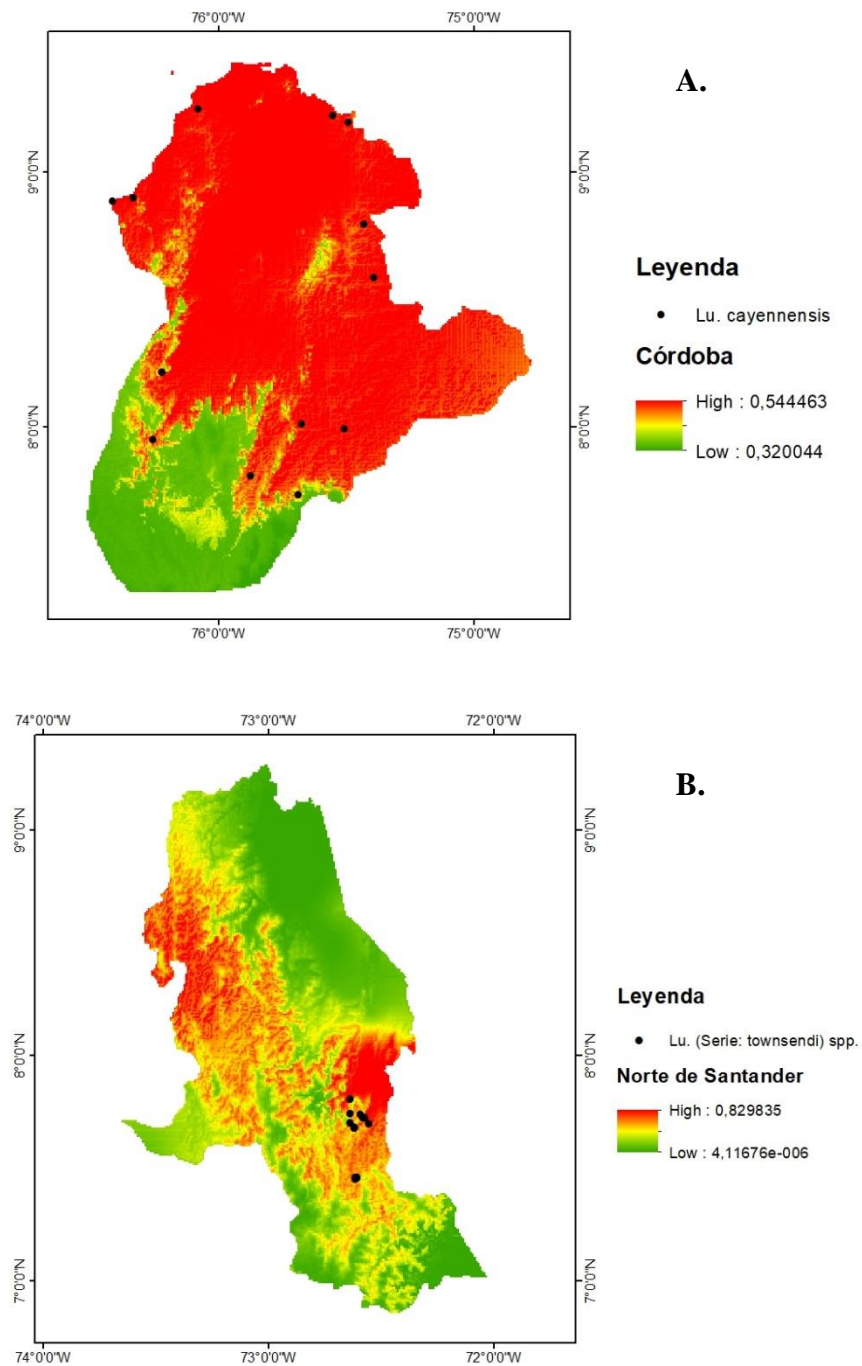
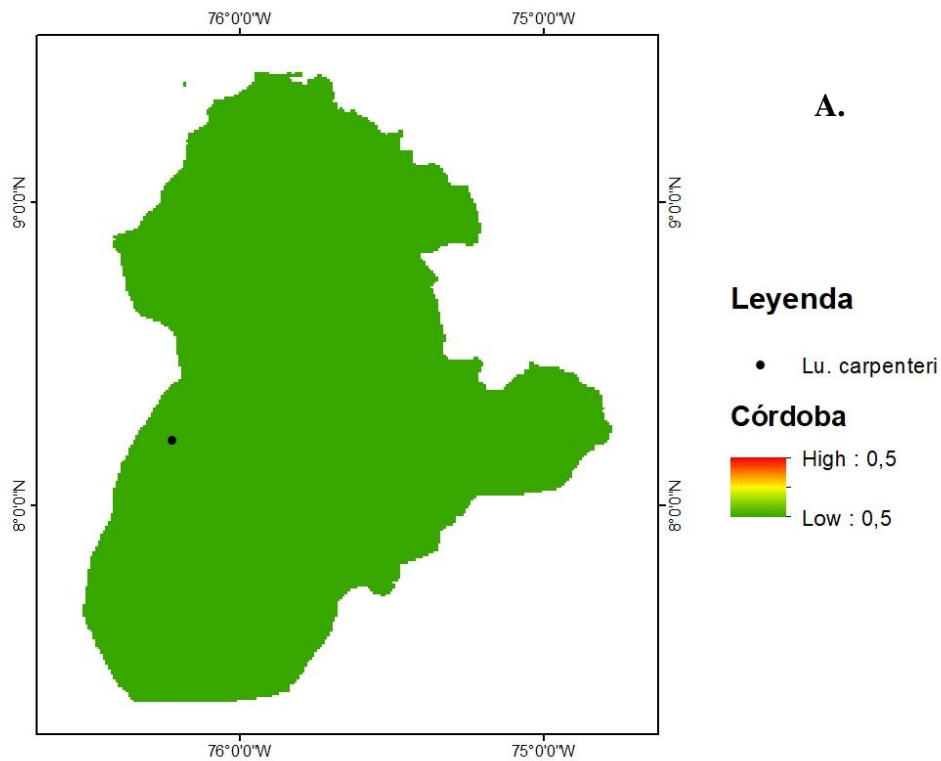


Figura 20 Modelo espacial de distribución de las especies que se comparten entre todos los sitios de muestreo de cada departamento. *Lutzomyia cayennensis*, Córdoba – Colombia (A.); *Lutzomyia (Serie: townsendi) spp.*, Norte de Santander – Colombia (B.).

El modelo espacial de distribución para el departamento de Córdoba usando los datos de las especies que no se comparten entre las tres zonas geográficas y que por ende tienen la menor abundancia son, *Lutzomyia carpenteri* la cual está asociada solo a la zona montañosa, y *Lutzomyia trapidoi* se registra solo para la zona de sabana, ambas con un AUC de 0,5 (Figura 21).



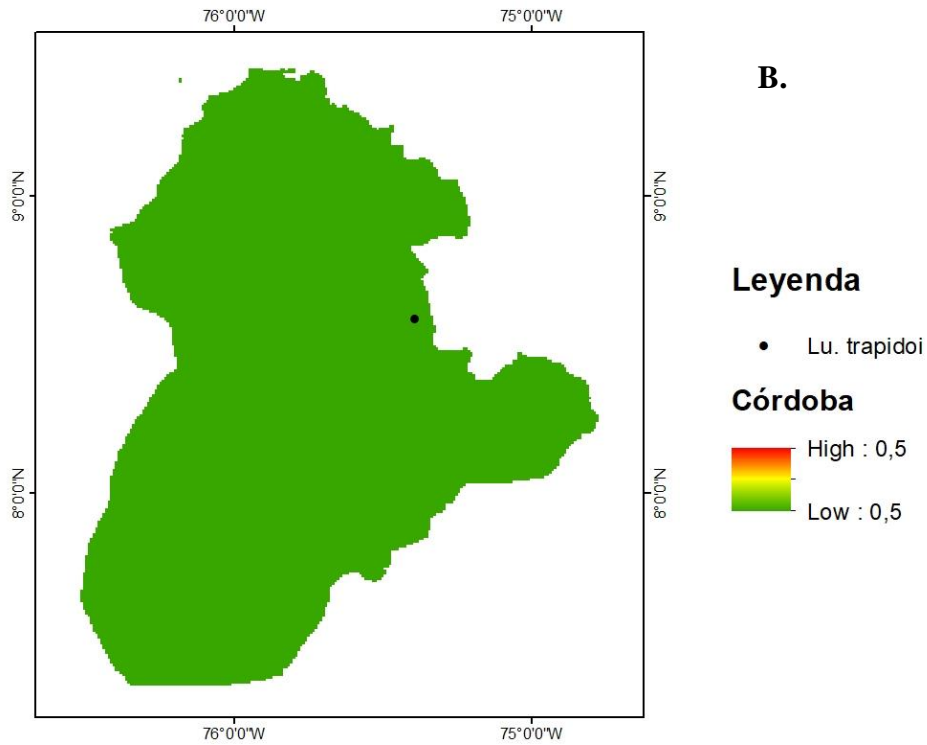


Figura 21 Modelo espacial de distribución de las especies que no se comparten entre las tres zonas geográficas del departamento de Córdoba – Colombia. *Lutzomyia carpenteri* (A.); *Lutzomyia trapidoi* (B.).

El modelo espacial de distribución para el departamento de Norte de Santander usando los datos de las especies que no se comparten entre los tres tipos de bosque asociados a la cuenca del río Pamplonita y que por ende tienen la menor abundancia son, *Lutzomyia shannoni* la cual se registra para Bosque Seco y Subandino por el contrario, *Lutzomyia pia* está presente solo en bosque de transición, con un AUC de 0,850 y 0,5, respectivamente (Figura 22).

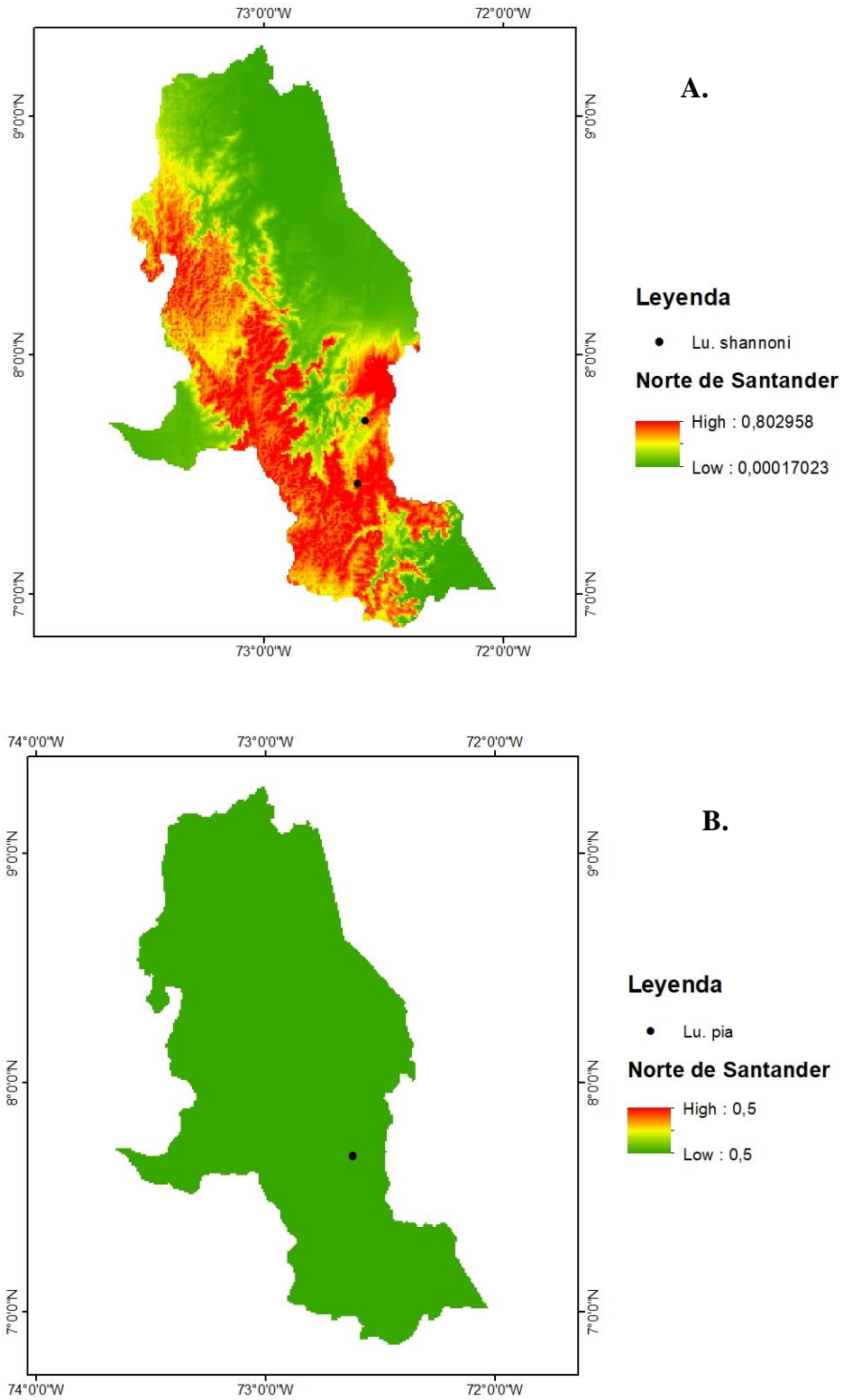


Figura 22 Modelo espacial de distribución de las especies que no se comparten entre los tres tipos de bosque muestreados en la cuenca del río Pamplonita, de Norte de Santander – Colombia.

6. Discusión

6.1. Diversidad y estructura del género *Lutzomyia* spp. en el departamento de Córdoba.

6.1.1. Diversidad del género *Lutzomyia*

En este estudio, en términos de riqueza de especies del género *Lutzomyia*, se registran 13 de las 18 reportadas en los estudios realizados en el 2015 y en el 2017, por Bejarano y Vivero *et al.*, respectivamente (E. Bejarano & Estrada, 2015; R. J. Vivero *et al.*, 2017). Las 13 especies reportadas en este estudio cuentan con antecedentes como potenciales vectores de Leishmaniasis (Hoyos-López, Vivero-Gómez, Contreras-Gutiérrez, *et al.*, 2013) para el departamento de Córdoba, siendo la más abundante *Lutzomyia evansi*, que es el principal vector para la región caribe (Feliciangeli, Rodríguez, Z, & Rodríguez, 1999) (E. Bejarano *et al.*, 2002), posee actividad antropofílica y se reporta como vector de *Leishmania infantum*, haciéndolo el segundo vector del agente etiológico de Leishmaniasis Visceral para las américas, seguido de *Lutzomyia longipalpis* (Instituto Nacional de Salud, 2010), llamando la atención que en este estudio, no se registra la presencia de *Lutzomyia longipalpis*, pero si se encuentra registrada para el territorio cordobés (E. Bejarano, 2006; E. Bejarano & Estrada, 2015); seguida de *Lutzomyia gomezi*, la cual posee actividad antropofílica y se ha reportado como vector de *Leishmania panamensis*, *Le. braziliensis* y *Le. colombiensis* (E. Bejarano, 2006; Sandoval, Gutiérrez, Cárdenas, & Ferro, 2006; R. J. Vivero *et al.*, 2017) que son agentes etiológicos de Leishmaniasis Cutánea y Mucocutánea,.

La zona geográfica con mayor abundancia y riqueza de *Lutzomyia* es la zona del Alto Sinú, donde se agrupan los municipios de Montelibano, Puerto Libertador, Tierralta y Valencia,

debido a que en estos sitios se presentan relictos del levantamiento de los Andes, en la cordillera occidental, con predominancia de bosque húmedo tropical (Bh – T) y que Montelibano, Puerto Libertador y Tierralta junto a algunos municipios del departamento de Antioquia conforman los asentamientos del Parque Nacional Natural de Paramillo (Neira Jiménez & Neusa Gonzalez, 2016). Seguido de la zona costera, la cual se encuentra en zona fronteriza con el mar caribe, está integrada por los municipios de Los Córdoba, Moñitos, San Andrés de Sotavento y Tuchín, siendo este último foco de infección para Leishmaniasis Visceral y Cutánea. La zona que presenta menor abundancia y riqueza es la Sabana, la cual está conformada para este estudio con los municipios de Sahagún y Planeta Rica, los cuales están ubicados en la llanura del caribe en frontera con el departamento de Sucre, que en conjunto con Bolívar y Córdoba conforman una zona biogeográfica denominada Los Montes de María que son foco de infección para leishmaniasis visceral (Cochero et al., 2007; Toro-Cantillo et al., 2017).

Las localidades en comparación a como se posicionan las zonas geográficas varían, ya que Calle Larga (CL) es la más abundante, estando ubicada en San Andrés de Sotavento municipio que integra la zona costera, resultado que es fiable al hecho de ser un municipio foco de infección donde, de su población total el 90% es indígena y que desde el 2006 al 2015 es el municipio número uno con 22 casos reportados para leishmaniasis visceral en el departamento de Córdoba (Tovar A & Yasnot A, 2017). La localidad con mayor riqueza es Zaino perteneciente al municipio de Valencia que conforma la zona del Alto Sinú, resultado que concuerda con lo concluido por Vivero *et al.*, ya que ellos concluyen que Valencia y Tierralta son municipios que albergan un gran número de especies (R. J. Vivero et al., 2017).

Localidades como Los Córdoba (LC) y Galilea (Ga), Arenoso (Ar) y Centro Alegre (CA) pertenecientes a los municipios de Los Córdoba y Planeta Rica, que conforman la zona

Costera y de Sabana, respectivamente, muestran sus primeros reportes en este trabajo, donde su posición geográfica y los municipios con los que son frontera, generan una diseminación de los potenciales vectores y por ende, un aumento en el riesgo de infección con algún tipo de Leishmaniasis (Hoyos-López, Vivero-Gómez, Contreras-Gutiérrez, & Soto, 2013) en estos municipios poco estudiados. En este estudio, se registra la presencia de *Lutzomyia cayennensis* para la localidad de Los Córdoba (LC), *Lu. gomezi* para las localidades de Arenoso (Ar) y Centro Alegre (CA), y para Galilea se presentan de mayor a menor abundancia: *Lu. cayennensis*, *Lu. rangeliana*, *Lu. evansi* y *Lu. dubitans*.

6.1.2. Diversidad por zonas

La riqueza específica 0D muestra que la zona del Alto Sinú presenta 12 especies de las 13 totales reportadas en este estudio, seguido de la zona de costera con 10 especies y por último la zona de sabana con 8 especies, lo que indica que los relictos de la cordillera occidental donde predomina el bosque húmedo tropical (Bh – T) están influyendo en términos de mayor riqueza específica, en comparación a la zona costera que se encuentra alrededor de 50 msnm o menos. El exponencial de la entropía del índice de Shannon 1D , muestra que la mayor diversidad la posee la zona Alto Sinú, seguida de la zona sabana y la menos diversa es la zona costera, y que el inverso del índice de Simpson 2D muestra el mismo patrón de orden, de diversidad 1 (1D), lo que indica que zonas con altitudes más bajas son menos diversas (Bolaños, 2015) porque, basado en comparaciones estadísticas, la zona del Alto Sinú con un 1,75, es más diversa que Sabana y prácticamente es el doble de diversa que Costera, con un 2,16 mientras que Sabana, en comparación con la zona Costera, es 0,41 más diversa (L. Jost, 2006, 2007; Moreno et al., 2011).

6.1.3. Diversidad entre zonas

En este estudio, las zonas con mayores valores en los diferentes órdenes de diversidad 0D , 1D y 2D , dejan ver la presencia de dos comunidades claramente marcadas: una asociada a alturas sobre el nivel del mar, por debajo de 50 msnm, como lo es la zona Costera, y por otro lado, están agrupadas en una misma comunidad, las zonas del Alto Sinú y de Sabana, donde predomina el bosque húmedo tropical (Bh-T) y parte de la llanura del caribe pertenecientes al territorio cordobés, respectivamente. Las diferencias que demarcan las dos comunidades, se basan en la ubicación geográfica de las zonas, puesto que la abundancia y riqueza de las especies, se ven alteradas (Maciel-Mata, Manríquez-Morán, Octavio-Aguilar, & Sánchez-Rojas, 2015) y en este estudio, se denota una zona que está delimitada por el mar y otras dos zonas asociadas a la llanura del caribe, la cual ocupa la mayor parte del territorio cordobés.

6.2. Relación de la diversidad y distribución de las especies del género *Lutzomyia* en los departamentos de Córdoba y Norte de Santander.

En este estudio se documenta diferencias claras entre la diversidad y la distribución de los potenciales vectores de Leishmaniasis. Para Córdoba, la especie que refleja mayor abundancia es *Lutzomyia gomezi* la cual domina en la zona del Alto Sinú, con presencia significativa en la zona de Sabana y en menor proporción, se registra en este estudio para la zona Costera debido a que tiene preferencia por los claros boscosos y no en el dosel (M. Contreras-Gutiérrez, 2013a), esta especie no registra datos en el estudio en los tres biomas asociados a la cuenca del río Pamplonita, realizado por Bolaños (2015), el cual reporta como especie con mayor abundancia a *Lutzomyia* (*Serie: townsendi*) spp., que pertenece al grupo Verrucarum (Theodor, 1965), y posee antecedentes epidemiológicos en la transmisión del agente causal de la forma cutánea de Leishmaniasis (E. Bejarano, Rojas, Uribe, & Vélez, 2003), además mostró ser la más abundante en los tres tipos de bosques asociados a la cuenca del río Pamplonita, presentando rangos de

distribución amplios (Bolaños, 2015) y al estar ubicado en zona andina, al nororiente colombiano, atravesado por la cordillera oriental, la diversidad es mayor (N. Rodríguez, Armenteras, Morales, & Romero, 2006), refiriéndose a albergar gran cantidad de reservorios de esta patología, pero *Lu. gomezi* si está registrada para el departamento de Norte de Santander (E. Bejarano, 2006; E. Bejarano & Estrada, 2015). Se comparten solo tres especies de los 13 y 11 totales, para Córdoba y Norte de Santander, respectivamente, las cuales son: *Lutzomyia dubitans*, *Lu. evansi* y *Lu. shannoni*.

Para Norte de Santander, se reporta a *Lu. evansi* como la segunda especie más abundante para el bosque seco, que en relación con lo registrado en este trabajo para Córdoba se tiene que, *Lu. evansi* se asocia a rangos altitudinales bajos debido a su dominancia en sitios planos como la zona de Costera, pero su abundancia disminuye en zonas del Alto Sinú y de Sabana, dando un estimado de su sola asociación a sitios de baja montaña como lo es, el bosque Seco (González et al., 2018, 2006; Gregory et al., 2003). En el caso de *Lu. dubitans*, presenta registros en bosque de transición, mientras que para Córdoba se distribuye entre las zonas del Alto Sinú y Costera, pero en ambos departamentos es baja su abundancia. Para *Lu. shannoni*, se encuentra asociada a bosque Seco y bosque Subandino, siendo en este último, la especie que presenta menor abundancia y que es perteneciente a las especies poco comunes; por el contrario, para las tres zonas cordobesas se distribuye en todas, con abundancias considerablemente bajas, siendo su dominancia más alta en zona del Alto Sinú y más baja en zona de Sabana (Bolaños, 2015; Hoyos-López et al., 2016), donde, para Norte de Santander debería presentarse con mayor abundancia, puesto que, posee mayor diversidad de posibles reservorios y *Lu. shannoni* tiene una amplia gama de preferencias de alimentación (Young & Duncan, 1994) y se considera un vector

potencial de LV (M. Contreras-Gutiérrez, Vélez, Porter, & Uribe, 2014b; R. J. Vivero et al., 2017).

Las especies con menor abundancia y que se comparten entre los tres sitios muestreados en cada departamento, son diferentes. Para Córdoba, está *Lu. atroclavata* y *Lu. nuneztovari*, que es considerada antropofílica, para Norte de Santander. La primera, documenta estar entre las especies de más baja abundancia para la zona del Alto Sinú y para la zona de Sabana, en esta última junto a *Lu. trapidoi* siendo así, la zona Costera donde presenta su mayor abundancia, además es antropofílica y exofílica (Young & Duncan, 1994), lo que concuerda con lo registrado por Vivero et al., (2107) en la misma localidad de Tuis – Tuis, con abundancia baja (R. J. Vivero et al., 2017). La segunda, posee abundancias similares bajas, donde su mayor dominancia se ve reflejada en el Bosque de Transición, de los tres bosques asociados a la cuenca del río Pamplonita (Bolaños, 2015).

Entre las especies reportadas para Córdoba (20) y Norte de Santander (37), se comparten 11, entre las cuales están: *Lu. atroclavata*, *Lu. cayennensis*, *Lu. dubitans*, *Lu. evansi*, *Lu. gomezi*, *Lu. longipalpis*, *Lu. micropyga*, *Lu. panamensis*, *Lu. shannoni*, *Lu. trinidadensis* y *Lu. serrana*. Para este estudio, se registran tres especies que se comparten entre ambos departamentos: *Lutzomyia dubitans*, *Lu. evansi* y *Lu. shannoni* resultados que concuerdan con lo reportado en los listados de flebotomíneos y diferentes estudios realizados en ambos departamentos (E. Bejarano, 2006; E. Bejarano & Estrada, 2015; Hoyos-López et al., 2016; R. J. Vivero et al., 2017).

La correlación de Pearson con un valor de 0.5205, mostró un grado de asociación lineal mediano y positivo entre las abundancias de cada especie para ambos departamentos.

6.3. Modelo espacial de distribución de las especies del género *Lutzomyia*

La modelación de la distribución de la especie *Lutzomyia evansi*, es de gran importancia médica, debido a que está presente en ambos departamentos, que es antropofílica (M. Contreras-Gutiérrez et al., 2014b; Young & Duncan, 1994) y que se reporta como el segundo vector a nivel de las Américas, siendo así el principal para la región Caribe colombiana, del agente etiológico de la Leishmaniasis Visceral (L.V.) como es *Leishmania infantum* (Instituto Nacional de Salud, 2010), además Bolaños reporta su asociación a bosques conservados y, su adaptabilidad a sitios peri e intra-domiciliarios y a ambientes modificados por el hombre debido a su actividad antropofílica (Bolaños, 2015). La ausencia de *Lu. evansi* en la localidad de Tuis – Tuis, concuerda con lo reportado por Vivero et al., (2017), aunque en este estudio se registra su presencia, en localidades pertenecientes a los municipios de Valencia y Tierralta, en el departamento de Córdoba.

Para Córdoba, se reportan dos especies con abundancias bajas y que no se comparten entre las tres zonas, las cuales son: *Lu. carpenteri* y *Lu. trapidoi*, esta última se considera vector potencial de *Le. panamensis*, resultado que concuerda con lo reportado por Vivero et al., (2017) para los municipios de Valencia y Tierralta, aunque para la localidad de Zaino, en Valencia, se registra en este estudio a *Lu. carpenteri*. Para Norte de Santander, *Lu. pia* es antropofílica (Young & Duncan, 1994), se reporta como la especie que menos se comparte, entre los tres biomas pertenecientes a la cuenca del río Pamplonita, con abundancia baja, lo cual coincide con lo registrado por Alexander y Young (1992) (Bruce Alexander & Young, 1992), y por el contrario se reporta como la especie predominante en el estudio de Contreras-Gutiérrez (2013) realizado en zonas cafeteras de la región andina colombiana (M. Contreras-Gutiérrez, 2013a).

El análisis de los modelos espaciales de distribución de las especies registradas para cada departamento se hace relevante debido a que permiten conocer su asociación a los diferentes

sistemas boscosos, y su relación con variables climáticas, como son la altitud, la temperatura y la precipitación, las cuales, juegan un rol importante en el ciclo de vida de las especies del género *Lutzomyia*. Estas variables ambientales, se encuentran directamente alteradas ante el fenómeno ambiental llamado cambio climático, que ante el calentamiento global, se ve favorecida la proliferación de las especies del género *Lutzomyia*, puesto que su hábitat natural se ha asociado con sitios de temperatura relativamente alta y/o muy alta, lo que hace necesario estudios sobre la distribución de estas especies que poseen potencial vectorial de los agentes etiológicos de los tipos clínicos de Leishmaniasis (LC – LMC – LV), complementados en la implementación de más variables climáticas y la relacionando más departamentos, en los cuales se amplié más los puntos de recolecta.

En este estudio, los resultados obtenidos reflejan la distribución, bajo un modelo espacial, de las especies del género *Lutzomyia* para los departamentos de Córdoba y Norte de Santander, teniendo claro que la presencia de estas especies, con antecedentes vectoriales de Leishmaniasis (Hoyos-López, Vivero-Gómez, Contreras-Gutiérrez, et al., 2013) hacen de los puntos de recolecta registrados en este trabajo, posibles zonas activas para esta parasitosis, sumado a esto, municipios como Bochalema en Norte de Santander, y Moñitos, Sahagún, San Andrés de Sotavento y Tierralta en Córdoba, son considerados focos de infección de Leishmaniasis.

7. Conclusiones

- Las tres zonas geográficas del departamento de Córdoba albergan 13 especies del género *Lutzomyia*, de las 18 en total registradas con antecedentes vectoriales, para esta zona del caribe colombiano. En los biomas pertenecientes a la cuenca del río Pamplonita, en Norte de Santander, se reportan 11 de las 37 especies descritas, para este departamento perteneciente a la región andina. Información que revela la necesidad de realizar más estudios sobre diversidad del género *Lutzomyia*, para dar una información más detallada sobre las interacciones entre especies y su asociación con las coberturas vegetales de cada departamento y entre los mismos.
- Las diferencias que existen en las áreas estudiadas, entre los departamentos de Córdoba y Norte de Santander, soportan que, las especies registradas en N. de S. posean mayor número de individuos, en relación al territorio cordobés, donde predominan las zonas bajas (Bs – T).
- Relacionar áreas con distintas alturas, documenta como las especies que se comparten entre ambos departamentos, tienen una mayor adaptabilidad a áreas con claras diferencias geográficas. Además, son de hábito antropofílico, con antecedentes vectoriales, como lo es *Lutzomyia evansi*. Alertando así, que se deben ejecutar estrategias de control y prevención.
- La implementación de variables bioclimáticas en el estudio de vectores, se hace relevante, ante la aplicación de modelos espaciales de distribución de especies, debido a que la altitud, la temperatura y la precipitación están altamente relacionadas con el ciclo de vida de las especies del género *Lutzomyia*, y en general con vectores de los agentes

etiológicos de diversas enfermedades tropicales. Donde, la realización de trabajos que aporten nuevos registros geográficos, con mayor esfuerzo de muestro, brindarán un modelo con mayor robustez en sus resultados, que ante el inminente cambio climático, proporcionará información sobre su rango de distribución, el cual se puede ver modificado, tanto positiva como negativamente.

8. Recomendaciones

La continuidad en la realización de estudios sobre inventarios de la entomofauna de importancia médica es imperiosa debido a que, permiten incrementar, confirmar y complementar la información de tipo epidemiológico de los distintos departamentos en el área de la entomología médica, para el conocimiento del estado actual de la diversidad y para la implementación de estrategias de control en cada departamento.

Ante el actual cambio climático y calentamiento global, el conocimiento de la distribución de estas especies, con antecedentes vectoriales, se hace prioritario. Por ende, se recomienda, el fortalecimiento de los muestreos de flebotomíneos en los departamentos y la implementación de modelos espaciales de distribución, que permitan enriquecer los modelos existentes.

9. Referencias bibliográficas

- Alexander, B. (2000). Sampling methods for phlebotomine sand flies. *Medical and Veterinary Entomology*, *14*, 109–122.
- Alexander, B., & Young, D. G. (1992). Dispersal of phlebotomine sand flies (Diptera: Psychodidae) in a Columbian focus of *Leishmania (Viannia) braziliensis*. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*.
- Ashford, R. (2000). The leishmaniasis as emerging and reemerging zoonoses. *International Journal for Parasitology*, *30*(12–13), 1269–1281. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(00\)00136-3](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(00)00136-3)
- Baena-Pacheco, Y. (2013). *Geodistribución de especies de Leishmania sp. en Colombia*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Basáñez, M., & Rodríguez, D. (2004). Transmission dynamics and mathematical models in vector transmitted diseases. *Entomotropica*, *19*(3), 113–134. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-45349083650&partnerID=40&md5=b6823fcd7650a9c55d0e413d16a93742>
- Bejarano, E. (2006). Lista actualizada de los psicódidos (Diptera: Psychodidae) de Colombia. *Folia Entomológica Mexicana.*, *45*, 47–56.
- Bejarano, E. E., & Estrada, L. G. (2016). Family Psychodidae. *Zootaxa*, *4122*(1), 187–238. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4122.1.20>
- Bejarano, E., & Estrada, L. (2015). Family Psychodidae. In M. Wolff, S. S. Nihei, & C. J. B. De Carvalho (Eds.), *Catalogue of Diptera of Colombia*. New Zealand: Magnolia Press.

- Bejarano, E., Rojas, W., Uribe, S., & Vélez, I. (2003). Sistemática de especies de *Lutzomyia* del grupo verrucarum Theodor, 1965 (Diptera: Psychodiadae). *Biomédica*, 23, 87–102.
- Bejarano, E., Uribe, S., Rojas, W., & Vélez, I. (2002). Phlebotomine Sand Flies (Diptera: Psychodidae) Associated with the Appearance of Urban Leishmaniasis in the City of Sincelejo, Colombia. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 97 (5)(July), 645–647.
- Bolaños, R. (2015). *Composición de la Comunidad del Género Lutzomyia (França, 1924) (Diptera: Psychodidae) en Tres Biomas de la Cuenca del Río Pamplonita (Norte de Santander, Colombia)*. Universidad de Pamplona.
- Botero, D. (2012a). *Parasitosis humanas*. (Corporación para Investigaciones Biológicas - CIB, Ed.) (Quinta Edi). Medellín, Colombia.
- Botero, D. (2012b). *Parasitosis humanas*. (Corporación para Investigaciones Biológicas - CIB, Ed.) (Quinta Edi). Medellín, Colombia.
- Burbano, M. (1992). Distribución vertical de los flebotomos *Lutzomyia* (Diptera: Psychodidae), en un foco de leishmaniasis cutánea. *Colombia Médica*, 23(January 1992).
- Casanova, C. (2001). A Soil Emergence Trap For Collections Of Phlebotomine Sand Flies. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 96, 273–275.
- Chordá Olmos, F. A. (2014). Biología de Mosquitos (Diptera: Culicidae) en enclaves representativos de la Comunidad Valenciana, 537.
- Cochero, S., Anaya, Y., Díaz, Y., Paternina, M., Luna, A., Paternina, L., & Eduar Elías, B. (2007). Infección natural de *Lutzomyia cayennensis cayennensis* con parásitos tripanosomatídeos (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) en los Montes de Maria, Colombia.

Revista Cubana de Medicina Tropical, 59(1), 35–39.

Colla-Jacques, F. (2014). *Biología e ecología de flebotómíneos, vectores das leishmanioses no estado de são paulo*. Universidade Estadual De Campinas.

Contreras-Gutiérrez, M. (2013a). *Lutzomyia spp. (Diptera: Psychodidae) en zonas cafeteras de la región andina colombiana: taxonomía e importancia médica*. Universidad Nacional de Colombia.

Contreras-Gutiérrez, M. (2013b). *Lutzomyia spp. (Diptera: Psychodidae) en zonas cafeteras de la región andina colombiana: taxonomía e importancia médica*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/9510/1/64703281.2013.pdf>

Contreras-Gutiérrez, M. A., & Uribe, S. (2014). Arbovirus y virus específicos de insectos: Flebotómíneos un caso de interés. *Boletín Del Museo Entomológico Francisco Luis Gallego*, 6(4), 11–24.

Contreras-Gutiérrez, M., Vélez, I., Porter, C., & Uribe, S. (2014a). Lista actualizada de flebotómíneos (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) de la región cafetera colombiana. *Biomédica*, 34(3), 483–498. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v34i3.2121>

Contreras-Gutiérrez, M., Vélez, I., Porter, C., & Uribe, S. (2014b). Lista actualizada de flebotómíneos (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) de la región cafetera colombiana. *Biomédica*, 34(3), 483–498. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v34i3.2121>

Contreras, M., & Vivero, R. (2011). Nuevos registros de flebotómíneos (Diptera: Psychodidae) en el área de influencia del río Amoyá en Chaparral, Tolima. *Biomédica*, 32(1), 263–268.

Dantas-Torres, F., Tarallo, V., Latrofa, M., Falchi, A., Lia, R., & Otranto, D. (2014). Ecology of

- phlebotomine sand flies and *Leishmania infantum* infection in a rural area of southern Italy. *Acta Tropica*, 137(May), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2014.04.034>
- Desjeux, P. (2004). Leishmaniasis: current situation and new perspectives. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 27(5), 305–318. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2004.03.004>
- Duque, P., Vélez, I., Morales, M., & Sierra, D. (2004). Sand Flies Fauna Involved in the Transmission of Cutaneous Leishmaniasis in Afro-Colombian and Amerindian Communities of Choco , Pacific Coast of Colombia. *Neotropical Entomology*, 33 (2)(April), 255–264.
- Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., ... E. Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129–151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Feliciangeli, M. D., Rodriguez, N., Z, D. E. G., & Rodriguez, A. (1999). The re-emergence of American visceral leishmaniasis in an old focus in Venezuela. II . Vectors and parasites. *Parasite*.
- Fernández, M. (2012). Eco-epidemiología de vectores de *Leishmania* spp. en el noreste de la Argentina (Provincia de Misiones). *Rev Arg Parasitol, Volumen 1.*, 16–24.
- Ferro, C., López, M., Fuya, P., Lugo, L., Cordovez, J. M., & González, C. (2015). Spatial distribution of sand fly vectors and eco-epidemiology of cutaneous leishmaniasis transmission in Colombia. *PLoS ONE*, 10(10), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139391>

- Funk, V., & Richardson, K. (2002). Systematic data in biodiversity studies: use it or lose it. *Systematic Biology*, 51(January), 303–316. Retrieved from file:///F:/RGMateo/separatas/01_diversidad/Funk & Richardson_2002_Systematic biology 51 303-306_Systematic data in biodiversity studies.pdf
- Gámez Pastrana, R. (2011). Guía Para La Elaboracion De Mapas De Distribucion Potencial, 39.
- GIMUR. (2016). Colombia, el país con más especies de parásitos de Leishmania. Bogotá.
- González, C., Cabrera, O. L., Munstermann, L. E., & Ferro, C. (2006). Distribución de los vectores de *Leishmania infantum* (Kinetoplastida : Trypanosomatidae) en Colombia. *Biomédica*, 26(0120-4157), 64–72.
- González, C., León, C., Paz, A., López, M., Molina, G., Toro, D., ... Tovar, C. (2018). Diversity patterns, *Leishmania* DNA detection, and bloodmeal identification of Phlebotominae sand flies in villages in northern Colombia. *PLoS ONE*, 13(1), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190686>
- González, C., Paz, A., & Ferro, C. (2014). Predicted altitudinal shifts and reduced spatial distribution of *Leishmania infantum* vector species under climate change scenarios in Colombia. *Acta Tropica*, 129(1), 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2013.08.014>
- Graham, C. H., Moritz, C., & Williams, S. E. (2006). Habitat history improves prediction of biodiversity in rainforest fauna, 103(3).
- Gramiccia, M., & Gradoni, L. (2005). The current status of zoonotic leishmaniasis and approaches to disease control. *International Journal for Parasitology*, 35(11–12), 1169–1180. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2005.07.001>

- Gratz, N. (1999). Emerging and Resurging Vector-Borne Diseases. *Annual Review of Entomology*, 44(1), 51–75. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.51>
- Gregory, H., Teresa, M., Bruno, L., Adler, G. H., Becerra, M. T., & Travi, B. L. (2003). Feeding success of *Lutzomyia evansi* (Diptera: Psychodidae) experimentally exposed to small mammal hosts in an endemic focus of *Leishmania chagasi* in northern Colombia. *Biomedica*, 23, 396–400.
- Halfpter, G. (1995). ¿Qué es la biodiversidad? *Butlletí de La Institució Catalana d'Història Natural*, 62, 5–14.
- Herrer, A., Christensen, H., & Beumer, R. (1976). Epidemiological patterns of cutaneous leishmaniasis in Panama. II. Incidental occurrence of cases in non-endemic settlements. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 70(1), 67–71. <https://doi.org/10.1080/00034983.1976.11687096>
- Herwaldt, B., Stokes, S., & Juranck, D. (1993). American cutaneous leishmaniasis in U.S. travelers. *Annals of Internal Medicine*. Retrieved from <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed3&NEWS=N&AN=1993135476>
- Hill, M. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54(2), 427–432. <https://doi.org/10.2307/1934352>
- Holt, A. C., Salkeld, D. J., Fritz, C. L., Tucker, J. R., & Gong, P. (2009). Spatial analysis of plague in California: Niche modeling predictions of the current distribution and potential response to climate change. *International Journal of Health Geographics*, 8(1), 1–14.

<https://doi.org/10.1186/1476-072X-8-38>

- Hoyos-López, R., Bolaños, R., Contreras-Gutierrez, M., & Carrero-Sarmiento, D. (2016). Phlebotomine sandflies (Diptera: Psychodidae) in a sub-Andean forest from the Norte de Santander, Colombia. *Journal of Vector Borne Diseases*, 53(1), 70–76.
- Hoyos-López, R., Vivero-Gómez, R., Contreras-Gutiérrez, M., & Soto, S. (2013). Flebotomíneos (Diptera: Psychodidae) en un área rural de Santa Fe de Antioquia, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 39(1), 51–55.
- Hoyos-López, R., Vivero-Gómez, R., Contreras-Gutiérrez, M., & Soto, S. (2013). Flebotomíneos (Diptera: Psychodidae) en un área rural de Santa Fe de Antioquia, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 39(1), 51–55.
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7(12), 1451–1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- Instituto Nacional de Salud, M. de la P. S. (2010). Guía para la Atención Clínica Integral del paciente con Leishmaniasis, 58.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113, 363–375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Jost, L. (2007). Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology*, 88(10), 2427–2439. <https://doi.org/10.1890/06-1736.1>
- Jost, L., Devries, P., Walla, T., Greeney, H., Chao, A., & Ricotta, C. (2010). Partitioning diversity for conservation analyses. *Diversity and Distributions*, 16(1), 65–76.

<https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2009.00626.x>

Karimi, A., Hanafi-Bojd, A., Yaghoobi-Ershadi, M., Akhavan, A., & Ghezelbash, Z. (2014). Spatial and temporal distributions of phlebotomine sand flies (Diptera: Psychodidae), vectors of leishmaniasis, in Iran. *Acta Tropica*, 132(1), 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2014.01.004>

Kreutzer, R., Tesh, R., Boshell, J., Palau, M., Cáceres, E., Duque, S., ... De Carrasquilla, C. (1984). *The American journal of tropical medicine and hygiene. The American journal of tropical medicine and hygiene* (Vol. 42). [Allen Press, etc.]. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=6844296>

Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 3–19. <https://doi.org/10.15174/au.201>

Magurran, A. E. (1988). Ecological diversity and its measurements. *Princeton University Press. New Jersey.*, 177pp. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0> Apart

Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2012). Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *Reduca (Biología). Serie Ecología*, 5(1), 137–153.

Moreno, C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T - Manuales y Tesis SEA*, 1, 84. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103709>

Moreno, C., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: Alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas.

Revista Mexicana de Biodiversidad, 82(4), 1249–1261.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Neira Jiménez, K. L., & Neusa Gonzalez, K. A. (2016). Formulación de medidas de compensación por afectación de ecosistemas generada por la central hidroeléctrica Urrá I en el Parque Nacional Natural Paramillo (PNNP) - Departamento de Córdoba, 153.
<https://doi.org/http://hdl.handle.net/11349/4613>

Nieves, E., Ribeiro, A., & Brazil, R. (1997). Physical Factors Influencing the Oviposition of *Lutzomyia migonei* (Diptera: Psychodidae) in Laboratory Conditions. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 92(6), 733–737. <https://doi.org/10.1590/S0074-02761997000600002>

Olarte-Quiñonez, C. A., Acevedo-Rincón, A. A., Ríos-Málaver, I. C., & Carrero-Sarmiento, D. A. (2016). Diversidad de mariposas (Lepidoptera, Papilionoidea) y su relación con el paisaje de alta montaña en los Andes nororientales de Colombia. *Arxius de Miselania Zoológica*, 14, 233–255.

OMS. (1990). Lucha contra la leishmaniasis. Ginebra.

OPS, & OMS. (2016). Leishmaniasis: Informe Epidemiológico de las Américas. *Informe Leishmaniasis*, 4, 3–7.

Ortega-Andrade, H. M., Prieto-Torres, D. A., Gómez-Lora, I., & Lizcano, D. J. (2015). Ecological and geographical analysis of the distribution of the Mountain Tapir (*Tapirus pinchaque*) in Ecuador: Importance of protected areas in future scenarios of global warming. *PLoS ONE*, 10(3), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121137>

- Ostfeld, R. S., & Keesing, F. (2000). Biodiversity series: The function of biodiversity in the ecology of vector-borne zoonotic diseases. *Canadian Journal of Zoology*, 78, 2061–2078. <https://doi.org/10.1139/z00-172>
- Ovalle, C., Porras, L., Rey, M., Ríos, M., & Camargo, Y. (2006). Distribución geográfica de especies de *Leishmania* aisladas de pacientes consultantes al Instituto Nacional de Dermatología Federico Lleras Acosta, E.S.E., 1995-2005. *Biomédica: Revista Del Instituto Nacional de Salud*, 26(Supl. 1), 145–151.
- Pearson, R. G., & Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12(5), 361–371. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x>
- Rebollar, E., David, T., Llanes, M., Orilla, H., Concepción, M., Pérez, M., ... Peniche, Z. (1996). Flebotominos, 17.
- Ricklefs, R. E. (2004). A comprehensive framework for global patterns in biodiversity. *Ecology Letters*, 1–15. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00554.x>
- Rodríguez, G., Corredor, A., Cáceres, E., Cassiano, G., Arroyo, C., Palau, T., & Boshell, J. (1985). Leishmaniasis difusa. *Biomédica*, 5.
- Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M., & Romero, M. (2006). *Ecosistemas de los Andes colombianos. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humbolt.*
- Rös, M., Escobar, F., & Halffter, G. (2012). How dung beetles respond to a human-modified variegated landscape in Mexican cloud forest: A study of biodiversity integrating ecological and biogeographical perspectives. *Diversity and Distributions*, 18(4), 377–389.

<https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00834.x>

Rushton, S., Ormerod, S., & Kerby, G. (2004). New paradigms for modelling species distributions? *Journal of Applied Ecology*, *41*, 193–200. <https://doi.org/doi:10.1111/j.0021-8901.2004.00903.x>

Sandoval, C. M., Gutiérrez, R., Cárdenas, R., & Ferro, C. (2006). Especies de género *Lutzomyia* (Psychodidae, Phlebotominae) en áreas de transmisión de leishmaniasis tegumentaria y visceral en el departamento de Santander , en la cordillera oriental de los Andes colombianos. *Biomedica*, *26*, 0–6.

Sierra, D., Ochoa, M., Calle, J., & García, G. (2006). *Leishmania* (*Leishmania*) mexicana en el corregimiento de San Matías, municipio de Gómez Plata, Antioquia, Colombia. *Biomédica*, *26*, 232–5.

Toro-Cantillo, A., Atencia-Pineda, M., & Hoyos Lopez, R. (2017). Phlebotomine sandflies (Diptera: Psychodidae) collected in rural area from San Bernardo del Viento (Córdoba, Colombia). *Revista MVZ Córdoba*, *22*(supl), 6044–6049. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1074>

Tovar A, C., & Yasnot A, M. (2017). Leishmaniasis visceral en América Latina y perspectivas terapéuticas. *Revista MVZ Córdoba*, *22*(supl), 6075. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1077>

Valderrama, A., Herrera, M., & Salazar, A. (2008). Relación Entre La Composición De Especies Del Género De *Lutzomyia* França (Diptera: Psychodidae, Phlebotominae) Y Los Diferentes Tipos De Bosques En Panamá. *Acta Zoológica Mexicana*, *24*(2), 67–78.

Vélez, I., Carrillo, L., Muskus, C., & Robledo, S. (2017). Application of the Eco-

- Epidemiological Method in the Study of Leishmaniasis Transmission Foci. In D. Claborn (Ed.), *The Epidemiology and Ecology of Leishmaniasis* (pp. 31–56). InTech.
- Velez, I., Hendrickx, E., Robledo, S., & Agudelo, S. (2001). Gender and cutaneous leishmaniasis in Colombia. *Cadernos de Saude Publica / Ministerio Da Saude, Fundacao Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saude Publica*, 17(1), 171–180. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000100018>
- Vivero, R. J., Quintero, L. S., Peña, H. C., Alvar-Beltrán, J., Tovar, C., Atencia, C. M., & Vélez, I. D. (2017). Composition and distribution of medically important phlebotomines (Diptera: Psychodidae) in the municipalities of tierralta and valencia (córdoba, Colombia). *Journal of Vector Borne Diseases*, 54(1), 87–95.
- Vivero, R., Torres-Gutiérrez, C., Bejarano, E., Peña, H., Estrada, L., Flórez, F., ... Muskus, C. (2015). Study on natural breeding sites of sand flies (Diptera: Phlebotominae) in areas of Leishmania transmission in Colombia. *Parasites & Vectors*, 8, 116. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-0711-y>
- Ward, D. F. (2007). Modelling the potential geographic distribution of invasive ant species in New Zealand. *Biological Invasions*, 9(6), 723–735. <https://doi.org/10.1007/s10530-006-9072-y>
- Ward, R. (1976). A revised numerical chaetotaxy for neotropical Phlebotomine sandfly larvae (Diptera: Psychodidae). *Systematic Entomology*, 1(1), 89–94. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.1976.tb00035.x>
- Young, D., & Duncan, M. (1994). *Guide to the identification and geographic distribution of*

Lutzomyia sand flies in Mexico, the West Indies, Central and South America (Diptera: Psychodidae). University of Florida: Associated Publishers American Entomological Institute.