

**CATEGORIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL RIESGO DE INVASIÓN DE PLANTAS
INTRODUCIDAS ASOCIADAS A SISTEMAS AGRÍCOLAS BANANEROS DEL
DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA**

Ing. KRISTINNE LILLETH ECHÁVEZ PLATA

Junio 2021

Universidad Del Magdalena Facultad De Ciencias Básicas

Maestría En Ecología y Biodiversidad

Universidad del Magdalena Facultad de Ciencias Básicas

**Categorización y análisis del riesgo de invasión de plantas introducidas
asociadas a sistemas agrícolas bananeros del departamento del Magdalena**

Tesis de grado para obtener el título de Magister en Ecología y Biodiversidad

Ing. KRISTINNE LILLETH ECHÁVEZ PLATA

Universidad del Magdalena

PhD Irma Del Rosario Quintero Pertuz

Director Universidad del Magdalena

PhD(c) Gilberto Junior Orozco Berdugo

Codirector Universidad del Magdalena

DEDICATORIA

En primer momento dedico este estudio a Dios, dueño y creador de todo lo que hay a mi alrededor, ya que es gracias a Él por quien disfruto de una realidad maravillosa. A mis padres porque desde siempre han luchado por mi educación y me han llenado de amor y exigencias esperando que sea una buena mujer. A mis hermanas que a pesar de su juventud fueron de gran apoyo moral en esta tarea. A Sergio Daniel Sarmiento Pérez ejemplo de lucha y disciplina, motivo de orgullo para mí; sin su apoyo, amor y confianza nada de este logro hubiese sido posible.

A Gilberto Orozco por su paciencia, confianza y amistad, sobre todo, porque nunca dudó de mis capacidades, sino que por el contrario me brindó todas las herramientas necesarias para llegar a la plenitud de mi título.

A mis compañeros de estudio que con sus palabras y acciones contribuyeron en que lleve a cabo este ciclo que hoy termina, pero que se convierte en un escalón más en el amplio camino de mis sueños a cumplir.

Kristinne Lilleth

AGRADECIMIENTOS

Especial gratitud a Irma Quintero por su acompañamiento en el proceso, el tiempo, apoyo y dedicación prestada desde el inicio de esta idea hasta su culminación.

Agradecimientos personales a Miryan David quien inició este proceso conmigo, a Larry Jiménez, y a los evaluadores anónimos por sus valiosas contribuciones y aportes al trabajo en diferentes instancias.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN	5
ANTECEDENTES	7
MARCO TEÓRICO	10
DEFINICIONES AJUSTADAS Y ADOPTADAS RELACIONADAS CON ESPECIES INVASORAS:	10
IMPACTOS DE LAS INVASIONES BIOLÓGICAS.	11
EVALUACIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGO DE ESPECIES INTRODUCIDAS.	12
METODOLOGÍA USADA EN COLOMBIA PARA EVALUAR EL ANÁLISIS DE RIESGO DE ESPECIES INTRODUCIDAS.	13
HIPÓTESIS DE TRABAJO	16
OBJETIVOS	17
OBJETIVO GENERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
METODOLOGÍA	18
ÁREA DE ESTUDIO	18
IDENTIFICACIÓN DE PLANTAS INTRODUCIDAS	20
CATEGORIZACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO DE INVASIÓN DE LAS ESPECIES INTRODUCIDAS.	20
VALIDACIÓN DE UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL LAS ESPECIES INTRODUCIDAS	21
OBTENCIÓN DE DATOS AMBIENTALES Y DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE CALIBRACIÓN (M)	22
MODELO DE DISTRIBUCIÓN	23
RESULTADOS	24
IDENTIFICACIÓN DE PLANTAS INTRODUCIDAS	24
CATEGORIZACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO DE INVASIÓN DE LAS ESPECIES INTRODUCIDAS.	25
MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE <i>CYNODON DACTYLON</i>	31
MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE <i>CYPERUS ROTUNDUS</i> L.	32
MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE <i>CYNODON NLEMFUENSIS</i> VANDERYST	33
DISCUSIÓN	35
PLANTAS INTRODUCIDAS E INVASORAS	35
DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LAS ESPECIES INTRODUCIDAS CON NIVEL DE RIESGO DE INVASIÓN ALTO.	38
RECOMENDACIONES	42
REFERENCIAS	44
ANEXOS	59

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	18
FIGURA 2 CURVA ROC PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE C. NLEMFUENSIS (1), C. DACTYLON (2) Y C. ROTUNDUS (3) CONSIDERANDO TRES UMBRALES DE EVALUACIÓN (A, B Y C).	30
FIGURA 3 MAPA CON PROYECCIÓN DE MODELO DE DISTRIBUCIÓN PARA LA ESPECIE C. DACTYLON ENTRE 0 – 60% DE IDONEIDAD EN EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA	31
FIGURA 4 MAPA CON PROYECCIÓN DE MODELO DE DISTRIBUCIÓN PARA LA ESPECIE C. ROTUNDUS ENTRE 0 – 99% DE IDONEIDAD EN EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA.	33
FIGURA 5 MAPA CON PROYECCIÓN DE MODELO DE DISTRIBUCIÓN PARA LA ESPECIE C. NLEMFUENSIS ENTRE 0 – 90% DE IDONEIDAD EN EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA.	34

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 DESCRIPCIÓN EDAFO-CLIMÁTICA DE LAS ZONAS Y ÁREA TOTAL DE ESTUDIO	19
TABLA 2 PROCEDENCIA DE LOS DATOS DE OCURRENCIAS UTILIZADOS PARA EL ENTRENAMIENTO DEL MODELO	21
TABLA 3 CÓDIGO Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES BIOCLIMÁTICAS	22
TABLA 4 LISTADO DE LAS ESPECIES INTRODUCIDAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	24
TABLA 5 VALORES DE RIESGO DE INVASIÓN DE PLANTAS INTRODUCIDAS ASOCIADAS A SISTEMAS AGRÍCOLAS BANANEROS DEL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA. SE MUESTRA EL RIESGO DE INVASIÓN (RI), NIVEL DEL RIEGO (NR) Y NIVEL DE INCERTIDUMBRE (NI).	26
TABLA 6 PROCEDENCIA DE LOS DATOS DE OCURRENCIAS UTILIZADOS PARA EL ENTRENAMIENTO DEL MODELO.	27
TABLA 7 VARIABLES BIOCLIMÁTICAS UTILIZADAS PARA ENTRENAR EL MODELO DE CADA ESPECIE, LUEGO DEL PROCESO DE DEPURACIÓN. ...	28
TABLA 8 ECORREGIONES OBTENIDAS PARA MEDIR EL ÁREA DE CALIBRACIÓN (M) PARA C. NLEMFUENSIS.....	28
TABLA 9 ECORREGIONES SELECCIONADAS PARA MEDIR EL ÁREA DE CALIBRACIÓN (M) PARA C. DACTYLON.....	29
TABLA 10 ECORREGIONES SELECCIONADAS PARA MEDIR EL ÁREA DE CALIBRACIÓN (M) PARA C. ROTUNDUS.	29



RESUMEN

Las especies de plantas invasoras son consideradas la segunda causa de pérdida de biodiversidad después de la destrucción de hábitat. Es necesario evitar que se establezcan nuevas poblaciones de estas plantas, especialmente en ambientes agrícolas, para evitar impactos negativos en la productividad y sostenibilidad de estos sistemas. Para la detección temprana de malezas potencialmente riesgosas en cultivos de banano del departamento del Magdalena, se propuso identificar las especies introducidas y analizar su riesgo potencial de invasión y distribución. Para ello se revisaron inventarios de la flora asociada al cultivo y mediante revisión bibliográfica, se confirmó el origen (nativas o introducidas) de las especies reportadas. Las especies confirmadas como introducidas (34), se les sometió a un análisis de riesgo de establecimiento e invasión con la herramienta de análisis I3N, que se basa en 28 preguntas agrupadas en tres categorías: riesgo de establecimiento o invasión, impacto potencial, y dificultad de control o erradicación. La suma de los puntajes correspondientes a cada pregunta definió el indicador del riesgo asociado a cada especie evaluada, así: riesgo de invasión alto (valores entre 5,01 y 10,0), riesgo moderado (3,01 y 4,50), riesgo bajo (1,0 y 3,0) y requieren mayor análisis (4,56 y 5,0). Con las tres especies de mayor riesgo de invasión se validó un modelo de distribución potencial en el departamento basado en variables bioclimáticas. Se categorizaron 26 especies con “alto riesgo de invasión”. *Cyperus rotundus*, *Cynodon dactylon*, *C. nlemfuensis* fueron las especies de mayor riesgo. *Eragrostis amabilis*, *Emilia sonchifolia*, *E. coccinea*, se categorizaron en “riesgo moderado”. Cinco especies se clasificaron en la categoría “requieren mayor análisis” a falta de información suficiente para un análisis claro. Ninguna especie fue de “riesgo bajo”. Mediante modelos de distribución potencial es posible detectar áreas donde las especies con riesgo de invasión alto pueden estar presentes y donde posiblemente estarán en el futuro en el departamento del Magdalena, lo que constituye un insumo clave para alertas tempranas. Esta información puede ser de utilidad al momento de definir operaciones eficientes de manejo de malezas en las plantaciones bananeras del Magdalena y evitar su dispersión e invasión en otros ecosistemas.

Palabras clave: Biodiversidad, especies invasoras, riesgo de invasión.



ABSTRACT

Invasive species are considered the second cause of biodiversity loss after habitat destruction. Due to all the negative effects associated with these plants, it is necessary to avoid establishing new populations capable of perpetuating themselves, especially in agricultural environments of economic importance, to avoid negative impacts on the productivity and sustainability of these systems. It was proposed to identify and analyze the potential risk of invasion of the introduced species of a community of plants associated with banana crops in the department of Magdalena, for the early detection of potentially risky species. For this, inventories of the flora associated with the crop were reviewed and through a bibliographic review, the origin (native or introduced) of the reported species was confirmed. The species that were confirmed as introduced (34) were subjected to an establishment and invasion risk analysis with the I3N analysis tool, which is based on 28 questions grouped into three categories: risk of establishment or invasion, potential impact, and difficulty control or eradication. The sum of the scores corresponding to each question defined the risk indicator associated with each evaluated species, as follows: high invasion risk (values between 5.01 and 10.0), moderate risk (3.01 and 4.50), low risk (1.0 and 3.0) and require further analysis (4.56 and 5.0). With the three species with the highest risk of invasion, a potential distribution model in the department based on bioclimatic variables was validated. 26 species were categorized as "high risk of invasion". *Cyperus rotundus*, *Cynodon dactylon*, *C. nlemfuensis* were the species most at risk. *Eragrostis amabilis*, *Emilia sonchifolia*, *E. coccinea* were categorized as "moderate risk". Five species were classified in the category "require further analysis" in the absence of sufficient information for a clear analysis. Neither species was "low risk". Through potential distribution models, it is possible to detect areas where species with high invasion risk may be present and where they will possibly be in the future in the department of Magdalena, which constitutes a key input for early warnings. This information can be useful when defining efficient weed management operations in the Magdalena banana plantations and avoiding their dispersal and invasion in other ecosystems.

Keywords: Biodiversity, invasive species, risk of invasion.



INTRODUCCIÓN

Las invasiones biológicas y la destrucción del hábitat son las causas que mayor impacto tienen sobre la biodiversidad y la conservación de los ecosistemas y sus servicios ambientales (McNeely *et al.*, 2001; MEA, 2005; Baptiste *et al.*, 2010). En las últimas décadas, las invasiones biológicas han recibido cada vez mayor atención y se han logrado avances importantes sobre la comprensión de los impactos de las especies exóticas (Kumschick *et al.*, 2015).

Las especies exóticas invasoras son aquellas que se han establecido en un ecosistema fuera de su área de distribución natural y cuyas características les confieren la capacidad de colonizar, establecerse y causar daños al ambiente. El impacto de estas especies sobre los ecosistemas va más allá del daño a la biodiversidad (Aguirre-Muñoz & Mendoza 2009; Baptiste *et al.*, 2010; García-Duque *et al.*, 2016). Los factores antrópicos han fragmentado y contaminado variedad de ecosistemas, reduciendo el espacio natural de unas comunidades y fortaleciendo la rápida dispersión de otras (Pecl *et al.*, 2017). La agricultura se reconoce como el principal medio por el cual una especie invasora es introducida fuera de su rango natural, ya sea de manera intencional o involuntaria (Baptiste *et al.*, 2017). Las plantas exóticas invasoras asociadas a sistemas agrícolas afectan la productividad de los mismos, ya que su manejo y control implica incremento en los costos de producción (Bentivegna & Fernández, 2010); así mismo, constituyen una de las amenazas más importantes a la biodiversidad dado que pueden escapar del cultivo e instalarse en nuevos ambientes naturales (Cárdenas-López, 2010)

Colombia no es ajena a la problemática de plantas introducidas, lo que ha conllevado a trazar políticas y acciones para su manejo (Baptiste *et al.*, 2017). En el país se han registrado en diferentes biomas y sus ecosistemas especies de plantas introducidas, de las cuales, 42 fueron catalogadas como especies de alto riesgo de invasión (Cárdenas *et al.*, 2010). No obstante, Cárdenas *et al.*, (2017) señalan que existen vacíos de información en los inventarios de algunas zonas del país, por lo que el número de plantas exóticas puede ser mayor y, en ese sentido, destacan la importancia de adelantar una adecuada gestión e investigación de las especies exóticas que proporcione información



local para la prevención, manejo y control de las invasoras.

Como estrategia fundamental de manejo y optimización de esfuerzos para el monitoreo de vectores de introducción y propagación de especies invasoras, las evaluaciones de riesgo constituyen una herramienta esencial para detectar de forma temprana la probabilidad que tienen las especies introducidas en establecerse en un nuevo territorio, y son fundamentales para la creación de políticas sobre la introducción de especies (Baptiste *et al.*, 2010).

Para el análisis de riesgo de invasión de especies exóticas, se han sumado los recientes avances en sistemas de información geográfica, los cuales, se han implementado para contribuir al desarrollo de metodologías que posibilitan monitorear el curso de las especies en ciertas áreas e identificar aquellos factores ambientales que la limitan, como es el caso, del modelado de nicho ecológico (Peterson *et al.*, 2011; Cuervo-Robayo *et al.*, 2017).

Los modelos de distribución han sido desarrollados para múltiples objetivos, de los cuales, se pueden resaltar la determinación de áreas susceptibles a la colonización de organismos invasores (Cuervo-Robayo *et al.*, 2017; Smith *et al.*, 2017). Estos estudios representan un importante campo de investigación que puede ayudar a desarrollar herramientas de manejo, ya que la propagación de especies exóticas constituye una amenaza sobre la estructura de las comunidades biológicas y al funcionamiento de los ecosistemas (Rudas & Torres, 2009; Palma-Ordaz & Delgadillo-Rodríguez, 2014).

En plantaciones bananeras del departamento del Magdalena se ha determinado que, entre el complejo de plantas asociadas al cultivo, hay especies no nativas o exóticas (Quintero *et al.*, 2020). En este sentido, la presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar el riesgo de invasión de las plantas introducidas asociadas a estos sistemas agrícolas para la detección temprana de aquellas potencialmente riesgosas; así mismo, poder modelar a futuro la distribución de las mismas a otros ecosistemas, información que permitirá fundamentar planes de manejo eficiente.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia se destaca por ser el segundo país del mundo con mayor biodiversidad gracias a los abundantes bosques que posee y la presencia de numerosos ríos en su territorio, además de otros elementos (Andrade-C, 2011). Actualmente los factores que se destacan por causar deterioro ambiental en nuestro país se resumen en el libre acceso a la mayoría de los recursos naturales, ocupación de áreas protegidas, deterioro de los suelos (Sánchez, 2002) y otras problemáticas como la introducción de especies exóticas que puede acarrear a su vez otro fenómeno llamado invasiones biológicas (Mathews, 2005). Las especies introducidas llegan a ser una de las grandes amenazas a la biodiversidad global (Mack *et al.*, 2000) debido a la facilidad que poseen de naturalizarse en nuevos ecosistemas, propagarse e interactuar muchas veces de forma negativa con ejemplares nativos (UICN, 1999; McNeely *et al.*, 2001) lo que altera los procesos ecológicos, el cambio de roles de especies nativas e incluso su extinción (Mack *et al.*, 2000).

En nuestro país, el profundo desconocimiento del uso potencial de las especies nativas, sumado a las actividades agrícolas, han sido las principales causas de la introducción y dispersión de especies de plantas exóticas de forma deliberada (Cárdenas *et al.*, 2017). El análisis de riesgo de especies introducidas para Colombia, mediante la herramienta I3N (Zalba & Ziller, 2007), permitió la categorización de 42 plantas como especies de alto riesgo de invasión a partir de un inventario de 596 plantas introducidas registradas en diferentes biomas (Cárdenas *et al.*, 2010). Aunque estos trabajos han permitido describir con detalle información bioecológica y geográfica, además de consideraciones para el manejo, de aquellas especies exóticas con alto potencial de invasión (García & Baptiste, 2017), se considera que existen vacíos de información en los inventarios de algunas zonas del país, por lo que el número de plantas exóticas puede ser mayor (Cárdenas *et al.*, 2017).

Entre la flora asociada a los sistemas agrícolas, algunas plantas consideradas malezas son exóticas o introducidas, por lo que para evitar que estas especies sigan



perpetuándose a sí mismas, es trascendental identificarlas y controlarlas antes de que puedan adaptarse, crecer exponencialmente y alcanzar altos niveles de infestación, lo que redundaría en el incremento de los costos de producción y reducción de los rendimientos del cultivo (Mack *et al.*, 2000). En el peor de los casos, también podrían escapar del cultivo, e instalarse en nuevos ambientes con repercusiones sobre la biodiversidad (Cárdenas *et al.*, 2017)

En cultivos de banano del departamento del Magdalena, principal producto de la economía agrícola de la región (AUGURA, 2020), se determinó entre el complejo de plantas asociadas, la presencia de especies no nativas y otras de origen desconocido (Quintero-Pertuz *et al.*, 2020). Dado que las malezas introducidas tienen características comunes a las plantas colonizadoras exitosas representando un riesgo para la productividad del cultivo y la biodiversidad, surge la necesidad de confirmar cuántas y cuáles son las especies introducidas y evaluar el nivel de riesgo de invasión que estas tienen.

Teniendo en cuenta lo anterior, surgieron interrogantes como: ¿Cuáles son las especies introducidas y cuál sería el nivel de riesgo de llegar a convertirse en plantas invasoras? ¿Es posible determinar el potencial de distribución de estas especies a otras zonas del departamento?



JUSTIFICACIÓN

Debido al potencial de las especies introducidas de convertirse en invasoras e impactar de forma negativa la estructura de las comunidades biológicas y el funcionamiento de los ecosistemas (McNeely *et al.*, 2001; MEA, 2005; Baptiste *et al.*, 2010; Mora-Goyes & Barrera-Cataño, 2015), se hace necesario adelantar una adecuada gestión e investigación de estas especies que proporcione información local sobre su presencia, nivel de riesgo de invasión y distribución para la prevención, manejo y control.

A pesar de los estudios realizados para el análisis de riesgo de especies introducidas para Colombia (Cárdenas *et al.*, 2010; Cárdenas *et al.*, 2017), si se comparan con la totalidad del territorio nacional, queda en evidencia la falta de información sobre los inventarios de especies introducidas en el resto del país y el riesgo que tienen de convertirse en invasoras. En este sentido, es necesario que en el país se realicen estudios encaminados a la conservación, el manejo sostenible y la restauración de la biodiversidad nativa adoptando medidas que contribuyan a proteger la flora silvestre (Baptiste *et al.*, 2010; Cárdenas-Toro *et al.*, 2015; García-Duque *et al.*, 2016), ya que, a pesar de que se conocen los riesgos potenciales que acarrea la introducción de las plantas exóticas a nuevos ecosistemas, hasta el momento son pocos los estudios que se han realizado con el fin de catalogar e inventariar este tipo de especies (García-Duque *et al.*, 2016).

Saber qué especies no son nativas de una región es un primer paso para el manejo de especies invasoras (Simpson & Eyler, 2018). A su vez, las evaluaciones de riesgo constituyen una herramienta esencial para detectar de forma temprana la probabilidad que tienen las especies introducidas en establecerse en un nuevo territorio, y son fundamentales para la creación de políticas sobre la introducción de especies (Baptiste *et al.*, 2010). Así mismo, la modelación de la distribución de estas especies, se ha sumado a estas evaluaciones para determinar su distribución potencial a otras áreas y priorizar su manejo (Palma-Ordaz & Delgadillo-Rodríguez, 2014).



En Colombia, el Instituto Humboldt ha liderado los procesos de análisis de información para la construcción de herramientas técnicas que orienten la gestión de las especies invasoras en el país. Una de las metodologías avalada y aplicada para varios estudios anteriormente mencionados, es la herramienta de análisis de riesgo de establecimiento e invasión I3N (Zalba y Ziller, 2007) propuesta para plantas en Latinoamérica. Esta metodología permite definir categorías de invasión de acuerdo a 28 criterios relacionados con el riesgo de establecimiento o invasión, impacto potencial y dificultad de control o erradicación (Cárdenas *et al.*, 2017). Por su parte, los modelos de distribución de especies tienen por objeto predecir áreas adecuadas para la supervivencia de las especies de acuerdo a las condiciones ambientales que presentan; es decir, la distribución potencial o nicho fundamental (Palma-Ordaz & Delgadillo-Rodríguez, 2014).

Dado que no se conocen estudios documentados sobre plantas invasoras en ecosistemas del departamento del Magdalena, se propuso con el presente estudio, identificar a partir de inventarios recientes en sistemas agrícolas bananeros, el registro de especies introducidas y evaluar el nivel de riesgo de invasión para categorizar las especies según su invasibilidad. Así mismo, validamos un modelo de distribución con las tres especies de mayor nivel de riesgo que nos permita a futuro modelar la distribución de todas las especies evaluadas y categorizadas como plantas introducidas con alto nivel de riesgo de invasión. En este sentido, se aporta información local sobre el nivel de riesgo de invasión y distribución de estas especies que puede ser de utilidad para definir planes de manejo adecuados para la prevención, manejo y control.



ANTECEDENTES

Actualmente la influencia de las plantas invasoras alrededor del mundo, es cada vez más notorio, convirtiéndose en un problema, no solo de carácter particular, sino global (Gutiérrez, 2006; Cárdenas *et al.*, 2011). No se debe desconocer que cualquier tipo de invasión biológica trae consecuencias en el entorno, específicamente modificaciones en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas (UICN, 1999; Castro-Díez & Alonso, 2004; Lorenzo & Rodríguez-Echeverría, 2015). En los sistemas agrícolas, por ejemplo, además de reducir la productividad afectando la calidad de las cosechas, desvalorizando las tierras y promover el riesgo de contaminación de los productos, conllevan al incremento en los costos de producción relacionados con la erradicación y control (UICN, 1999; Pimentel, *et al.*, 2001; Comité Asesor Nacional, 2010).

En el presente se considera que aproximadamente 13.186 especies de plantas han sido introducidas/naturalizadas en cerca de 843 regiones en el mundo (Kleunen *et al.*, 2015). Frente a ese fenómeno, las zonas tropicales se muestran como las menos afectadas (Kleunen *et al.*, 2015). Sin embargo, en las últimas cinco décadas, Suramérica se ha visto inmersa en un “sin control invasivo” de estas especies, debido a las profundas modificaciones del uso de la tierra, así como la degradación y la destrucción de las comunidades vegetales de la región (Newbold *et al.*, 2015), coincidiendo también con la realidad colombiana en donde los ecosistemas alterados han sido afectados por este fenómeno (Gutiérrez, 2006).

Como estrategia para hacer frente a esta problemática, Baptiste *et al.* (2010), plantearon la aplicación de metodologías basadas en elementos técnicos para el análisis de riesgo de impacto de especies introducidas y trasplantadas en Colombia, y generar listados actualizados sobre estas especies y poder categorizarlas como especies invasoras para justificar y priorizar su manejo.

En nuestro país es poca la trascendencia que se le ha dado al tema. Fue solo hasta 1998 donde se empezó a identificar específicamente el problema de las especies



invasoras gracias al *Informe Nacional sobre el Estado de la Biodiversidad* presentado por Chaves & Arango (1998); y a partir de este momento el desarrollo del tema se ha concentrado en la producción de listados e inventarios generales, además de los análisis y casos de especies particulares, abarcando también aspectos de distribución e impacto (Rueda-Almonacid, 1999; Arcila & Quintero, 2005). Sin embargo, en los últimos 10 años se han publicado diferentes herramientas que aportan al conocimiento y evaluación de plantas introducidas en el país (Cárdenas *et al.*, 2010; Cárdenas *et al.*, 2011; Gutiérrez *et al.*, 2012; García-Duque *et al.*, 2016; Cárdenas *et al.*, 2017)

Gutiérrez (2006), afirmó que, a pesar de contar con algunos análisis iniciados en 1971, en Colombia no se presentaban acciones frente al impacto de las especies introducidas (trasplantadas e invasoras), por lo cual plantea propuestas direccionadas al control y erradicación de estas especies, argumentando que el primer paso debe centrarse en la elaboración de un inventario a nivel nacional y la evaluación del impacto real que el fenómeno ha traído consigo.

Según Cárdenas *et al.* (2010), en el país, en general se han registrado 597 especies de plantas introducidas o trasplantadas que han sido identificadas en diversos biomas y sus ecosistemas, de las cuales, 84 han sido evaluadas de acuerdo a los protocolos de análisis de riesgo de invasión y 42 fueron catalogadas como especies de alto riesgo de invasión. Existe de la misma forma un listado de 274 especies de plantas que estando introducidas en Colombia, poseen antecedentes de invasión en el mundo. Sólo en la amazonia colombiana, el primer registro de especies introducidas en esa región correspondía a 160 y después de evaluar la flora ornamental, los diferentes sistemas productivos y centros de investigación en diferentes sectores del Amazonas, se generó finalmente una lista de 250 especies introducidas (Cárdenas *et al.*, 2010).

Por su parte Quijano-Abril (2016), reportó un primer listado de 243 especies de plantas introducidas y potencialmente invasoras en el Altiplano del Oriente Antioqueño, donde además se incluyó información acerca del potencial invasivo de las mismas con la aplicación de la herramienta Red de Información sobre Especies Invasoras (I3N).



La formulación del *Plan Nacional para la prevención, el control y manejo de las especies introducidas, trasplantadas e invasoras* y *Diagnóstico y listado preliminar de especies introducidas, trasplantadas e invasoras en Colombia* (MADS, 2011), así como las investigaciones recientes sobre *Herramienta para la gestión de áreas afectadas por invasiones biológicas* (Cárdenas-Toro *et al.*, 2015), evidencian el interés y avances importantes en la obtención de información sobre esta problemática. Sin embargo, se requiere mayor esfuerzo, ya que la “ventaja” que ha tomado esta problemática en el país es considerable, por tal razón se hace necesario más estudios que fundamenten la formulación e implementación de políticas y proyectos que regulen la conservación, el manejo, la restauración y el uso sostenible de la biodiversidad nativa (CDB, 2009).



MARCO TEÓRICO

Introducir especies exóticas a nuevas regiones por diferentes motivos, puede tener consecuencias que no siempre son positivas, en la mayoría de los casos pueden tener efectos severos y difíciles de revertir; con perjuicios económicos, a la salud y muy directamente a los ecosistemas y a los servicios ambientales que brindan (Comité Asesor Nacional, 2010). El ingreso de estas especies es causado principalmente por el ser humano, por tanto, la problemática no solo se centrará en el posible surgimiento de especies invasoras sino también en la toma de decisiones que ofrezcan posibles soluciones (Castro-Díez & Alonso, 2004; Emerton & Howard, 2008).

Es necesario conocer y aclarar términos relacionados con las invasiones biológicas para comprender los procesos, las herramientas y las consecuencias mencionadas a lo largo de esta investigación. Aunque no se tiene un consenso en el mundo sobre esta terminología, en el presente trabajo se establecen una serie de definiciones a tener en cuenta.

Definiciones ajustadas y adoptadas relacionadas con especies invasoras:

Una invasión biológica involucra dos términos importantes; invasibilidad que es cuando las condiciones que facilitan el establecimiento y dispersión de una especie son la interacción entre las características de susceptibilidad del área o ecosistema e invasividad que involucra las condiciones o características propias de las especies (Cárdenas *et al.*, 2017)

Especie introducida, exótica, alóctona, trasplantada: “Especie, subespecie o taxón inferior e híbrido que se encuentra fuera de su distribución natural, pasada o presente, incluyendo cualquier parte, gametos, semillas, huevos o propágulos” (Baptiste *et al.*, 2010). Es necesario aclarar que éstas se les llaman exóticas cuando provienen de otro país y trasplantadas cuando aun siendo originarias de Colombia, son llevadas a otra región del país.



Especie establecida o aclimatada: “Especie introducida que se reproduce exitosamente y tiene una población viable” (Baptiste *et al.*, 2010). Según Richardson *et al.* (2000), solo un pequeño porcentaje de estas especies llegan a ser invasoras por lo que no precisamente debemos confundirlas.

Especie invasora, peste, plaga, maleza: “Especie introducida que se establece y dispersa en ecosistemas o hábitats naturales o semi naturales; es un agente de cambio y causa impactos ambientales, económicos o de salud pública” (Baptiste *et al.*, 2010). En las regiones donde se encuentran siempre acarrea consigo efectos negativos sobre la diversidad biológica nativa (FAO, 2004).

Para poder ser llamadas invasoras, las especies atraviesan por una cadena de eventos consecutivos desde que son introducidas a nuevas áreas hasta que superan barreras ambientales y reproductivas. Inicialmente son importadas y liberadas al ambiente natural, aquí las especies enfrentan un proceso de resistencia física y biológica de competencia por los recursos que hasta ese momento están siendo utilizados por plantas nativas (Bentivegna & Fernández, 2010), si esta etapa es exitosa, la planta se establecerá formando poblaciones que logran sostenerse por sí mismas y finalmente, cuando se dispersan ampliamente y de forma rápida, generan impactos negativos a especies y poblaciones nativas (Bentivegna & Fernández, 2010; Cárdenas-Toro *et al.*, 2015).

Impactos de las invasiones biológicas.

La introducción de especies por el hombre, puede darse de forma intencional si se relaciona con intereses económicos o sociales; y de forma accidental cuando sin un propósito o sin conocimiento se mueven especies de una región a otra (Restrepo-Santamaría & Álvarez-León, 2013). Para que una especie se considere invasora primeramente debe establecerse en un ambiente que no es el nativo, propagarse y generar impactos negativos a especies nativas (Baptiste *et al.*, 2010). Para esto hace uso de sus características biológicas que ayudan que este proceso sea efectivo. En plantas por ejemplo, caracteres de reproducción como alta producción de semillas, múltiples formas de propagación, estructuras que facilitan su dispersión, capacidad de

dominar hábitats sin cobertura vegetal, semillas con dormancia, rápido crecimiento, germinación en ambientes extremos, acumulación de reservas en sus raíces, alta tasa fotosintética, alta eficiencia en el uso del agua como reserva, son estrategias ecológicas que promueven la invasividad de estas especies (Bentivegna & Fernández, 2010; Cárdenas *et al.*, 2010).

Los efectos negativos de las especies invasoras, en muchos casos irreversibles, no solo se reconocen como un problema ambiental sino que además de evidenciarse sobre la biodiversidad nativa, también se muestran en la economía, la salud humana y pecuaria, además de las pérdidas en la riqueza cultural y biológica, porque a largo plazo llegan a causar la extinción de especies nativas de importancia local, por competencia de recursos, principalmente (Gutiérrez, 2006; Baptiste *et al.*, 2010; Sosa-Madrazo, 2011). Por otra parte, y como se ha descrito anteriormente, las especies introducidas invasoras también afectan grandemente la economía de un país, la pérdida de la biodiversidad, las cosechas y donde las estrategias de control y manejo representan altos costos (Pimentel *et al.*, 2001). Según Cárdenas *et al.* (2010), las estimaciones en costos anuales relacionados a estas especies son subestimadas porque se basan principalmente en pérdidas agrícolas, sin considerar las pérdidas ambientales y los costos derivados de enfermedades transmitidas por vectores. También es necesario tener en cuenta que algunas especies, pese a que presenten algún riesgo de invasión, pueden ser empleadas bajo condiciones restrictivas (Baptiste *et al.*, 2010).

Evaluación de análisis de riesgo de especies introducidas.

Evaluar el riesgo que tiene una especie introducida de convertirse o no en una especie invasora, es una herramienta valiosa que arroja información acerca del potencial de establecimiento y el impacto que estas especies pueden causar sobre la biodiversidad y las sociedades humanas (Baptiste *et al.*, 2010; Cárdenas-Toro *et al.*, 2015). Además, esta información puede apoyar la toma de decisiones sobre estrategias para el control o erradicación de estas especies. Estas herramientas identifican la probabilidad de que la especie exótica se vuelva invasora, permiten determinar el posible impacto que estas



pueden tener si se vuelven invasoras y la posibilidad de controlarlas y erradicarlas (Ziller *et al.*, 2005).

Del análisis de riesgo resultan niveles que permiten clasificar las especies de acuerdo con el riesgo de invasión que representan para los ecosistemas y las especies nativas. En Colombia, se proponen tres niveles de riesgo para especies introducidas, los cuales son: Bajo o muy bajo, Moderado y Alto. *Cada nivel de riesgo se obtiene con base en las características disponibles de la similitud climática, historia natural, biología y ecología de la especie, antecedentes de invasión e impacto en otros países, así como la factibilidad de control* (Baptiste *et al.*, 2010). Es necesario aclarar que el análisis se refiere a la capacidad de una especie de establecerse e invadir, por esto, las especies clasificadas con un nivel de riesgo alto, serán consideradas como especies invasoras. Aquellas que no tienen la información suficiente para un análisis claro, se clasifican en un nivel entre moderado y alto; lo que obliga a no tomar ninguna decisión sobre la introducción hasta que no se defina y se obtenga un resultado claro (Baptiste *et al.*, 2010).

Finalmente, con base a lo anterior se puede limitar o no la entrada de una especie exótica a un territorio como medida de precaución, control o manejo a partir del uso de los análisis de riesgo. Sin embargo, a pesar de esta potencialidad no se puede debido a que: 1) Determinar un nivel de riesgo como aceptable es potestad de cada país en el cual, según su legislación tiene derecho a establecer su nivel de riesgo aceptable. 2) No es posible determinar con exactitud si se establecerá un organismo introducido, así como tampoco es posible determinar qué efectos específicos tendrá.

Metodología usada en Colombia para evaluar el análisis de riesgo de especies introducidas.

Para el análisis de riesgo de especies de plantas introducidas, en Colombia se propone adoptar la Herramienta de análisis de riesgo de establecimiento e invasión I3N (Zalba & Ziller, 2007), que se ejecuta en una planilla de Microsoft Excel y consta de 28 preguntas agrupadas en tres categorías: riesgo de establecimiento o invasión, impacto potencial y



dificultad de control o erradicación.

Las preguntas toman en cuenta los reportes previos de invasión y ajuste climático, además de los aspectos de la biología de la especie como, la capacidad de establecer poblaciones a partir de pocos individuos, la propagación vegetativa y de producir compuestos alelopáticos, sin dejar de lado la producción de semillas, entre otros caracteres; también considera características de la especie en cuanto a tolerancia a los incendios, su afectación sobre la economía, la salud humana y usos tradicionales del suelo, así como temas referentes a la facilidad de control de la especie (Baptiste *et al.*, 2010).

De acuerdo con Zalba & Ziller (2007), cada especie debe ser evaluada con base a estas preguntas y cada categoría arrojará una valoración numérica; el nivel de riesgo de una especie se calcula como el promedio de los valores correspondientes a cada una de las preguntas contestadas.

Modelos de distribución geográfica para especies.

Los modelos de distribución son una herramienta útil implementada para conocer a profundidad otros aspectos de la biodiversidad en diferentes escalas geográficas a nivel de paisaje. Este tipo de análisis usualmente se desarrolla considerando que existen factores del ambiente que hacen parte integral del nicho de las especies y que estos influyen sobre su capacidad de dispersión (Paterson *et al.*, 2015). En este sentido, se reconoce que a gran escala los parámetros bioclimáticos que componen una región, generan presiones eco-fisiológicas sobre las poblaciones limitando así la posibilidad de colonizar otras áreas (Pearson y Dawson, 2003). Mientras que a pequeña escala se discuten otros aspectos relacionados con el modelo de dispersión, la adecuación, interacciones entre especies, entre otros (Peterson *et al.*, 2011; Soberón *et al.*, 2017).

Ahora bien, las fluctuaciones históricas registradas en las condiciones climáticas a nivel global, no han sido estables en el tiempo. De este modo, el acelerado cambio climático generado por diversos factores antropogénicos ha fragmentado y contaminado



variedad de ecosistemas, reduciendo el espacio natural de unas comunidades y fortaleciendo la rápida dispersión de otras (Pecl et al. 2017).

En este sentido, el algoritmo de Maxent (Phillips et al. 2018) ha sido utilizado para estudiar la distribución geográfica de distintos modelos biológicos con base en el principio de máxima entropía, enfoque que contribuye al desarrollo de metodologías que posibilitan monitorear el curso de las especies en ciertas áreas. Es así como este principio se aplica considerando el análisis entre datos geo-referenciados de una cantidad determinada de individuos y su relación con diferentes variables ambientales en un área de ocurrencia (Cuervo- Robayo et al. 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha documentado que los modelos de distribución han sido desarrollados para múltiples objetivos, de los cuales se pueden resaltar: la estimación de zonas prioritarias para la conservación, ubicación de áreas para implementar colecciones vivas, identificación de regiones con alta vulnerabilidad al cambio climático y determinación de áreas susceptibles a la colonización de organismos invasores (Cuervo-Robayo et al. 2017; Smith et al. 2017). Esta última aplicación representa un importante campo de investigación para desarrollar herramientas de manejo, ya que la propagación de especies exóticas constituye una amenaza no sólo para la fauna y flora local (Rudas y Torres 2009). En este sentido, se considera que estas pueden generar afectaciones también en zonas de cultivo, por ejemplo, donde la ocurrencia masiva de especies invasoras puede llegar a reducir la productividad de los mismos.



HIPÓTESIS DE TRABAJO

Es de especial importancia en el análisis de una especie introducida, asumir el principio de precaución, que indica que se debe considerar que todos los aspirantes a una introducción son potencialmente invasores y, en este sentido, se debe ver y tratar como una posible invasora aquella especie que ya haya sido reportada como invasora en otro lugar. Así mismo, como principio de prevención, debe considerarse que en las regiones donde se encuentran especies invasoras siempre acarrearán consigo efectos negativos sobre la diversidad biológica nativa (FAO, 2004).

Teniendo en cuenta que entre la comunidad de malezas asociada a las plantaciones bananeras del departamento del Magdalena pueden estar presentes especies introducidas, la hipótesis del trabajo fue:

Las especies de malezas no nativas o exóticas asociadas a los sistemas agrícolas bananeros presentan algún nivel de riesgo de llegar a convertirse en plantas invasoras tanto en las plantaciones de banano como en otros ambientes del departamento.



OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el riesgo de invasión de las plantas introducidas asociadas a sistemas bananeros del departamento del Magdalena.

Objetivos específicos

Identificar las especies introducidas entre la flora asociada a las plantaciones bananeras del Magdalena.

Categorizar el nivel de riesgo de las especies introducidas de acuerdo a la capacidad invasiva que representen para el agro ecosistema y la flora nativa mediante la metodología I3N.

Validar modelos de distribución potencial de las especies con riesgo de invasión alto en el departamento basado en variables bioclimáticas con las tres especies de mayor nivel de riesgo de invasión.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Para el estudio se tuvieron en cuenta los inventarios realizados por Quintero-Pertuz (2020) en cuatro zonas agroecológicas de producción bananera del departamento del Magdalena (Figura 1), denominadas zona Baja, Media, Alta y Norte según diferencias en las características climáticas y edáficas que presentan (Tabla 1). Las zonas agroecológicas descritas anteriormente, abarcan un área de 13.218 hectáreas de plantaciones bananeras en el departamento, distribuidas en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta en los municipios de Ciénega, Zona Bananera, Retén, Aracataca y Fundación y en plantaciones localizadas entre las desembocaduras de los ríos Guachaca y Don diego en el norte del distrito de Santa Marta.

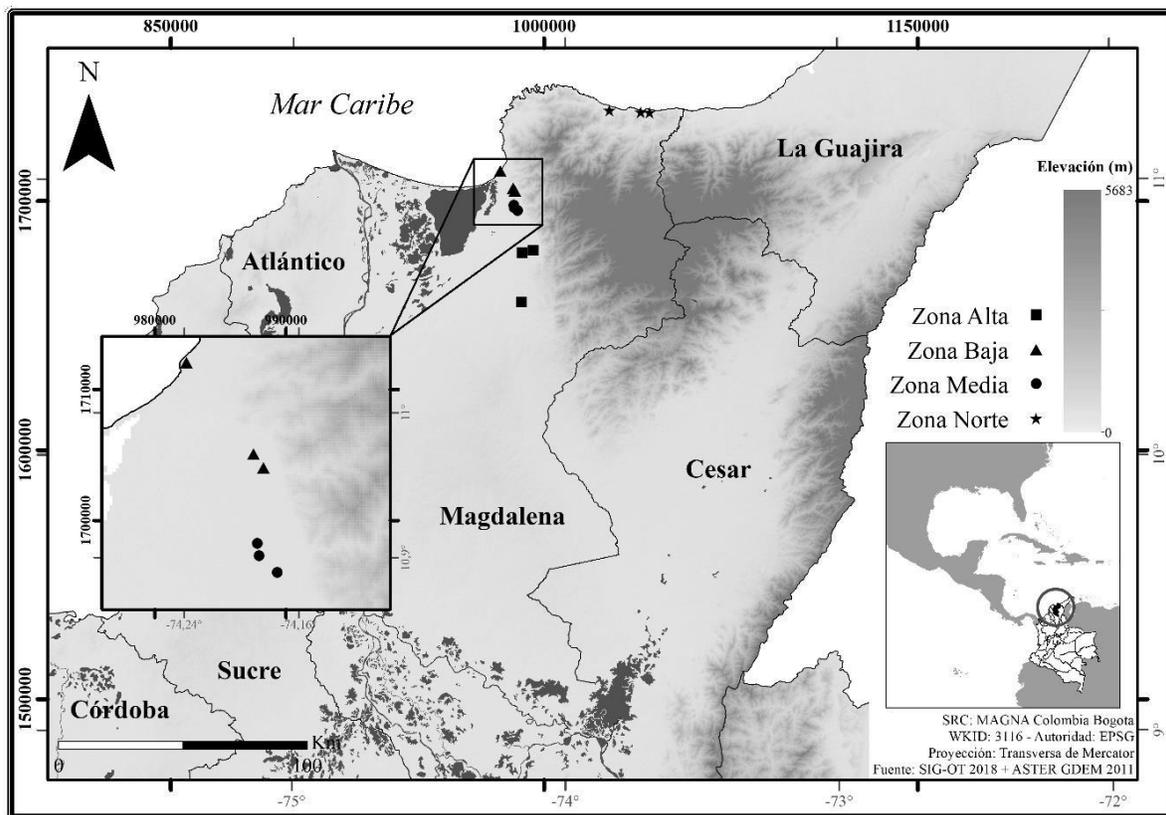


Figura 1 Localización del área de estudio

Tabla 1 Descripción edafo-climática de las zonas y área total de estudio.
Tomado de Quintero-Pertuz, (2020).

Zonas	Características		Municipio / Sector	Fincas	Área sembrada por zonas (ha)	Área estimada (ha)
	Clima	Suelo				
Norte ★	Cálido seco	pH 6,5	Santa Marta:	Caballos	1.100	14
	Altitud 20 m	Texturas	Guachaca, Don	Linás 1 y 4		
	P 1500 mm	medias y	Diego	Don Diego		
	ETP 1739 mm	gruesas;				
	T 27° C	Fertilidad				
Alta ■	Cálido seco	pH 6,3	Zona Bananera:	Crisol	5.418	67
	Altitud 53 m	Textura fina a	Guacamayal,	Esmeralda		
	P 1400 mm	media	Sevilla,	La Fortuna		
	ETP 1500 mm	Limitados por	Tucurínca	Carmen-		
	T 28,4°C	sales y sodio		Paraíso- Envidia		
Media ●	Cálido seco	pH 7,1	Zona Bananera:	Chavela	5.500	68
	Altitud 30 m	Textura fina a	Río frío, Orihueca	Josefina		
	P 800 mm	media		Florida		
	ETP 1890 mm	Limitados por				
	T 27,5°C	sales y sodio				
Baja	Cálido muy seco	pH 8,6	Ciénaga: La	Burdeos	1.200	15
	Altitud 24 m	Textura media a	Aguja, Costa	Margarita		
	P 500 mm	gruesa	Verde	Rosa		
	ETP 1910 mm	Fertilidad baja a		La Lola		
	T 30°C	Moderada				
Total área de muestreo (ha)						164

P= precipitación media anual; ETP= evapotranspiración potencial; T= temperatura

Identificación de plantas introducidas

A partir del inventario de Quintero-Pertuz, (2020) se establecieron aquellas especies que no son nativas o autóctonas (introducidas) mediante la constata de las colecciones de referencia del herbario de la Universidad del Magdalena (UTMC), revisión bibliográfica de trabajos asociados con especies invasoras en Colombia (Cárdenas *et al.*, 2010; Cárdenas *et al.*, 2011; Gutiérrez *et al.*, 2012; García-Duque *et al.*, 2016; Cárdenas *et al.*, 2017) y las bases de datos Bernal *et al.*, 2019 (<http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co/es/>), Tropicos.org (<http://www.tropicos.org/>) y Centre for Agricultural Bioscience International, CABI (<https://www.cabi.org/>)

Categorización del nivel de riesgo de invasión de las especies introducidas.

A las especies del inventario relacionadas como introducidas se les realizó la categorización del nivel de riesgo de invasión a partir de la herramienta de análisis de riesgo de establecimiento e invasión I3N (Zalba & Ziller, 2007). Esta herramienta contempla someter a evaluación a partir de 28 criterios (preguntas) agrupadas en tres categorías, así: riesgo de establecimiento o invasión, impacto potencial, y dificultad de control o erradicación, las cuales se desarrollaron dentro de una plantilla predeterminada en Excel (Anexo 1) elaborada y facilitada por los autores Zalba & Ziller (2007).

Para categorizar las especies según su potencial invasivo, se utilizó información sobre su comportamiento, ya que las preguntas tienen en cuenta los reportes previos de invasión y ajuste climático, además de los aspectos de la biología de la especie como la capacidad de establecer poblaciones a partir de pocos individuos, la propagación vegetativa y de producir compuestos alelopáticos, sin dejar de lado la producción de semillas, entre otros caracteres; también considera características de la especie en cuanto a tolerancia a los incendios, su afectación sobre la economía, la salud humana y usos tradicionales del suelo, así como temas referentes a la facilidad de control de la especie (Cárdenas *et al.*, 2010).

La metodología I3N establece que la suma de los puntajes correspondientes a cada pregunta indica el riesgo asociado a la especie evaluada y define cuatro categorías de riesgo de invasión: *alto* (valores entre 5,01 y 10,0), *moderado* (valores entre 3,01 y 4,50), *bajo* (valores entre 1,0 y 3,0) y *requiere mayor análisis* (valores entre 4,56 y 5,0) (Zalba & Ziller, 2007). Luego del análisis se presenta el listado de las especies introducidas y categorizadas según el nivel de riesgo de invasión.

Validación de un modelo de distribución potencial las especies introducidas

El modelo se validó para las tres especies que resultaron con mayor riesgo de invasión después del análisis con la herramienta I3N. Estas fueron *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Cyperus rotundus* L. y *Cynodon nlenfluensis* Vanderyst. Para generar los modelos de distribución potencial de las tres especies, se usaron dos fuentes; la primera correspondió a once registros de la base de datos de (Quintero-Pertuz, 2020) ubicados en los municipios de Ciénaga, Zona Bananera y Santa Marta – Magdalena y la segunda correspondió a la base de datos Global Biodiversity Information Facility (GBIF), de la cual se pudieron obtener los registros de cada especie para Colombia, provenientes de diferentes herbarios del mundo (Tabla 2).

Tabla 2 Procedencia de los datos de ocurrencias utilizados para el entrenamiento del modelo

Especie	Código GBIF	GBIF
<i>Cynodon dactylon</i>	https://doi.org/10.15468/dl.qfbflv	91
<i>Cyperus rotundus</i>	https://doi.org/10.15468/dl.qiuoys	71
<i>Cynodon nlefluensis</i>	https://doi.org/10.15468/dl.ccoecc	32

En todos los casos los datos fueron depurados mediante el lenguaje de programación R (R Core Team 2019), de la siguiente manera: se eliminó la redundancia por ubicación geográfica teniendo en cuenta que el modelo establece que un registro por celda es suficiente para el análisis, que para la aplicación del modelo el espacio de análisis es dividido en celdas cuadradas, la longitud de los lados de las celdas es de aproximadamente 1 km. Se excluyeron datos duplicados, vacíos y aquellos cuya ubicación se hubiera encontrado fuera del rango de estudio en Colombia. Como datos de prueba se crearon para *C. dactylon* y *Cyperus rotundus* 200 registros aleatorios y para

Cynodon nlenfluensis 500 registros aleatorios (datos de ausencia) con una distribución al azar dentro del área de trabajo para entrenar el modelo. Adicionalmente, estos fueron utilizados para comprobar la ubicación de los registros en el espacio ambiental.

Obtención de datos ambientales y determinación del área de calibración (M)

Como insumo para la implementación del modelo fueron utilizadas 19 variables bioclimáticas de 30 segundos (Tabla 3), obtenidas de la base de datos Worldclim 2.0 (Hijmans *et al.*, 2005) en conjunto con el modelo elevación digital SRTM-30 obtenido de la base de datos GMTED (https://topotools.cr.usgs.gov/gmted_viewer/viewer.htm). Para calcular el área de dispersión *M* se utilizaron las ecorregiones terrestres de los continentes (Bailey, 2018) de las cuales sólo fueron consideradas aquellas donde ocurrieron los registros de recolecta en Colombia.

Tabla 3 Código y descripción de variables bioclimáticas

Código	Variable Bioclimática
BIO1	Media anual de temperatura
BIO2	Rango medio diario
BIO3	Iso-termalidad (BIO2/BIO7)(*100)
BIO4	Temperatura estacional (Desviación estándar * 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más caliente
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango de temperatura Anual (BIO5-BIO6)
BIO8	Media de temperatura del trimestre más húmedo
BIO9	Media de temperatura del trimestre más seco
BIO10	Media de temperatura del trimestre más caliente
BIO11	Media de temperatura del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Precipitación estacional (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más caliente
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

Depuración de datos ambientales

Los datos ambientales fueron depurados a partir de los valores definidos en cada pixel a través del software R (R Core Team 2019). De este modo, se redujo el número de variables ambientales a partir de la implementación de una correlación de Spearman y se seleccionaron para el análisis sólo aquellas que tuvieron valores de correlación $<0,7$.

Modelo de distribución

Los diferentes modelos de distribución potencial para cada una de las especies en el departamento del Magdalena, fueron realizados con base en el algoritmo de máxima entropía MaxEnt v3.4.1 (Phillips *et al.*, 2018), el cual proyecta la distribución más adecuada considerando la información disponible. En este sentido, la depuración de variables ambientales, datos geográficos y el área de dispersión M , fueron los insumos utilizados para elaborar el modelo de distribución potencial de cada especie. Por otro lado, para validar el desempeño de cada uno de los modelos se usó la métrica de análisis ROC (*Receiver Operating Characteristic*), mediante el cálculo de los valores de AUC (*Area Under the Curve*), los cuales consideran modelos con un desempeño bueno cuando los valores se distribuyen entre 0,7 y 0,9 (Peterson *et al.*, 2011). Finalmente, para visualizar los resultados obtenidos se generaron archivos específicos para cada especie en formato ASC y fueron proyectados a través del software QGIS v2.18.23 (QGIS Development Team, 2019). En este sentido, se presenta un modelo que identifique aquellas zonas del departamento que cumplan las condiciones para que las especies se puedan establecer en ellas; este insumo será clave para detectar áreas donde las especies invasoras pueden estar presentes y donde posiblemente estarán en el futuro.

RESULTADOS

Identificación de plantas introducidas

De las 204 especies de malezas registradas en el inventario de Quintero-Pertuz *et al.*, (2020), se constató que 163 son nativas (79,9%), 34 introducidas (16,7%) y 7 de origen desconocido (3,5%).

Las 34 especies que fueron identificadas como “introducidas” se agrupan en 27 géneros y 13 familias. Las familias que presentaron un mayor número de especies introducidas fueron *Poaceae* (14 especies), *Asteraceae* (4), *Rubiaceae* (3), *Amaranthaceae*, *Curcubitacea* y *Cyperaceae* con dos especies cada una, mientras que siete familias fueron representadas solamente por una especie (Tabla 4).

Los géneros que presentaron mayor número de especies introducidas fueron *Oldenlandia* con tres especies, *Emilia*, *Cyperus*, *Cynodon*, *Digitaria*, *Eragrostis* y *Panicum* con dos especies cada uno, mientras que 19 géneros estuvieron representados por una sola especie (Tabla 4).

Tabla 4 Listado de las especies introducidas en el área de estudio

Familia	Especie
Acanthaceae	<i>Thunbergia fragans</i> Roxb
Amaranthaceae	<i>Achyranthes aspera</i> L.
	<i>Cyathula prostrata</i> (L.) Blume
Apocynaceae	<i>Sarcostemma clausum</i> (Jacq.) Schult.
Asteraceae	<i>Cyanthillium cinereum</i> (L.) H. Rob.
	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.
	<i>Emilia coccinea</i> (Sims) G. Don.
	<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC.
Commelinaceae	<i>Murdannia nudiflora</i> (L.) Brenan
Cucurbitacea	<i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Standl.
	<i>Momordica charantia</i> L.
Cyperaceae	<i>Cyperus iria</i> L.
	<i>Cyperus rotundus</i> L.
Fabaceae	<i>Alysicarpus vaginalis</i> (L.) DC.
Myrtaceae	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston

Poaceae	<i>Bothriochloa pertusa</i> (L.) A.Camus
	<i>Brachiaria distachya</i> (L.) Stapf.
	<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst.
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.
	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.
	<i>Digitaria bicornis</i> (Lam.) Roem. & Schult.
	<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.
	<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link
	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaerth.
	<i>Eragrostis amabilis</i> (L.) Wight & Am.
	<i>Eragrostis ciliaris</i> (L.) R. Br.
	<i>Panicum antidotale</i> Retz.
	<i>Panicum maximum</i> Jacq.
	<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.)
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.
Rubiaceae	<i>Oldenlandia corymbosa</i> L.
	<i>Oldenlandia lancifolia</i> (Schumach.) DC.
	<i>Oldenlandia umbellata</i> L.
Solanaceae	<i>Solanum scabrum</i> Mill.

Categorización del nivel de riesgo de invasión de las especies introducidas.

De las 34 plantas introducidas evaluadas, 26 fueron categorizadas con *riesgo alto* de invasión con un nivel de incertidumbre (NI) entre 0 y 6,9, tres con *riesgo moderado* de invasión con un NI entre 0 y 3,45 y cinco se posicionan en la categoría *requiere mayor análisis* con un NI mayor que 15 (Tabla 5). La metodología I3N sugiere que no se consideren evaluaciones con incertidumbre superiores a 15, por lo tanto, las evaluaciones realizadas para las especies con NI menores que 15, presentan un alto grado de confiabilidad. Las especies con nivel de incertidumbre mayor que 15 requieren mayor análisis por no tener suficiente información reportada en diferentes fuentes bibliográficas.

Cyperus rotundus, *Cynodon dactylon* y *C. nlemfuensis* con valores de nivel de riesgo de 7,09, 7,09 y 6,97, respectivamente, fueron las especies de mayor riesgo de invasión (Tabla 5). A partir de estas especies se validó un modelo de distribución potencial en el departamento basado en variables bioclimáticas.

Tabla 5 Valores de riesgo de invasión de plantas introducidas asociadas a sistemas agrícolas bananeros del departamento del Magdalena. Se muestra el Riesgo de Invasión (RI), Nivel del riesgo (NR) y Nivel de incertidumbre (NI).

ESPECIE	Riesgo de Invasión	Nivel de Riesgo	NI (%)
Cyperus rotundus	7,09	ALTO	0
Cynodon dactylon	7,09	ALTO	0
Cynodon nlemfuensis	6,97	ALTO	0
<i>Cyanthillium cinereum</i>	6,67	ALTO	0
<i>Murdannia nudiflora</i>	6,61	ALTO	0
<i>Bothriochloa pertusa</i>	6,61	ALTO	0
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	6,61	ALTO	0
<i>Panicum máximum</i>	6,61	ALTO	0
<i>Eleusine indica</i>	6,55	ALTO	0
<i>Brachiaria distachya</i>	6,50	ALTO	3,45
<i>Thunbergia fragrans</i>	6,44	ALTO	3,45
Momordica charantia	6,24	ALTO	0
<i>Achyranthes aspera</i>	6,12	ALTO	0
<i>Solanum scabrum</i>	6,06	ALTO	0
Rottboellia cochinchinensis	5,94	ALTO	0
<i>Cyathula prostrata</i>	5,88	ALTO	0
<i>Digitaria bicornis</i>	5,68	ALTO	6,9
Syzygium jambos	5,64	ALTO	0
<i>Alysicarpus vaginalis</i>	5,52	ALTO	0
<i>Cyperus iría</i>	5,52	ALTO	0
<i>Panicum antidotale</i>	5,48	ALTO	6,9
<i>Eclipta prostrata</i>	5,45	ALTO	0
<i>Echinochloa colona</i>	5,45	ALTO	0
<i>Digitaria sanguinalis</i>	5,44	ALTO	3,45
<i>Lagenaria siceraria</i>	5,39	ALTO	0
<i>Portulaca oleracea</i>	5,15	ALTO	0
<i>Emilia coccinea</i>	4,56	MODERADO	3,45
<i>Emilia sonchifolia</i>	4,48	MODERADO	0
<i>Eragrostis amabilis</i>	4,13	MODERADO	3,45
<i>Sarcostemma clausum</i>	6,07	REQUIERE MAYOR ANÁLISIS	20,69
<i>Eragrostis ciliaris</i>	4,79	REQUIERE MAYOR ANÁLISIS	17,24
<i>Oldenlandia corymbosa</i>	5,11	REQUIERE MAYOR ANÁLISIS	20,69
<i>Oldenlandia lancifolia</i>	4,89	REQUIERE MAYOR ANÁLISIS	20,69
<i>Oldenlandia umbellata</i>	3,54	REQUIERE MAYOR ANÁLISIS	24,14

Distribución potencial de especies introducidas con un alto nivel de riesgo de invasión *Cynodon nlemfuensis*, *Cynodon dactylon* y *Cyperus rotundus*.

Para el entrenamiento del modelo, luego del proceso de depuración de los datos de ocurrencia (tabla 6), se conservaron un total de 25 registros de *C. nlemfuensis*, 57 de *C. dactylon* y 32 de *C. rotundus*. El descarte de los datos de ocurrencia, se debió al proceso de supresión por redundancia espacial.

Tabla 6 Procedencia de los datos de ocurrencias utilizados para el entrenamiento del modelo.

Fuente del registro	<i>Cynodon nlemfuensis</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Cyperus rotundus</i>
Presente trabajo	2	2	6
Universidad Nacional de Colombia (ICN)	1	13	3
Herbario Universidad de Caldas (FAUC)	13	11	6
Herbario Nacional Colombiano (COL)	4	29	21
Tropicos Specimen Data	2	10	8
Herbario CDMB – Jardín Botánico Eloy Valenzuela	1	1	2
Colección Herbario Federico Medem Bogotá – FMB	1	6	5
Instituto de Ciencias Naturales (ICN-MHN-FIT)	1	1	
Herbario Universidad Católica de Oriente	5		
Herbario Pontifica Universidad Javeriana	1		
The AAU Herbarium Database	1		
Herbario Orinocense Colombiano de la UNAL sede Orinoquía (HORI)		1	1
Herbario virtual bosques secos de Colombia FMB (IAvH)		2	3
Naturalis Biodiversity Center (NL) – Botany		4	
H.A. Stephens Herbarium		1	
Colección de Herbario		1	
Fundación humedales: Ciénaga de la Virgen entre otras		1	
Colecciones del herbario regional Catatumbo Sarare		1	
Herbario Amazónico Colombiano		2	
Plantas del bosque seco en Colombia – Herbario JBGP		1	
Herbario Universidad del Quindío		6	
NMNH Extant Specimen Records			6
Royal Botanic garden Edinburgh herbarium			1
CSIC-Real Jardín Botánico-Colección de Plantas Vasculares (MA)			1
Caracterización de vegetación Ciénaga la Virgen, entre otros			5

Registro biológicos bosque seco de Colombia herbario JBGP			3
Colección del Herbario del Jardín Botánico UNAL sede Caribe			1
Herbario Virtual Bosque Seco de Colombia, Universidad de Córdoba (HUC)			4
Análisis de integridad biológica Convenio CVC – Univalle 108 de 2017			1
Total registros	32	93	77

Como resultado de la correlación de Spearman se obtuvieron las siguientes variables para entrenar el modelo, en este sentido, la distribución de cada especie fue modelada utilizando las variables de la Tabla 7.

Tabla 7 Variables bioclimáticas utilizadas para entrenar el modelo de cada especie, luego del proceso de depuración.

Especie	Variables
<i>C. nlemfuensis</i>	Elevación, BIO2, BIO3, BIO8, BIO15, BIO17, BIO19
<i>C. dactylon</i>	Elevación, BIO2, BIO4, BIO15, BIO18, BIO19
<i>C. rotundus</i>	Elevación, BIO2, BIO4, BIO9, BIO11, BIO18, BIO19

Igualmente, se tuvieron en cuenta siete variables bioclimáticas para *C. nlemfuensis* considerando la presencia de los registros en cinco ecoregiones (Tabla 8), cinco para *C. dactylon* con registros en siete eco-regiones (Tabla 9) y seis para *C. rotundus* con registro en seis eco-regiones (Tabla 10).

Tabla 8 Ecorregiones obtenidas para medir el área de calibración (M) para *C. nlemfuensis*.

Dominio	División	Eco-región
Húmedo Tropical	Régimen de Sabana	Prado de bosque temporalmente húmedo
	Sabana	Sabanas húmedas de hierba alta y bosques de sabana Sabanas de hierbas moderadamente húmedas
	Bosques de montaña	Bosque de Páramo y Bosque de Prados
	Selva	Bosques siempre-verdes constantemente Húmedos

Tabla 9 Ecorregiones seleccionadas para medir el área de calibración (M) para *C. dactylon*.

Dominio	División	Eco-región
Húmedo Tropical	Sabana	Sabanas secas y bosques abiertos
		Sabanas húmedas de hierba alta y bosques de sabana
		Sabanas de hierbas moderadamente húmedas
		Bosques estacionalmente húmedos, predominantemente deciduos
	Régimen de Sabana	Prado de bosque temporalmente húmedo
	Selva	Bosques siempre-verdes constantemente húmedos
	Bosques de Montaña	Bosque de Páramo y Bosque de Prados

Tabla 10 Ecorregiones seleccionadas para medir el área de calibración (M) para *C. rotundus*.

Dominio	División	Eco-región
Húmedo Tropical	Régimen de Sabana	Prado de bosque húmedo estacional
	Sabana	Sabanas secas y bosques abiertos
		Sabanas húmedas de hierba alta y bosques de sabana
		Sabanas de hierbas moderadamente húmedas
	Régimen de Selvas y Montañas	Bosques estacionalmente húmedos, predominantemente deciduos
		Bosque de Páramo y Bosque de Prados

La evaluación del desempeño del modelo de distribución reportó valores AUC (Área bajo la curva) de 0,91, 0,82 y 0,92 para *C. nlemfuensis*, *C. dactylon* y *C. rotundus*, respectivamente, que sugieren un buen desempeño ($p < 0,01$) según la escala de Peterson *et al.* (2011). Estos resultados fueron observados a través del análisis ROC (Figura 2), donde las curvas ROC presentan valores altos de sensibilidad y se encuentran por encima de la línea de no discriminación entre sitios, lo que indica que efectivamente el modelo explica mejor la distribución de cada especie que el azar.

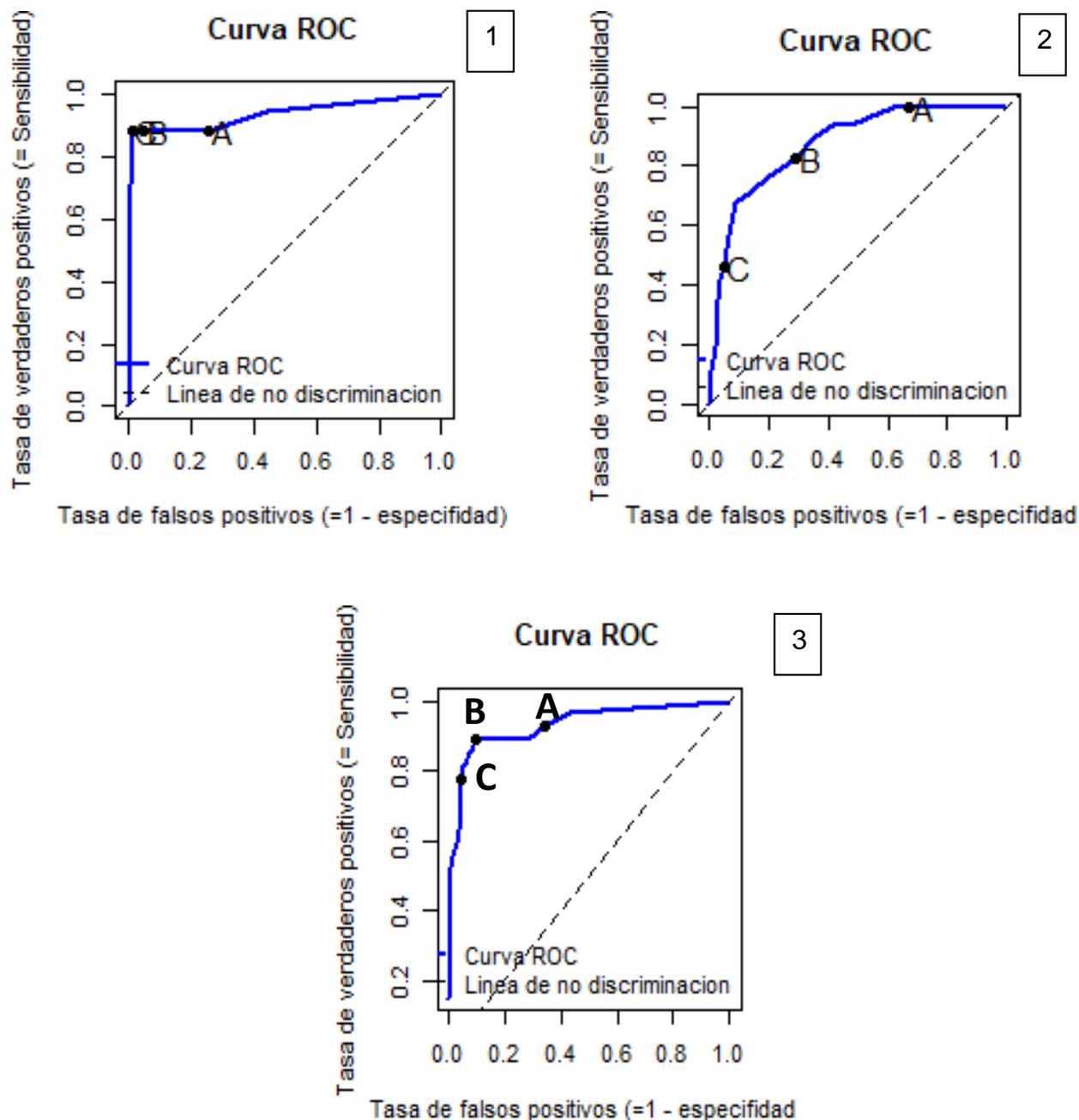
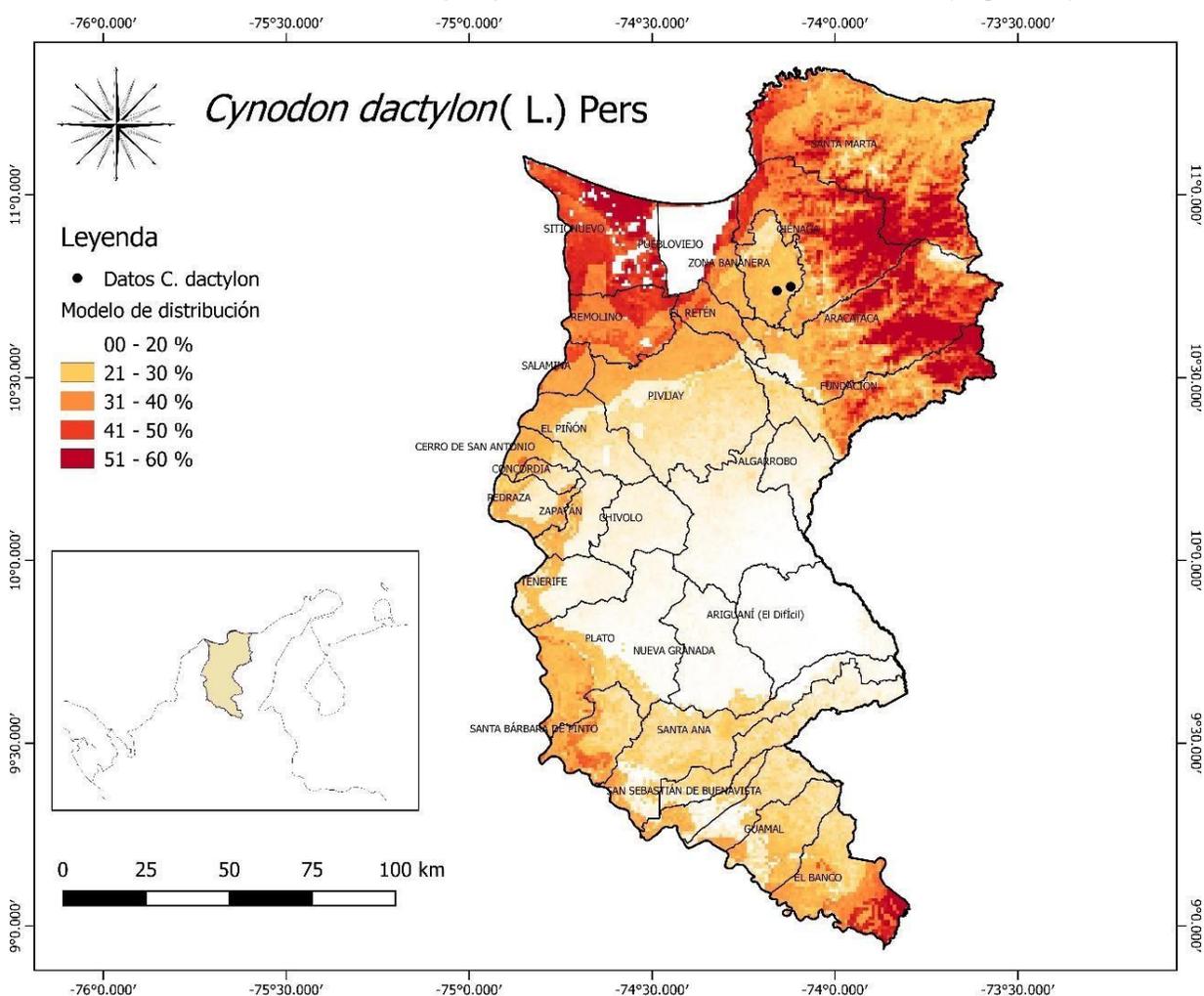


Figura 2 Curva ROC para la evaluación del desempeño del modelo de distribución de *C. nlemfuensis* (1), *C. dactylon* (2) y *C. rotundus* (3) considerando tres umbrales de evaluación (A, B y C).

Las ecorregiones incluyeron en general ecosistemas de Sabanas y Bosques húmedos, con estaciones temporal o constantemente húmedas. Las zonas con probabilidad de distribución de las tres especies que se detectaron en el departamento del Magdalena a partir del modelo, se proyectan en las Figuras 3, 4 y 5 que se presentan a continuación

Modelo de distribución de *Cynodon dactylon*

La probabilidad de ocurrencia de la especie en el departamento del Magdalena es de 60 %, siendo mayor en zonas con alto nivel de elevación y los cuerpos de agua lacustres asociados a la Ciénega Grande de Santa Marta. Aunque los datos muestran que la especie *C. dactylon* ocurre en regiones con elevaciones entre los 8 – 3200 msnm, la mayor distribución se presenta en zonas por encima de los 1000 msnm. La idoneidad ambiental registrada se caracteriza por presentar un rango en la media anual de temperaturas entre 14 - 28 °C, con un promedio de precipitaciones para el trimestre más húmedo de 714 mm, mientras que para el más seco es de 227 mm (Figura 3).



La proyección del modelo permitió observar que en el departamento del Magdalena las áreas con alta elevación (>1000 msnm) que presentan un rango entre 31 - 60% de probabilidad de ocurrencia, corresponden a los municipios de Santa Marta, Ciénaga, Aracataca y Fundación. Así mismo, las zonas de baja elevación (0 msnm) que presentaron este mismo rango, correspondieron a los municipios de Sitio Nuevo, Remolino y Puebloviejo (Figura 4). Por otro lado, municipios asociados a complejos lagunares del río Magdalena ubicados en el sur del departamento como El Banco, Guamal, San Sebastián de Buenavista, Santa Ana, Plato, Tenerife, entre otros, presentaron probabilidad de distribución entre 31 – 50 % para la ocurrencia de la especie.

Ahora bien, los datos suministrados en el presente proyecto se ubican en la zona sur del municipio de Zona Bananera, donde el rango de idoneidad ambiental se encuentra entre 21 – 40 % para la probabilidad de ocurrencia y los municipios como Chivolo, Sabanas de San Ángel y Algarrobo ubicados en la zona centro-sur del departamento, presentan poca probabilidad de distribución (0 – 21 %).

Modelo de distribución de *Cyperus rotundus* L.

Se encontró que en el departamento del Magdalena esta especie presenta un 99% de probabilidad de ocurrencia, siendo mayor en zonas bajas y muy húmedas. En este sentido, aunque se ha registrado que la especie *C. rotundus* ocurre en regiones con elevaciones entre los 8 – 2700 msnm, la mayor distribución se presenta en zonas por debajo de los 600 msnm. La idoneidad ambiental registrada se caracteriza por presentar un rango en la media de temperaturas anuales entre 14 - 28 °C, con un promedio de precipitaciones para el trimestre más húmedo de 613 mm, mientras que para el más seco es de 157 mm.

La proyección del modelo permitió observar que, en el departamento, aquellas zonas asociadas a los complejos lagunares del río Magdalena en toda su extensión, presentan un rango entre 61 – 99 % de idoneidad para la ocurrencia de la especie, siendo más propensa su distribución en los municipios de Sitionuevo, Puebloviejo, Remolino, Salamina y

aquellas zonas aledañas al río Magdalena en El Piñón, Cerro de San Antonio, Concordia, Pedraza, Zapayan, Tenerife, entre otros (Figura 4).

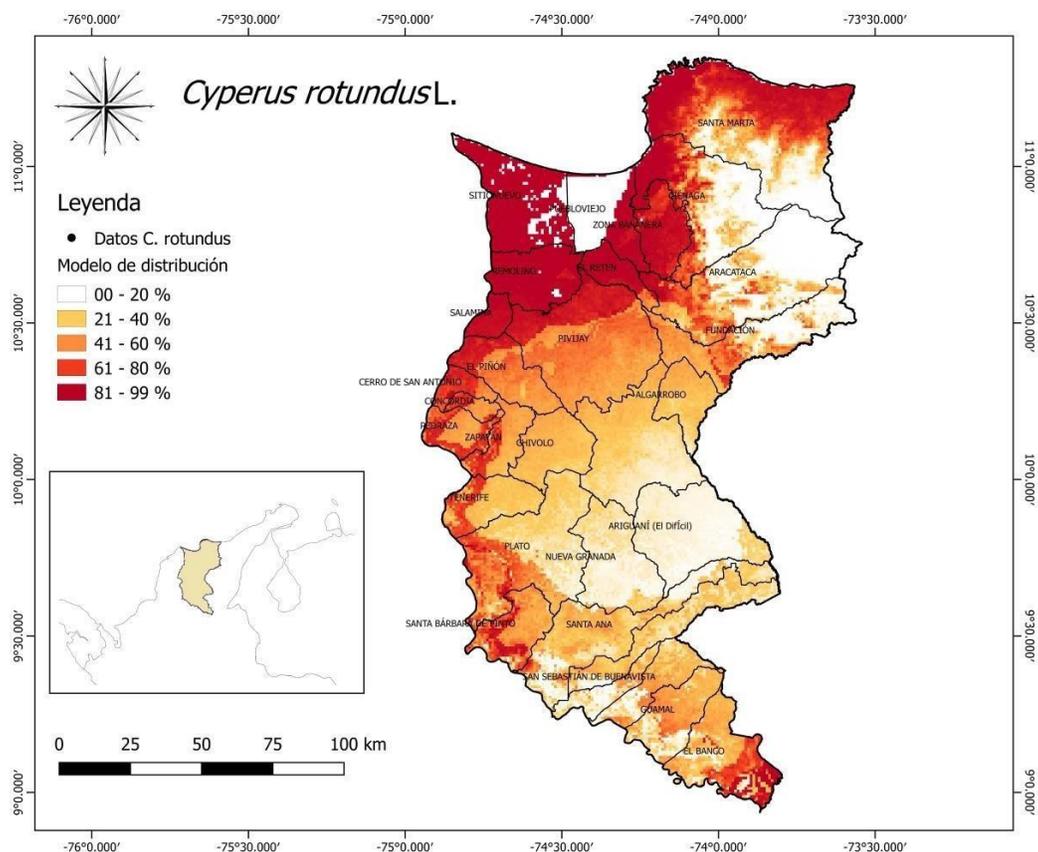


Figura 4 Mapa con proyección de modelo de distribución para la especie *C. rotundus* entre 0 – 99% de idoneidad en el departamento del Magdalena.

Así mismo, los datos suministrados en el presente proyecto muestran que el municipio Zona Bananera presenta alta probabilidad de ocurrencia dada la idoneidad ambiental (99%) del área. Mientras que municipios ubicados en las zonas montañosas de la Sierra Nevada de Santa Marta en la jurisdicción de municipios de Santa Marta, Ciénaga Aracataca y Fundación presentan baja probabilidad de ocurrencia con un rango entre 0 - 20 %. Otros municipios de tierras bajas como Chivolo, Nueva Granada, presentan rangos entre 20 – 40 % de probabilidad.

Modelo de distribución de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst

La proyección del modelo determinó que la probabilidad de ocurrencia de *C. nlemfuensis* fue del 7% para zonas específicas del departamento del Magdalena. Los

datos muestran que la especie se ha registrado en regiones con elevaciones entre los 0 – 2300 msnm, caracterizadas por presentar estaciones marcadas entre las épocas de invierno y sequías periódicas. Estas áreas usualmente presentan un rango en el promedio anual de temperaturas entre 15 – 28 °C, con un promedio de precipitaciones para el trimestre más húmedo de 733 mm, mientras que para el más seco es de 290 mm (Figura 5).

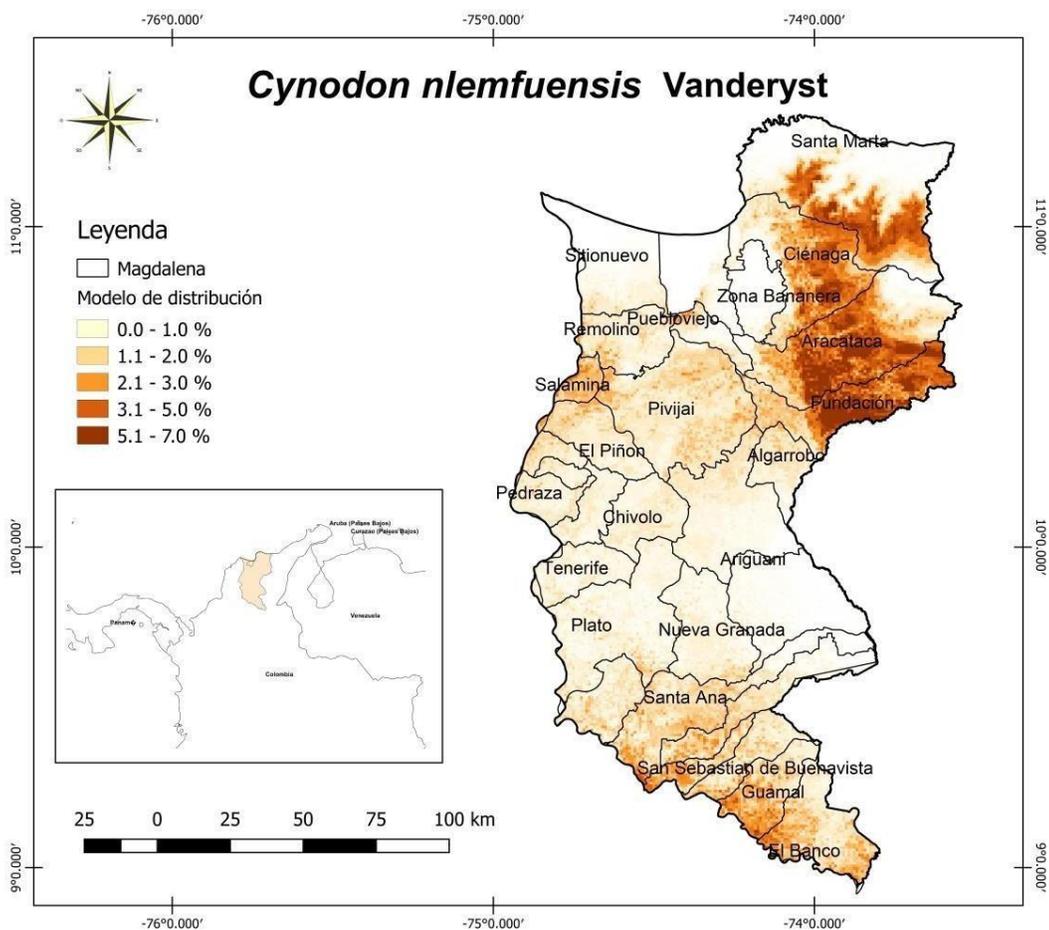


Figura 5 Mapa con proyección de modelo de distribución para la especie *C. nlemfuensis* entre 0 – 90% de idoneidad en el departamento del Magdalena.

Las áreas más propensas para la ocurrencia de la especie, fueron aquellas asociadas a zonas de tierras altas de la Sierra Nevada de Santa Marta (3,1 – 7,0%), en la jurisdicción de los municipios de Santa Marta, Ciénaga, Aracataca y Fundación. Así mismo, se encontró que las zonas ubicadas en inmediaciones de los municipios de Salamina, Pivijai, Remolino, Guamal, El Banco, entre otros, presentan menor potencial de distribución (2.1 – 5.0 %), seguidos por los municipios de Sitionuevo, Tenerife, Plato, Ariguaní, entre otros, donde la idoneidad presentó un rango de distribución entre 0.0 – 1.0 %.

DISCUSIÓN

Plantas introducidas e invasoras

La categorización con riesgo de invasión alto de 26 especies introducidas, de las 34 evaluadas en este estudio, soporta el argumento expuesto por Quintero et al. (2020), de no subestimar la presencia de las malezas no nativas asociadas a las plantaciones bananeras del departamento del Magdalena. Así mismo, sustenta la importancia de considerar el principio de precaución ante la presencia de especies introducidas. De acuerdo con Capdevilla et al. (2006), el principio de precaución aplicado al caso de las invasiones biológicas, debe adoptarse asumiendo que todas las especies exóticas son sospechosas de ser invasoras hasta que pruebas fehacientes demuestren lo contrario. En este sentido, se debe ver y tratar como una posible invasora aquella especie que ya haya sido reportada como invasora en otro lugar (FAO, 2004).

Siete especies de las 26 categorizadas con riesgo de invasión alto, se encuentran entre las 18 malezas más importantes del mundo (Holm *et al.*, 1977; Randall, 2017; CABI, 2020), estas son *Cyperus rotundus* (Cyperaceae), *Cynodon dactylon* *Eleusine indica*, *Rottboellia cochinchinensis*, *Echinochloa colona*, *Digitaria sanguinalis* (Poaceae) y *Portulaca oleracea* (Portulacaceae). De estas, *C. dactylon* y *R. cochinchinensis*, conjuntamente con *Cynodon nlemfuensis* (Poaceae), *Momordica charantia* (Cucurbitaceae) y *Syzygium jambos* (Myrtaceae) fueron reportadas como especies de riesgo de invasión alto en Colombia (Baptiste *et al.*, 2010; Cárdenas *et al.*, 2011; Mora-Goyes & Barrera-Cataño, (2015); García-Duque *et al.*, 2016; Cárdenas *et al.*, 2017).

Cabe resaltar que los resultados de nuestro análisis para veintiuna especies (*Thunbergia fragrans*, *Achyranthes aspera*, *Cyathula prostrata*, *Cyanthillium cinereum*, *Eclipta prostrata*, *Alysicarpus vaginalis*, *Murdannia nudiflora*, *Lagenaria siceraria*, *Cyperus rotundus*, *Cyperus iría*, *Bothriochloa pertusa*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Panicum máximum*, *Eleusine indica*, *Brachiaria distachya*, *Digitaria bicornis*, *Panicum antidotale*, *Echinochloa colona*, *Digitaria sanguinalis*, *Portulaca oleracea* y *Solanum scabrum*) constituyen el primer reporte de malezas introducidas con Alto Riesgo de Invasión para el departamento del Magdalena, e incluso para Colombia.

De las 26 especies con nivel de riesgo de invasión alto, once son de la familia Poaceae, de la que muchos de sus géneros y taxones son dominantes en una gran diversidad de ecosistemas incluyendo los agrícolas (Biganzoli & Zuloaga, 2015; Randall, 2017). Rivera *et al.* (2010), reportaron a Poaceae, Asteraceae y Cyperaceae como las familias con mayor número de especies en cultivos de plátano en Colombia. Por su parte Sosa-Madrazo *et al.* (2011), reportaron a Poaceae, Cyperaceae, Commelinaceae, Amarantaceae y Portulacaceae como las familias con mayor representatividad en agroecosistemas de los municipios de Lajas, Cruces y Palmira. Así mismo Hoyos *et al.*, (2015), registraron 135 especies de maleza en cultivos frutales de algunos municipios del departamento del Meta, la mayoría de las familias Poaceae, Asteraceae y Cyperaceae. En comunidades de malezas asociadas a plantaciones bananeras del departamento del Magdalena también las Poaceae, Fabaceae y Asteraceae fueron las de mayor riqueza específica (Quintero-Pertuz *et al.*, 2020).

En cuanto a especies invasoras, Cárdenas, *et al.*, (2010), Cárdenas *et al.* (2011) reportaron que la mayoría pertenece a las familias Asteraceae, Poaceae y Fabaceae. Por su parte, García-Duque *et al.* (2016), quienes orientaron su trabajo a enlistar 243 especies de plantas introducidas y potencialmente invasoras en el Altiplano del Oriente Antioqueño, reportan a Fabaceae, Poaceae, Solanaceae, Asteraceae como las familias más representadas en los diferentes municipios.

De acuerdo con Giraldo-Cañas (2010), la amplia adaptación ecológica que presentan las más de 10.000 especies de Poaceae, se debe a las diferencias que presentan en su fisiología, bioquímica, anatomía, ultra-estructura y requerimientos ambientales. Estas características, les otorgan un alto potencial de invasión ya que favorecen su rápido crecimiento y propagación vegetativa permitiéndoles colonizar rápidamente nuevas áreas (Cárdenas *et al.*, 2011). En el caso de *C. dactylon* y *C. nlemfluencis*, que fueron las gramíneas con mayores puntajes en la categoría de riesgo de invasión alto, la capacidad de propagarse vegetativamente por medio de rizomas y estolones, y por semillas, que se producen en gran número, de tamaño pequeño de fácil dispersión por el viento y animales, y que además, pueden aumentar su viabilidad en nuevos sitios de colonización,

son atributos que sumados a la vía fotosintética C4 que poseen, favorecen su invasividad (Giraldo-Cañas & Baptiste, 2017).

Por su parte la familia Asteraceae representada en este estudio por dos especies con nivel de riesgo de invasión alto (*Cyanthilium cinerium*, *Eclipta prostrata*) y dos con riesgo moderado (*Emilia coccinea* y *E. sonchifolia*), se caracterizan por su amplia distribución a nivel global, con presencia en varios sistemas productivos (García, 2014; Christenhusz y Byng, 2016). Las especies de esta familia tienen una tasa de crecimiento foliar rápido, incluso en condiciones de sequía, producen gran cantidad de semillas que se dispersan por diferentes mecanismos, lo que las potencian como plantas problema (Sosa-Madrado, *et al.*, 2011). De hecho, *Cyanthilium cinerium* actualmente, se considera invasora en muchas islas del Océano Pacífico, Nueva Zelanda, Singapur, Costa Rica, Guatemala, Nicaragua, Panamá, Islas Galápagos, Cuba, Puerto Rico y las Islas Vírgenes, y *Eclipta prostrata* se señala de ser maleza problemática en varios cultivos (CABI, 2020). *E. coccinea* se comporta como una maleza ambiental y agrícola que por su rápido crecimiento tiene el potencial de colonizar rápidamente áreas alteradas, terrenos baldíos, jardines, bordes de bosques, pastos, tierras cultivadas activas y abandonadas, bordes de caminos, matorrales secos y riberas de ríos. Esta especie está adaptada para crecer en una amplia gama de condiciones ambientales y tiene semillas dispersadas por el viento, que son características que pueden facilitar su propagación a nuevos hábitats. Está catalogada como invasora en Hawái, República Dominicana y Nueva Caledonia (CABI, 2020). Por su parte, *E. sonchifolia* es maleza en varios cultivos y se ha demostrado que reduce los rendimientos y actúa como reservorio de patógenos de los cultivos. Actualmente está catalogado como invasora en India, México, Brasil, Paraguay, Costa Rica, Galápagos, Puerto Rico, Islas Vírgenes, República Dominicana, Trinidad y Tobago, Madeira, Reunión, Hawai y en muchas otras islas del Océano Pacífico (CABI, 2020).

En el caso de las Cyperaceae, representada en este estudio por las especies *Cyperus rotundus* y *C. iria* con nivel de riesgo de invasión alto, se caracteriza porque varias de sus especies tienen importancia nociva, ya que pueden crecer en diversos entornos y competir con los cultivos (Tajkia *et al.*, 2018). *C. rotundus* ha sido considerada como la

maleza número uno entre las peores del mundo, reportada en más de 90 países donde crece rápidamente infestando a más de 50 cultivos diferentes en todo el mundo (Holm *et al.* 1977).

La gran mayoría de las especies introducidas en la zona de estudio son producto de actividades humanas, como ganadería, agricultura, horticultura, y demás, que representan una fuente de ingresos para la región. Es cierto que las especies que requieren mayor atención son las categorizadas *como riesgo alto*, se debe prestar especial cuidado a las categorizadas como riesgo moderado debido ya que presentan niveles de riesgo mayores porque tienen la capacidad de naturalizarse en la zona y competir con especies endémicas, sin embargo, se requerirá un análisis más a fondo que incluya diferentes aspectos porque puede que cuenten con mecanismos de dispersión que les permitan extenderse rápidamente sobre la región lo que podría definir las como especies con altas probabilidades de ser invasoras.

Distribución potencial de las especies introducidas con nivel de riesgo de invasión alto.

Mediante modelos de distribución potencial es posible detectar, con alto grado de confiabilidad, áreas donde las especies invasoras pueden estar presentes y donde posiblemente estarán en el futuro en el departamento del Magdalena, lo que constituye un insumo clave para alertas tempranas. El establecimiento de poblaciones fuera de su área de distribución natural, usualmente ocurre por la falta de depredadores, el gran éxito reproductivo y la capacidad de adaptación en nuevas zonas, cuyos patrones climáticos en general son similares al de su nicho de origen (CEAM, 2009). En este sentido, los diferentes modelos de distribución creados mostraron que existe idoneidad ambiental (en diferentes proporciones) para la probabilidad de ocurrencia de las especies *Cyperus rotundus*, *C. dactylon* y *C. nlemfuensis* en el departamento del Magdalena.

En el caso de *C. rotundus*, que presentó la mayor probabilidad de distribución en el departamento, esta se relaciona con zonas de tierras bajas por debajo de los 600 msnm y cálidas. La contribución de la temperatura estacional (BIO4) a la idoneidad observada, puede responder a la capacidad biológica de las raíces de esta especie para resistir y

reproducirse en zonas con temperaturas elevadas (Ueki, 1969). Además, uno de los principales mecanismos de dispersión se encuentra asociado a las corrientes de agua (Holm *et al.*, 1977; Rudas & Torres, 2009), las cuales permitirían explicar su probabilidad de distribución en las zonas húmedas.

Por otro lado, se ha reportado que *C. rotundus* no resiste bajas temperaturas ya que sus tubérculos no son capaces de germinar en estas condiciones (Holm *et al.*, 1977), lo que resulta ser consistente con la proyección obtenida en este modelo. No obstante, los patrones climáticos asociados al departamento en conjunto con la disponibilidad de nutrientes (por el aporte de fertilizantes) en los cultivos implementados en la zona, aumentan la probabilidad de ocurrencia. No obstante, *C. rotundus* crece en todo tipo de suelos y se puede encontrar en una amplia variedad de hábitats, incluidos campos cultivados, áreas de desechos, bordes de caminos, pastos, riberas de ríos, bancos de arena, canales de riego, orillas de ríos y arroyos y áreas naturales; debido a su crecimiento insidioso y rápido y su tolerancia a los herbicidas ha sido considerada como una de las peores malezas del mundo (Holm *et al.*, 1977). La capacidad de esta especie de producir un extenso sistema de tubérculos subterráneos que pueden regenerar nuevos individuos, incide principalmente en su invasividad y, en consecuencia, es muy difícil de controlar una vez que se establece (USDA-NRCS, 2014).

Por su parte, *Cynodon dactylon*, segunda especie con mayor probabilidad de distribución en el departamento, está asociada principalmente a zonas montañosas por encima de 1000 msnm. Su capacidad para resistir bajas temperaturas (USDA-NRCS, 2020), le permitiría establecerse naturalmente en las áreas montañosas de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM). Se encontró menor probabilidad de distribución en áreas lacustres de tierras bajas, donde la precipitación estacional es una de las variables climáticas que más contribuye a la humedad relativa, como factor clave en la dispersión de esta especie.

Ahora bien, la introducción de *C. dactylon* en diferentes países se ha efectuado con el objetivo comercial de producir forraje, crear campos deportivos, entre otros (Mathews,

2005). Considerando lo anterior, es posible que *C. dactylon* se haya dispersado y establecido naturalmente en otras zonas (dada la capacidad de adaptación a diferentes temperaturas), convirtiéndose así en una potencial amenaza en la competencia por recursos con especies tanto nativas como cultivadas. Sumado a lo anterior, las condiciones bimodales y estacionales del clima del departamento, también podrían contribuir al éxito de la dispersión de esta especie, ya que ésta es capaz de soportar largos periodos de sequía y humedad (USDA-NRCS, 2020). Cabe resaltar que estos patrones climáticos podrían ser similares a las de los ecosistemas de origen en el continente asiático (Watson *et al.*, 1992), los cuales, son consistentes con la idoneidad observada en este modelo.

El mayor rango de idoneidad de *C. dactylon* es en la zona sur del municipio de Zona Bananera lo que implica necesariamente que la ocurrencia puede estar asociada a la actividad agrícola de la zona, las cuales pueden contribuir a la dispersión de esta especie (Cook *et al.* 2005). Otro aspecto importante que contribuye a la rápida colonización, se relaciona con los componentes de manejo agronómico en el desarrollo de diferentes monocultivos, puesto que estos también influyen significativamente para la propagación de esta especie, lo cual, subyace en el hecho de que los compuestos químicos asociados a los fertilizantes, también son aprovechados por *C. dactylon* para su desarrollo reproductivo, limitando así la absorción de estos recursos por parte de las plantas cultivadas (USDA-NRCS, 2020). Eventualmente, *C. dactylon* requeriría manejo agronómico para mitigar el impacto potencial que puede tener sobre el rendimiento de los diferentes sistemas agrícolas de esta zona del departamento.

Cynodon nlemfuensis, que presentó menor probabilidad de ocurrencia en el departamento del Magdalena, especialmente en tierras bajas, con respecto a las dos especies anteriores, presenta incapacidad para sobrevivir en condiciones de inundación prolongada (FAO, 2013). De esta manera, la referencia ambiental se asoció principalmente en zonas montañosas de la SNSM. Esta correspondencia se relacionó principalmente con aspectos biológicos de acuerdo con la preferencia de *C. nlemfuensis* por suelos bien drenados (CABI, 2020). Es posible que la transformación en el uso del

suelo del departamento para fines agro-industriales, pueda propiciar condiciones que permitan su propagación en zonas de cultivo.

Aunque la probabilidad de ocurrencia de esta especie en el departamento del Magdalena sea baja (0 – 7 %), no se descarta que el cambio en el uso de suelo para el desarrollo de diferentes tipos de cultivos, contribuyan en su dispersión dadas las características del microclima donde se obtuvieron los registros. Sin embargo, la información de ocurrencia disponible para esta especie es limitada, por lo que se recomienda especial cuidado a la hora de desarrollar programas de manejo agronómico. Además, es necesario recolectar más información que permita verificar que efectivamente, la idoneidad ambiental en el departamento es menor para esta especie. Así mismo, es importante monitorear las poblaciones de *C. dactylon* y *C. nlemfuensis* en los agro-ecosistemas porque éstas son reconocidas a nivel mundial como gramíneas invasoras que por su rápido crecimiento y propagación vegetativa pueden reducir la diversidad de las áreas que invade (Labrada, 1994).

Los resultados del análisis de riesgo de invasión de especies exóticas, que realizamos a partir del inventario de Quintero-Pertuz *et al.* (2020), resultan relevantes, y se constituyen en fuente de información confiable, dado que se soporta en información secundaria obtenida de evaluaciones de campo ejecutadas recientemente con evidencias en colecciones de herbario, metodología similar utilizada por Baptiste *et al.* (2010), García-Duque *et al.* (2016) y Cárdenas *et al.* (2011, 2017) referentes en el análisis de riesgo de invasión de plantas exóticas en Colombia.



CONCLUSIONES

- De 34 especies de plantas introducidas asociadas a sistemas agrícolas bananeros del Magdalena, 26 son de Riesgo de Invasión Alto y tres de riesgo moderado.
- El presente se constituye en el primer reporte para veinte especies de malezas introducidas con Alto Riesgo de Invasión en el departamento del Magdalena.
- Mediante modelos de distribución potencial es posible detectar áreas donde las especies invasoras pueden estar presentes y donde posiblemente estarán en el futuro en el departamento del Magdalena, lo que constituye un insumo clave para alertas tempranas.



RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer el análisis de riesgo a todas las especies, no solo las introducidas sino aquellas naturalizadas y nativas, ya que hay algunas que han sido reportadas a nivel mundial como invasoras, tal es el caso de *Caladium bicolor*.

Determinado el riesgo de invasión alto de especies introducidas asociadas a la comunidad de malezas de plantaciones bananeras, varias consideradas como plantas invasoras en diferentes cultivos alrededor del mundo, como medida preventiva se debe priorizar y definir planes de manejo o control para cada una de estas especies en las plantaciones de banano, con el fin de controlar su dispersión e invasión en otros ecosistemas.



REFERENCIAS

Aguirre-Muñoz, A., Mendoza, R., (2009). Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México, 277-318 pp.

Andrade-C., M. G. (2011). Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ambiente-política. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 35 (137): 491-507.

Arcila, A, M. & Quintero, M. P. (2005). Impacto e historia de la introducción de la hormiga loca (*Paratrechina fulva*) a Colombia. Grupo de Investigación en hormigas, Universidad del Valle.

Arrieta, J., Martínez, A., Romero, J., Contreras, A., Bracho, L., & Gamero, G. (2004). Principales malezas del asocio yuca/maíz en la Región Caribe Colombiana. Cereté, Córdoba: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA.

Asociación de Bananeros de Colombia – AUGURA. 2020. Coyuntura bananera 2020. Disponible en: <https://augura.com.co/biblioteca-digital/>



Bailey, R. (2018). United States Department of Agriculture. Forest service. Obtenido en fecha 20 de marzo de 2021 de Rocky Mountain Research Station.: <https://www.fs.fed.us/rm/ecoregions/products/map-ecoregions-continents/>

Baptiste, M., Castaño, N., Cárdenas, D., Gutiérrez, F., Gil, D. & Lasso, C., editores (2010). Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 200 p.

Bentivegna, D., & Fernández, O. (2010). Malezas invasoras: estrategias para una determinación y manejo apropiados. *AgroUNS* 7 (13): 5-7.

Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (eds.). 2019. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>

Capdevila-Argüelles L, Iglesias-García A, Orueta JF y Zilletti B. 2006. Especies Exóticas Invasoras: Diagnóstico y bases para la prevención y el manejo. Ministerio de Medio Ambiente, España. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/257966848_Especies_Exoticas_Invasoras_Diagnostico_y_bases_para_la_prevencion_y_el_manejo

Cárdenas, D., Castaño, N. & Cárdenas-Toro, J. (2010). Análisis de riesgo de especies de plantas introducidas para Colombia. En Baptiste, M., Castaño, N.,



Cárdenas, D., Gutiérrez, F., Gil, D. & Lasso, C. editores (2010). Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 200 p.

Cárdenas, D., Castaño, N. & Cárdenas-Toro, J. (2011). Plantas introducidas, establecidas e invasoras en Amazonia colombiana. Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas –Sinchi, 154 pp.

Centre for Agricultural Bioscience International- CABI. (2020). Obtenido en fecha 20 de diciembre de 2020 de <https://www.cabi.org>

Cárdenas López D, Nicolás Castaño Arboleda y Juliana Cárdenas-Toro. (2010). Análisis de riesgo de especies de plantas introducidas para Colombia. En: Baptiste M.P., Castaño N., Cárdenas D., Gutiérrez F. P., Gil D.L. y Lasso C.A. (eds). 2010. Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 51-72 p.

Cárdenas-López, D., Baptiste, M., & Castaño, N. editores (2017). Plantas exóticas con alto potencial de invasión en Colombia. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C. 295 pp.



Cárdenas-Toro, J., Baptiste, M., Ramírez, W. & Aguilar-Garavito, M. editores (2015). Herramienta para la gestión de áreas afectadas por invasiones biológicas en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, 152 pp.

Castro-Díez, P., Valladares, F. & Alonso, A. (2004). La creciente amenaza de las invasiones biológicas. *Ecosistemas* 13(3): 61-68.

Chaves, M.E. & Arango, M. editores. (1998). Informe Nacional sobre el Estado de la Biodiversidad en Colombia. Tomo I. Diversidad Biológica. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, PNUMA, Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente, 150 pp.

Colectivo de Educación Ambiental - CEAM. (2009). Manual de buenas prácticas para evitar la propagación de especies exóticas invasoras. Aragón: Gobierno de Aragón, departamento de medio ambiente. Conotrocolor, 32 pp.

Comité Asesor Nacional, S.E. (2010). Estrategia Nacional sobre especies invasoras en México: Prevención, control y erradicación. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.



Convenio sobre la Diversidad Biológica – CDB (2009). Especies exóticas invasivas. Una amenaza a la diversidad biológica. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica.

Cook, B.G., Pengelly, B.C., Schultze-Kraft, R., Taylor, M., Burkart, S., Cardoso-Arango, J.A., González-Guzmán, J.J., Cox, K., Jones, C., Peters, M. (2020). Tropical Forages: An interactive selection tool. 2nd and Revised Edn. International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia and International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya. Consultado de www.tropicalforages.info en fecha 20 de abril de 2021.

Cuervo-Robayo, A., Escobar, L., Osorio-Olvera, L., Nori, J., Varela, S., Martinez-Meyer, E., Velasquez-Tibatá, J., Rodriguez-Soto, C., Munguia, M., Castañeda-Alvarez, N., Lira-Noriega, A., Soley-Guardiola, M., Serra-Diaz, J., Townsend-Peterson, A. (2017). Introducción a Los Análisis Espaciales Con Énfasis En Modelos de Nicho Ecológico. Biodiversity Informatics 12: 45-57.

Culliney, T. W. (2005). Benefits of classical biological control for managing invasive plants. Critical Reviews in Plant Sciences 24: 131-150.

Emerton, L. & Howard, G. (2008). A Toolkit for the Economic Analysis of Invasive Species. Global Invasive Species Programme, Nairobi.



Fuentes, C. & Romero, C. (1991). Una visión del problema de las malezas en Colombia. *Agronomía Colombiana* 8(2): 364-378.

Gutiérrez, F. (2006). Estado de conocimiento de especies invasoras. Propuesta de lineamientos para el control de los impactos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, D.C. - Colombia. 158 pp.

Gutiérrez, F. de P., C. A. Lasso, M. P. Baptiste, P. Sánchez-Duarte y A. M. Díaz. (Eds). 2012. VI. Catálogo de la biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia, 335 pp.

Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P. & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965–1978.

Holm, L., Plucknett, D., Pancho, J. & Herberger, J. (1977). The world's worst weeds. Distribution and biology. Hawaii: University Press of Hawaii, 610 pp.

Hoyos, V., Martínez, M. & Guido, P. (2015). Malezas asociadas a los cultivos de cítricos, guayaba, maracuyá y piña en el departamento del Meta, Colombia. *Revista Colombiana de ciencias hortícolas* 9(2): 247-258.



Kleunen, M., Dawson, W., Essl, F., Pergl, J., Winter, M., Weber, E., Kreft, H., Weigelt, P., Kartesz, J., Nishino, M., Antonova, L., Barcelona, J., Cabezas, F., Cardenas, D., Cardenas-Toro, J., Castaño, N., Chacon, E., Chatelain, C., Ebel, A., Figueiredo, E., Fuentes, N., Groom, Q., Henderson, L., Inderjit, Kupriyanov, A., Masciadri, S., Meerman, J., Morozova, O., Moser, D., Nickrent, D., Patzelt, A., Pelsler, P., Baptiste, M., Poopath, M., Schulze, M., Seebens, H., Shu, W., Thomas, J., Velayos, M., Wieringa, J., Pysek, P. (2015). Global exchange and accumulation of non-native plants. *Nature* 525 (7567): 100- 103.

Labrada, R, 1987. Importancia y necesidad del manejo de malezas en la agricultura. Conferencia impartida en el curso de postgrado sobre control de malas hierbas en cítricos. Jagüey Grande, Matanzas.

Labrada R, 1994. *Cynodon dactylon* en: Labrada R, Caseley JC, Parker C, eds. *Weed Management for Developing Countries*. FAO Plant Production and Protection Paper 120. Rome, Italy FAO, 44-49.

Lorenzo, P. & Rodríguez-Echeverría, S. (2015). Cambios provocados en el suelo por la invasión de acacias australianas. *Ecosistemas* 24(1): 59-66.

Mack, R., Simberloff, D., Lonsdale, W., Evans, H., Clout, M., Bazzaz, F. (2000). Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecology* 10(5): 689-710.



Mathews, S. (2005). Sudamérica Invadida: el creciente peligro de las especies exóticas invasoras. Programa Mundial sobre Especies Invasoras (GISP), 80 pp.

McNeely, J., Mooney, H., Neville, L., Schei, P., Waage, J. (2001). A Global Strategy on Invasive Alien Species. IUCN Gland, Switzerland, and Cambridge, UK.

Menalled, F. (2010). Consideraciones ecológicas para el desarrollo de programas de manejo integrado de malezas. Agroecología 5: 73-78.

Millennium Ecosystem Assessment – MEA. (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS. (2011). Plan Nacional para la Prevención, el Control y Manejo de las Especies Introducidas, Trasplantadas e Invasoras: Diagnóstico y listado preliminar de especies introducidas, Trasplantadas e invasoras en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt -IAvH, The Nature Conservancy – Colombia – TNC, Franco, A., Baptiste, M., Díaz, J., Montoya, M. Bogotá, D.C.: Colombia, 131 pp.



Mora-Goyes M.F. & J.I. Barrera-Cataño. 2015. Catálogo de especies invasoras del territorio CAR. Pontificia Universidad Javeriana, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. Bogotá, D.C. 220p.

Myers, J.H. & D.R. Bazely. 2003. Ecology and control of introduced plants. Cambridge Univ. Press, U.K. 313 p

Newbold, T., Hudson, L., Hill, S., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R., Borger, L., Bennett, D., Choimes, A., Collen, B., Day, J., De Palma, A., Diaz, S., Echeverria-Londoño, S., Edgar, M., Feldman, A., Garon, M., Harrison, M., Alhusseini, T., Ingram, D., Itescu, Y., Kattge, J., Kemp, V., Kirkpatrick, L., Kleyer, M., Pinto-Correia, D., Martin, C., Meiri, S., Novosolov, M., Pan, Y., Phillips, H., Purves, D., Robinson, A., Simpson, J., Tuck, S., Weiher, E., White, H., Ewers, R., Mace, G., Scharlemann, J., Purvis, A. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature* 520(7545): 45-50.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. (2004). Normas internacionales para medidas fitosanitarias (NIMF), reglamentación para la importación. Directrices para el análisis de riesgo de plagas. Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. (2013). Grassland Species Profiles. Detailed description of more than 600 grassland species. Food and Agriculture Organization of the United Nations.



Palma-Ordaz, S. & Delgadillo-Rodríguez, J. (2014). Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de baja california, México. *Botanical Sciences* 92(4): 587-597.

Paterson RRM, Kumar L, Taylor S, Lima N (2015) Future climate effects on suitability for growth of oil palms in Malaysia and Indonesia. *Sci Rep* 5:1–11. doi: 10.1038/srep14457

Pearson R, Dawson T (2003) Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimae envelope models useful? *Glob Ecol Biogeogr* 12:361–371

Pecl, G., Araújo, M., Bell, J., Blanchard, J., Bonebrake, T., Chen, I., Clark, T., Colwell, R., Danielsen, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R., Griffis, R., Hobday, A., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M., Jennings, S., Lenoir, J., Linnetved, H., Martin, V., McCormack, P., McDonald, J., Mitchell, N., Mustonen, T., Pandolfi, J., Pettorelli, N., Popova, E., Robinson, S., Scheffers, B., Shaw, J., Sorte, C., Strugnell, J., Sunday, J., Tuanmu, M., Vergés, A., Villanueva, C., Wernberg, T., Wapstra, E., Williams, S. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science* 355 (6332): eaai9214.



Peterson, A., Soberón, J., Pearson, R., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., Bastos-Araújo, M. (2011). Ecological Niches and Geographic Distributions. En Levin, S. & Horn, H. (editors). Monographs in Population Biology. Princeton University Press. United Kingdom, 31-39 pp.

Phillips, S., Dudík, M., & Schapire, R. (2018). Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Descargado de https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ en fecha 9 de mayo de 2021.

Pimentel, D., McNair, S., Janecka, J., Wightman, J., Simmonds, C. O'Connell, C., Wong, E., Russel, L., Zern, J., Aquino, T., Tsomondo, T. (2001). Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions, Agriculture, Ecosystems & Environment 84 (1): 1-20.

QGIS (2018). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Obtenido de <http://qgis.osgeo.org> en fecha 12 de diciembre de 2020.

Quijano-Abril, Mario. (2016). Categorización y análisis de la distribución de especies introducidas, establecidas e invasoras en el altiplano del Oriente Antioqueño. En Quijano, M. (editor). Flora del Oriente Antioqueño Biodiversidad, Ecología y Estrategias de conservación. Academia Colombiana de Ciencias



Exactas, Físicas y Naturales, Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente.109-136 pp.

Quintero-Pertuz, I. (2020). Biología y ecología de malezas asociadas a plantaciones bananeras del departamento del Magdalena - Colombia. v1.0. Universidad del Magdalena. Dataset/Occurrence. <https://doi.org/10.15472/tykq0p>

Quintero-Pertuz I., Carbonó-Delahoz E., Jarma-Orozco A. 2020. Weeds Associated with Banana Crops in Magdalena Department, Colombia. Planta Daninha 38. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100015>

R Development Core Team. (2019). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.r-project.org/>

Randall, R.P. (2017). A Global Compendium of Weeds. 3rd Edition. Perth, Western Australia. R.P. Randall.

Restrepo-Santamaría, D., & Álvarez-León, R. (2013). Algunos aspectos sobre la introducción de especies, y estado del conocimiento sobre los peces introducidos en el departamento de Caldas, Colombia. Luna Azul 37: 268- 281.



Richardson, D., Pyšek, P., Rejmánek, M., Barbour, M., Panetta, F. West, C. (2000). Naturalization and invasion of alien plants: Concepts and definitions. *Diversity and Distributions* 3: 14-93.

Rivera, S., Guzman, O., & Zamorano, C. (2010). Arvenses hospedantes de nemátodos fitoparásitos en el cultivo de plátano. *Fitopatología colombiana* 34(2): 47-51.

Rodríguez, A. & Agüero, R. (2000). Identificación de malezas trepadoras del banano (*Musa sp.*) en la zona Caribe de Costa Rica. *Agronomía mesoamericana* 11(1): 123-125.

Rudas, G., & Torres, L. (2009). Indicadores de seguimiento al uso de bienes y servicios de la biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, 93 pp.

Rueda-Almonacid, J.V. (1999). Situación actual y problemática generada por la introducción de “rana toro” a Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 23: 367-393.

Sabrina Kumschick, Sven Bacher, Thomas Evans, Zuzana Marková, Jan Pergl, Petr Pyšek, Sibylle Vaes-Petignat, Gabriel van der Veer, Montserrat Vilà, Wolfgang Nentwig. 2015. Comparing impacts of alien plants and animals in Europe



using a standard scoring system. *Journal of Applied Ecology* 2015, 52, 552–561.

<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12427>

Sánchez Pérez, G. (2002). Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia. *Economía y desarrollo* 1(1): 79-98.

Simpson, A., and Eyler, M.C., 2018. First comprehensive list of non-native species established in three major regions of the United States: U.S. Geological Survey Open-File Report 2018-1156, 15 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20181156>.

Smith, A., Christianson, D., & Sanín, C. (2017). Distribution Modeling Using R: From Start to Finish. *Work Annu Meet Ecol Soc Am*.

Soberón J, Osorio-Olvera L, Peterson T (2017) Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Rev Mex Biodivers* 88:437–441. doi: 10.1016/j.rmb.2017.03.011

Sosa-Madrado, M., Ortega-Meseguer, I., & Díaz-Peña, M., Castellanos González, L. (2011). Identificación de malezas invasoras en los cultivos en los municipios Lajas, Cruces y Palmira. *Universidad de Cienfuegos, Cuba* 67 pp.

Ueki, K. (1969). Studies on the control of nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) on the germination of a tuber, In: *Proc. Asian-Pacific Weed Sci. Soc. Conference* 2:355–369.



Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza- UICN. (1999).
Recomendaciones. Especies Invasoras Exóticas. Montreal, Canadá.

U.S. Department of Agriculture-USDA (2020). Natural Resources
Conservation Service – NRCS. Obtenido de
<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/site/national/home/> en fecha 20 de abril
de 2021.

Watson, L.D., Macfarlane, T.D. & Dallwitz, M.J. (1992). The grass genera of
the world: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval;
including synonyms, morphology, anatomy, physiology, phytochemistry, cytology,
classification, pathogens, world and local distribution, and references. Version: 15th
December 2020. www.delta-intkey.com

Zalba, S., & Ziller, S. (2007). Herramientas de prevención de invasiones
biológicas de I3N. Manual de Uso. The Nature Conservancy, Programa de Especies
Exóticas Invasoras da América do Sul. Obtenido de
[https://sib.gob.ar/archivos/I3N_ManualHerramientasdePrevenciondeInvasio
nes.pdf](https://sib.gob.ar/archivos/I3N_ManualHerramientasdePrevenciondeInvasiones.pdf) en fecha 20 de enero de 2021.

Ziller, S., Reaser, J., Neville, L. & Brandt, K. (2005). "Invasive alien species in
South America: national directory of resources", Global Invasive Species
Programme. ". Cape Town, South Africa.



ANEXOS.

Anexo 1. Categorías y criterios considerados en el análisis de riesgo de establecimiento e invasión de la herramienta I3N (Zalba & Ziller, 2007)

A- RIESGO DE ESTABLECIMIENTO E INVASIÓN	A1- Antecedentes de invasión
	A2- Ajuste climático ¿Cuál es el grado de similitud climática entre el área de origen o las regiones donde la especie invade y el área en la que se la introduce?
	A3- Amplitud ecológica ¿Cuál es el grado de especialización de la especie en cuanto a sus requerimientos de hábitat? ¿Cuál es su grado de oportunismo respecto de las alteraciones humanas del ambiente?
	A4- Capacidad de establecimiento ¿Cuál es la capacidad de la especie de establecer poblaciones a partir de uno o unos pocos individuos?
	A5- Velocidad de crecimiento y maduración
	A6- Reproducción vegetativa
	A7- Producción de semillas
	A8- Dispersión natural de las semillas
	A9- Dispersión asociada a actividades humanas (intencional)
	A10- Dispersión asociada a actividades humanas (accidental)
B- IMPACTO POTENCIAL	B1- Capacidad de crecer formando núcleos densos y cerrados
	B2- Capacidad de producir compuestos alelopáticos
	B3- Riesgo de hibridación con especies nativas
	B4- Toxicidad para la fauna silvestre
	B5- ¿La especie es hospedador de parásitos o patógenos conocidos?
	B6- Aumento en la frecuencia y/o intensidad de los incendios
	B7- Alteración de otros procesos o funciones ecosistémicas
	B8- Cambios en la estructura del hábitat y/o en la forma de vida dominante
	B9- ¿Cuál es el impacto potencial de la especie sobre la economía?
	B10- ¿Cuál es el impacto potencial de la especie sobre la salud humana?
	B11- ¿Cuál es el impacto potencial de la especie sobre valores culturales y sobre usos tradicionales de la tierra?
C- FACTIBILIDAD DE CONTROL	C1- Tipo de ambiente (terrestre o acuático)
	C2- Presencia de espinas o aguijones
	C3- Capacidad de rebrote
	C4- Tiempo generacional mínimo
	C5- Banco de semillas
	C6- Respuesta al pastoreo
	C7- Respuesta al fuego
	C8- Métodos de control conocidos