

CONSERVACIÓN

# Identificación y priorización de especies vegetales nativas para la restauración de playas y dunas erosionadas en Colombia

## Identification and prioritization of native plant species for the restoration of eroded beaches and dunes in Colombia

Margarita Rosa Dussan-Arquez <sup>1\*</sup>, Jenny Alexandra Rodríguez-Rodríguez <sup>1</sup>

- Recibido: 05/Nov/2020
- Aceptado: 09/Ago/2021
- Publicación en línea: 10/Ago/2021

**Citación / Citation:** Dussan-Arquez MR, Rodríguez-Rodríguez JA. 2022. Identificación y priorización de especies vegetales nativas para la restauración de playas y dunas erosionadas en Colombia. *Caldasia* 44(2):368-379. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n2.90722>

### ABSTRACT

In Colombia beaches and dunes experienced erosion problems and require restoration measures. Some alternatives include the addition of vegetation as a mechanism to stabilize the sand and to mitigate the problem; however, there are no guidelines for judging what plant species should be selected. To provide input to the development of these strategies, an evaluation of native plants with potential for the restoration of beaches and dunes was carried out, analyzing their life history traits. For this, through the review of secondary information, 25 native species were evaluated using eleven traits, expressed in 25 states, and a score was assigned according to their performance facing the ecological challenges. After qualification, six species were prioritized for research and use in restoration: *Canavalia rosea*, *Ipomoea pes-caprae*, *Sesuvium portulacastrum*, *Batis maritima*, *Sporobolus virginicus*, and *Spartina spartinae*; eight additional species show potential for this purpose. This research provides inputs for the design of communities with greater probabilities of success in restoration programs in areas affected by coastal erosion in Colombia and opens up a spectrum of research needs in this field.

**Keywords:** Rehabilitation, coastal vegetation, life history traits, functional ecology.

<sup>1</sup> Línea de Rehabilitación de Ecosistemas Marinos y Costeros. Grupo Calidad Ambiental Marina. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés"- INVEMAR. Calle 25 No. 2-55, Playa Salguero, Santa Marta D.T.C.H., Colombia. margarita.dussan18@gmail.com; alexandra.rodriguez@invemar.org.co.

\* Autor para correspondencia.



## RESUMEN

En Colombia las playas y dunas registran problemas de erosión y requieren medidas de restauración. Algunas alternativas plantean incorporar vegetación como mecanismo para estabilizar la arena y mitigar la problemática; sin embargo, no hay lineamientos que permitan avanzar en su uso. Con el objetivo de proveer insumos para desarrollar estas estrategias, se realizó una evaluación de plantas nativas potenciales para la restauración de playas y dunas, analizando sus rasgos de historia de vida. Para ello, mediante revisión de información secundaria, se evaluaron 25 especies nativas a partir de once rasgos, expresados en 25 estados, a los que se les asignó un puntaje de acuerdo con su rendimiento frente a los retos ecológicos a los que se enfrentan. Tras la calificación, seis especies se priorizaron para su investigación y uso en la restauración: *Canavalia rosea*, *Ipomoea pes-caprae*, *Sesuvium portulacastrum*, *Batis maritima*, *Sporobolus virginicus* y *Spartina spartinae*; otras ocho especies se identificaron con potencial. Esta investigación brinda insumos para el diseño de comunidades con mayores probabilidades de éxito en programas de restauración de zonas afectadas por erosión costera en Colombia y abre un abanico de necesidades de investigación en este campo.

**Palabras clave:** Rehabilitación, vegetación costera, rasgos de historia de vida, ecología funcional.

## INTRODUCCIÓN

Las playas y dunas son estructuras geomorfológicas ubicadas en las costas de océanos, lagos, estuarios y desembocaduras de los ríos, con un gran dinamismo determinado por factores como el transporte de arena, el oleaje y los vientos, que producen un entorno con funciones ecológicas únicas (Martínez 2012, Espejel *et al.* 2017, Rangel-Buitrago *et al.* 2018a). Las playas se ubican entre los límites de la línea de marea baja y alta, finalizando generalmente con formaciones de dunas, por lo que ambos ecosistemas son influenciados por la salinidad, movilidad del sustrato, bajo contenido de nutrientes, temperatura e inundaciones por mareas o lluvias (Martínez 2012).

A nivel mundial, las playas y dunas tienen una gran importancia socioeconómica, considerando que son el escenario propicio para el desarrollo de actividades turísticas y por su uso para la agricultura, ganadería, construcción de infraestructuras urbanas, mercantes y de protección costera (Lithgow *et al.* 2013, Espejel *et al.* 2017, García-Lozano *et al.* 2020). Asimismo, brindan servicios ambientales como la protección de la línea de costa contra la erosión, inundaciones, tormentas y son el refugio de una gran variedad de fauna y flora adaptada a sus condiciones (Hanley *et al.* 2014, Rangel-Buitrago *et al.* 2018a).

La degradación de estos ecosistemas se debe principalmente a la actividad humana y a los efectos del cambio climático, que conducen a la pérdida de la biodiversidad, el hábitat y el aumento en la erosión costera (Lithgow *et al.* 2013, Bessette *et al.* 2018). Los procesos erosivos a lo largo de las costas alcanzan magnitudes inimaginables, convirtiéndose en un problema importante que pone en riesgo no solo a los ecosistemas, sino también el desarrollo de las actividades humanas. Su mitigación y prevención mediante estrategias de gestión como la protección costera y el uso de soluciones basadas en la naturaleza podrían evitar pérdidas ecológicas, sociales y económicas (Rangel-Buitrago *et al.* 2018b, Rangel-Buitrago *et al.* 2020).

La zona costera colombiana comprende 3531 km de línea, dividida en las regiones Caribe y Pacífico continental y Caribe insular (Ospino *et al.* 2020). En estas costas, las playas arenosas se extienden en aproximadamente 865,3 km (Gómez-Cubillos *et al.* 2014). Pese a que en el país las playas arenosas tienen un alto valor turístico y recreacional (Gómez-Cubillos *et al.* 2014), se han identificado al menos 86 puntos que requieren medidas de restauración, reubicación y protección por efectos de la erosión (Klooster 2017, Rangel-Buitrago *et al.* 2018c). Dicho problema es resultado de factores naturales y antrópicos que se generan en la costa, como es el caso de las intervenciones en los deltas de los principales ríos como el Magdalena, donde la construcción de muelles, carreteras y espolones provo-

ca un gran desequilibrio sedimentario (Rangel-Buitrago *et al.* 2015). A pesar de la magnitud de la problemática, a la fecha no hay lineamientos técnicos que permitan evitar estas alteraciones.

En las playas y dunas, la vegetación estimula su formación mediante la retención y estabilización de la arena y mitigan la erosión de los suelos (Gracia *et al.* 2018). Estas características y el hecho de que su uso en la protección costera es de bajo costo y tiene la capacidad de replicación y colonización de grandes áreas, hacen de la vegetación una de las mejores estrategias de restauración para aquellas zonas en donde no es adecuado el uso de las estructuras duras (Feagin *et al.* 2019). No obstante, la implementación de proyectos de restauración en estos ecosistemas en el país se encuentra aún en etapa exploratoria, pues su gestión se basa principalmente en el uso de las ingenierías duras como los rompeolas (Hernández-Ortiz *et al.* 2018, Rangel-Buitrago *et al.* 2018c) y poco en la implementación de soluciones híbridas.

La selección de especies de plantas nativas en áreas degradadas es uno de los pasos iniciales para el desarrollo de los procesos de restauración; siendo una estrategia recomendada por su distribución natural en el área, proporcionar una referencia histórica para el hábitat, y porque poseen adaptaciones que le permiten sobrevivir en las condiciones ambientales del sitio (Rodríguez y Vargas 2007, Giannini *et al.* 2016). En Colombia, la selección de especies para restauración se ha realizado principalmente en bosques andinos, mediante la evaluación de sus rasgos de historia de vida (RHV), teniendo en cuenta que la posesión de determinados rasgos o características se relacionan íntimamente con la capacidad que tienen para responder a las condiciones ambientales que le rodean (Rodríguez y Vargas 2007, Gómez y Vargas 2011, Navarro-Fernández *et al.* 2013).

Considerando la necesidad de contar con insumos técnicos para avanzar en el diseño e implementación de soluciones híbridas frente a la erosión, el objetivo de este estudio fue evaluar y priorizar plantas nativas con uso potencial para la restauración de playas y dunas afectadas por erosión costera en Colombia. El trabajo genera información que puede ser usada como punto de partida en proyectos de restauración e identifica necesidades y brechas de conocimiento para el país.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Identificación y selección de las especies nativas a ser evaluadas

Para identificar las especies que pudieran ser útiles en la restauración de playas y dunas afectadas por erosión, se consideraron reportes de especies nativas tolerantes a la salinidad y presentes en alguna de las tres regiones costeras de Colombia en ecosistemas de playas, dunas y transicionales. Para ello, se realizó la búsqueda exhaustiva de reportes de plantas con estas características en las bases de datos de JSTOR, ScienceDirect y Google académico, utilizando las palabras clave “vegetación”, “composición florística”, “caracterización”, “playas”, “dunas”, “ecosistemas costeros”, “Colombia”, “Caribe colombiano”, “Pacífico colombiano”, “Islas colombianas”. La distribución, origen y biología de las especies reportadas fue confirmada en las bases de datos de Catálogo de plantas y líquenes de Colombia (Bernal *et al.* 2019) y la colección en línea del Herbario Nacional Colombiano ([www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/search/plants/](http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/search/plants/)) del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia; la base de datos de halófitos (eHALOPH) de la oficina de estudios de tierras áridas de la universidad de Arizona ([www.sussex.ac.uk/affiliates/halophytes/index.php?content=plantSearch](http://www.sussex.ac.uk/affiliates/halophytes/index.php?content=plantSearch)) y Trópicos del jardín botánico de Missouri ([www.tropicos.org/home](http://www.tropicos.org/home)). La taxonomía se basó en el repositorio de listas de verificación del “Catalogue of life”, el cual se asocia con el “Global Biodiversity Information Facility” (GBIF) y se rige por el Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas (ICNafp) ([www.catalogueoflife.org/](http://www.catalogueoflife.org/)). Para la evaluación se excluyeron las especies introducidas identificadas en el Catálogo de plantas y líquenes de Colombia y aquellas que registraron reportes de daños a otras plantas u animales, por tener compuestos alelopáticos o por ser irritantes al manejo según la literatura. El origen geográfico se confirmó mediante las publicaciones de Cárdenas *et al.* (2011) y Mora-Goyes y Barrera-Cataño (2015), incluyendo en la evaluación solo a las plantas nativas. Así mismo, se excluyeron especies para las que no fue posible encontrar información sobre su biología o ecología.

### Evaluación de Rasgos de Historia de Vida (RHV)

Para la selección de los RHV se tuvieron en cuenta las condiciones ambientales de las playas y dunas como la salini-

dad del suelo, tiempos de sequía o inundaciones, disponibilidad de nutrientes, entre otros aspectos relacionados con el ciclo de vida de las especies. De este modo, se seleccionaron once rasgos (características morfológicas o fisiológicas de la planta) y 25 estados (expresión de un rasgo) para la evaluación, considerando que cada rasgo se puede expresar en más de una forma según la especie (Cárdenas-Arévalo y Vargas-Ríos 2008) (Tabla 1). A cada estado se le asignó un puntaje, en donde el mejor rendimiento del rasgo ante los retos ecológicos en las playas y dunas recibió la calificación más alta y el menor rendimiento, la más baja. Una calificación de uno y cero se atribuyó en el caso de aquellos rasgos cuyo estado fue Presente o Ausente respectivamente; mientras que se asignó NA a los rasgos con falta de información (Tabla 1).

### Análisis de datos

La calificación de los rasgos se realizó mediante la revisión de información en los metabuscadores referenciados, utilizando como palabras de búsqueda los rasgos y especies de interés. Las calificaciones fueron organizadas en una matriz en donde se calcularon los cuartiles respectivos a las calificaciones por las especies en el conjunto de datos, seleccionando como priorizadas aquellas que obtuvieron un puntaje mayor o igual al tercer cuartil ( $Q_3$ ) (puntajes >75 %) y como especies con potencial para la restauración aquellas con calificaciones entre el  $Q_2$  y el  $Q_3$  (puntajes entre el 55 y el 75 %). Finalmente, para analizar la similitud de las especies evaluadas con base en los rasgos, se realizó un análisis de conglomerados de distancia euclidiana, con el paquete Heat Map (Wilkinson y Friendly 2008) en el programa estadístico R versión 4.0.2 (R Core team 2017).

## RESULTADOS

### Identificación y selección de las especies nativas a ser evaluadas

De las 90 especies vegetales identificadas en los ecosistemas de playas, dunas y zonas transicionales del país, 16 se descartaron por haber sido reportadas como introducidas y naturalizadas, once por tener registro de ser potencialmente invasoras o dañinas (con compuestos alelopáticos o irritantes al manejo), 36 nativas sin información sobre su halofitismo y dos nativas halófitas sin información sobre su biología o ecología (Anexo 1). En total, se seleccio-

**Tabla 1.** Rasgos de historia de vida seleccionados para la evaluación de las especies

Categoría	Rasgo	Estados	Puntaje
Morfología	Hábito	Hierba	3
		Arbusto	2
		Árbol	1
	Suculencia	Presencia	1
		Ausencia	0
	Hojas coriáceas	Presencia	1
		Ausencia	0
	Raíces adventicias	Presencia	1
		Ausencia	0
	Fisiología	Halofitismo	Halófito obligada
Halófito facultativa			2
Halófito transicional			1
Aerénquima		Presencia	1
		Ausencia	0
Vía fotosintética C4		Presencia	1
		Ausencia	0
Estrategia de absorción de nutrientes		Fijación de nitrógeno	2
		Otras	1
Reproducción		Reproducción vegetativa	Presencia
	Ausencia		0
	Agente de dispersión	Hidrocoria y anemocoria	3
		Hidrocoria o anemocoria	2
		Otros	1
		Polispermo	2
Tipo de fruto	Polispermo	2	
	Monospermo	1	

narón 25 especies para la evaluación de sus RHV considerando que son nativas, tolerantes a la salinidad y con información sobre su biología y ecología (Tabla 2). Estas corresponden a 19 familias botánicas, incluidas Fabaceae con tres especies, seguida de Boraginaceae, Combretaceae, Malvaceae y Poaceae con dos.

De acuerdo con su distribución, doce de estas especies se registraron en las tres regiones costeras, cuatro en el Caribe y Pacífico continental, seis en el Caribe continental y Caribe insular y tres se registraron exclusivamente al Caribe continental (Tabla 2). En esta última región, *S. spartinae* ha sido registrada como supuesta por Giraldo-Cañas (2011) y debe ser corroborada.

### Evaluación de Rasgos de Historia de Vida

De las 25 especies ninguna alcanzó la puntuación máxima posible (19 puntos). Sin embargo, se priorizaron seis especies por estar en el tercer cuartil (> 75 %). *C. rosea* obtuvo la calificación más alta (16 puntos), seguida de *I. pes-caprae* con quince, *S. portulacastrum* con catorce, *S. virginicus* y *B. maritima* con trece y *S. spartinae* con doce (Anexo 2). Con una puntuación mayor a diez, es decir, con más del 50 %, se clasificaron a *C. punctatus*, *F. cymosa* y *T. gnaphalodes* con once puntos y *S. maritima*, *C. erectus*, *L. racemosa*, *A. germinans* y *R. mangle* con diez puntos (Tabla 3).

Respecto al análisis de conglomerados, el grupo A correspondió a la mayoría de las plantas priorizadas con excepción de *C. punctatus*, *S. maritima*, *L. racemosa*, *A. germinans*, *C. erectus* y *R. mangle*, especies con potencial que se ubicaron en el grupo B en donde están las que obtuvieron un puntaje menor al 50 % y no fueron priorizadas. Este primer grupo se compuso principalmente de las especies con hábito herbáceo, raíces adventicias, reproducción vegetativa, tipo de fruto polispermo y succulencia. *C. rosea*, que obtuvo la puntuación más alta, se ubicó junto a *B. maritima*, *S. portulacastrum* e *I. pes-caprae* compartiendo la mayoría de estos rasgos, a excepción del hábito arbustivo de *B. maritima*. Mientras que *S. spartinae*, *S. virginicus*, *B. vermiculare* y *F. cymosa* se unieron por la similitud de características como la vía fotosintética C4 y tipo de fruto monospermo (Fig. 1).

En el grupo B se ubicaron las plantas leñosas con hábito arbustivo y arbóreo (a excepción de la herbácea *H. littoralis*), sin reproducción vegetativa y succulencia y variaciones en los rasgos entre los subgrupos: (1) presencia de raíces

adventicias, halófitas facultativas y hojas coriáceas en las especies de mangle: *R. mangle*, *A. germinans*, *L. racemosa* y *C. erectus*, (2) fruto polispermo y halófitas transicionales, como en *T. populnea*, *G. bonduc*, *T. tiliaceum*, *C. sebestena* y *A. latifolia* y (3) la fijación de nitrógeno como estrategia de absorción de nutrientes que se compartió entre los dos grupos en *C. rosea* y *P. juliflora* (Fig. 1; Anexo 2).

## DISCUSIÓN

Si bien en los proyectos de restauración ecológica la selección de la vegetación depende de los objetivos del proceso, para las playas y dunas ésta se basa en un limitado número de especies con características clave que le permiten cumplir la función de acumulación y estabilización del sistema (Ley *et al.* 2007). Con el fin de brindar insumos para el diseño de comunidades estratégicas, mediante la evaluación de múltiples RHV en este estudio se realizó por primera vez para Colombia la priorización de seis especies vegetales nativas y la recomendación de otras ocho, para la restauración de playas y dunas afectadas por erosión.

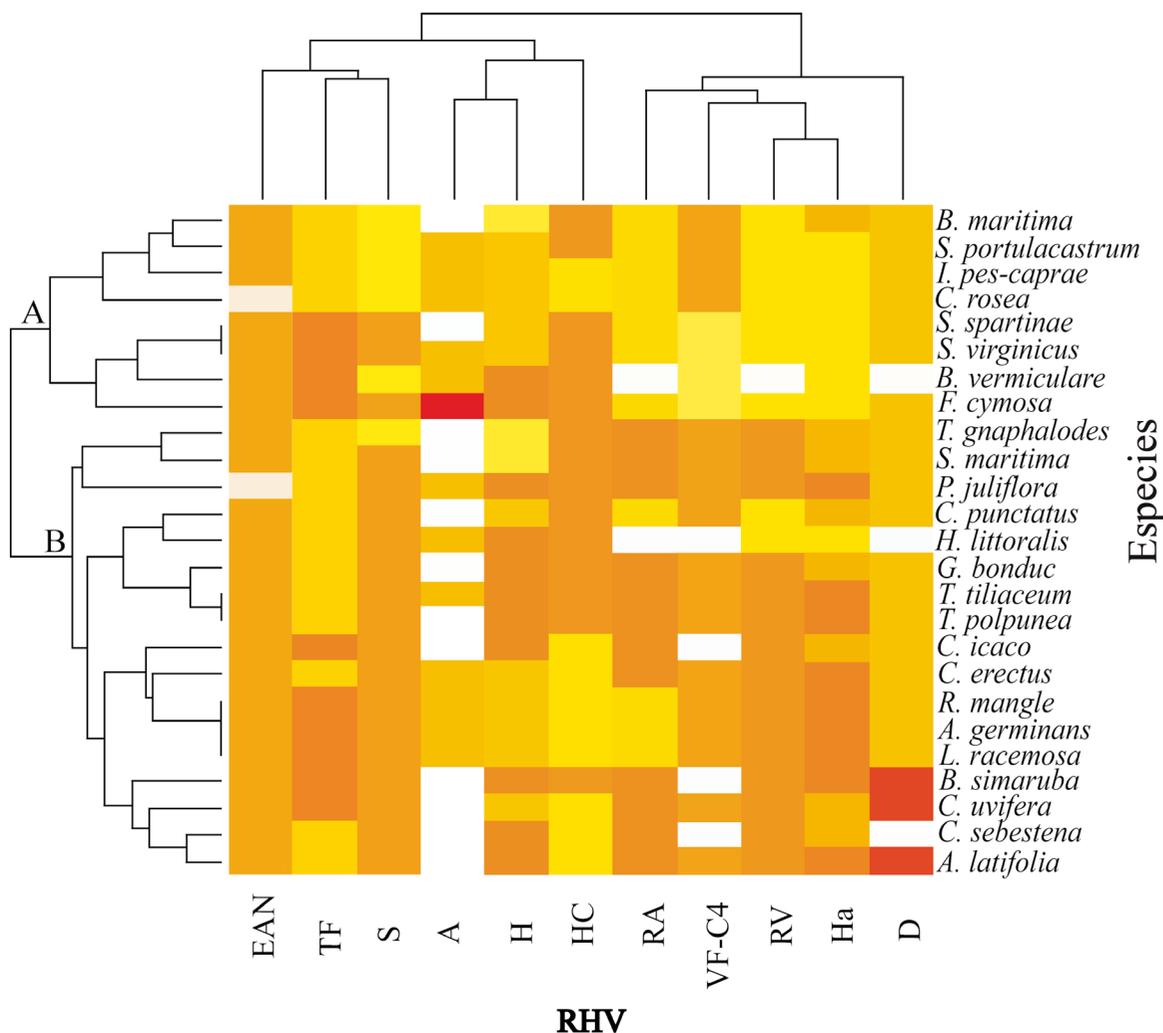
En las especies evaluadas, rasgos como las raíces adventicias y el tejido parenquimático, facilitan el transporte de oxígeno en condiciones de anoxia, típicas de zonas inundadas (De la Cruz *et al.* 2012). La formación de raíces adventicias también está ligada a los suelos inestables, características que en *I. pes-caprae* y *C. rosea*, les permite sobrevivir y expandirse en las playas y dunas (Gomes-Neto *et al.* 2004, Mendoza-González *et al.* 2014). Por otra parte, rasgos aéreos como las hojas coriáceas que se presentan en respuesta a tensionantes ambientales como el déficit hídrico, radiación solar alta o suelos con bajos contenidos de nutrientes, estuvieron presentes en todas las especies de manglar (*R. mangle*, *A. germinans*, *L. racemosa* y *C. erectus*). Este rasgo también se ha asociado a la capacidad de mantener bajas tasas de crecimiento y, por tanto, bajos requerimientos de nutrientes en ambientes donde pueden ser limitados (Read *et al.* 2006, Reef *et al.* 2010). En contraparte, la succulencia, que es característica en zonas costeras y que permite la acumulación de grandes cantidades de sales, ha permitido que halófitos como *S. portulacastrum* y *B. maritima* sean utilizados en la recuperación de zonas salinas (Lokhande *et al.* 2009, Debez *et al.* 2010, Medina 2016).

Con la priorización, *C. rosea*, *I. pes-caprae*, *S. portulacastrum*, *S. virginicus*, *B. maritima* y *S. spartinae*, resultaron

Tabla 2. Especies seleccionadas para la evaluación de los rasgos de historia de vida

Especie	Distribución	Reportado por
Cyperaceae		
<i>Fimbristylis cymosa</i> R.Br.	C,P,I	Flórez y Etter (2003)
Poaceae		
<i>Sporobolus virginicus</i> (L.) Kunth	C,I	González (2008)
<i>Spartina spartinae</i> (Trin.) Merr.	C*	Giraldo-Cañas (2011)
Amaryllidaceae		
<i>Hymenocallis littoralis</i> (Jacq.) Salisb.	C, I	Rubiano (2011)
Fabaceae		
<i>Canavalia rosea</i> (Sw.) DC.	C,P,I	Hernández (2020)
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	C, P	Vergara et al. (2004)
<i>Guilandina bonduc</i> L.	C,P,I	Galé et al. (2017)
Surianaceae		
<i>Suriana maritima</i> L.	C,I	Sierra (2015)
Rhizophoraceae		
<i>Rhizophora mangle</i> L.	C,P,I	Rubiano (2011)
Euphorbiaceae		
<i>Croton punctatus</i> Jacq.	C	Murillo-A (2004)
Chrysobalanaceae		
<i>Chrysobalanus icaco</i> L.	C,P,I	Flórez y Etter (2003)
Combretaceae		
<i>Conocarpus erectus</i> L.	C,P,I	Rubiano (2011)
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F. Gaertn.	C,P,I	
Malvaceae		
<i>Talipariti tiliaceum</i> (L.) Fryxell	C,P, I	Bernal et al. (2014)
<i>Thespesia populnea</i> (L.) Corrêa	C,I	Gómez et al. (2017)
Bataceae		
<i>Batis maritima</i> L.	C	Rincón-Díaz y Rodríguez-Zárate (2003)
Burseraceae		
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	C,P,I	Flórez y Etter (2003)
Polygonaceae		
<i>Coccoloba uvifera</i> (L.) L.	C,P	Rubiano (2011)
Amaranthaceae		
<i>Blutaparon vermiculare</i> (L.) Mears	C,P,I	Rangel-Ch (2012)
Aizoaceae		
<i>Sesuvium portulacastrum</i> (L.) L.	C,P	Flórez y Etter (2003)
Convolvulaceae		
<i>Ipomoea pes-caprae</i> (L.) R.Br.	C,P,I	Hernández (2020)
Acanthaceae		
<i>Avicennia germinans</i> (L.) L.	C,P,I	Rubiano (2011)
Bignoniaceae		
<i>Amphitecna latifolia</i> (Mill.) A.H. Gentry	C,P	Bernal et al. (2014)
Boraginaceae		
<i>Tournefortia gnaphalodes</i> (L.) Roem. & Schult.	C,I	Rangel-Ch et al. (1997)
<i>Cordia sebestena</i> L.	C,I	Rubiano (2011)

Regiones costeras colombianas: C= Caribe, P= Pacífico, I= Caribe insular. \*Especie con registro supuesto en el país.



**Figura 1.** Dendrograma de las especies evaluadas y los rasgos de historia de vida. H= Halofitismo, S=Suculencia, VF-C4= Vía fotosintética C4, HC= Hojas coriáceas, A= Aerénquima, RA=Raíces adventicias, EAN=Estrategia de absorción de nutrientes, Ha= Hábito, TF=Tipo de fruto, RV=Reproducción vegetativa, D= Dispersión. El aumento hacia el color rojo corresponde a la similitud de las especies. El color blanco corresponde a los rasgos sin información (NA) los cuales no influyeron en la agrupación de las especies. A y B = grupos de especies asociadas de acuerdo con estos rasgos en el análisis de conglomerados.

identificadas para ser usadas en programas de restauración de playas y dunas en el país. Por su distribución natural en los trópicos y subtropicos, estas especies han sido utilizadas en otros países no solo para la recuperación de suelos salinos (*B. maritima* y *S. portulacastrum*), sino también para la restauración de playas por su tolerancia a la salinidad y capacidad para soportar condiciones climáticas variables (e.g. *S. spartinae* y *S. virginicus* en Texas), al igual que *I. pes-caprae* y *C. rosea* para la recuperación de dunas en Australia, Taiwán y Brasil por ser pioneras en estos ecosistemas (Gomes-Neto *et al.* 2004, Jones y Hanna 2004, Bibby y Lamaro 2013, Tong y Lin 2016).

En cuanto a las ocho especies identificadas con uso potencial, *L. racemosa*, *A. germinans*, *R. mangle* y *C. erec-*

*tus* han sido utilizadas ampliamente para la recuperación de las zonas costeras a nivel mundial, siendo claves en la adaptación frente al cambio climático (Tovilla-Hernández *et al.* 2004, Yáñez-Arancibia *et al.* 2010, Casasco *et al.* 2014, Judd *et al.* 2017). En Colombia existen experiencias previas en su propagación y uso en la restauración de los manglares (Álvarez-León 2003, Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2021), ecosistemas que han demostrado reducir entre tres a quince veces las tasas de erosión de las zonas costeras con alto oleaje (Sánchez-Núñez *et al.* 2019).

Por su parte, para las otras plantas con potencial se ha encontrado lo siguiente: *T. gnaphalodes* se ha recomendado en países como Estados Unidos para la restauración

**Tabla 3.** Listado de especies priorizadas <sup>(P)</sup> y con potencial <sup>(\*)</sup> para la restauración de playas y dunas según la evaluación de sus RHV

Especie	H	S	VF- C4	HC	A	RA	EAN	Ha	TF	RV	D	Puntuación total
<i>C. rosea</i> <sup>(P)</sup>	2	1	0	1	1	1	2	3	2	1	2	16
<i>I. pes-caprae</i> <sup>(P)</sup>	2	1	0	1	1	1	1	3	2	1	2	15
<i>S. portulacastrum</i> <sup>(P)</sup>	2	1	0	0	1	1	1	3	2	1	2	14
<i>S. virginicus</i> <sup>(P)</sup>	2	0	1	0	1	1	1	3	1	1	2	13
<i>B. maritima</i> <sup>(P)</sup>	3	1	0	0	NA	1	1	2	2	1	2	13
<i>S. spartinae</i> <sup>(P)</sup>	2	0	1	0	NA	1	1	3	1	1	2	12
<i>C. punctatus</i> <sup>*</sup>	2	0	0	0	NA	1	1	2	2	1	2	11
<i>F. cymosa</i> <sup>*</sup>	1	0	1	0	0	1	1	3	1	1	2	11
<i>T. gnaphalodes</i> <sup>*</sup>	3	1	0	0	NA	0	1	2	2	0	2	11
<i>S. maritima</i> <sup>*</sup>	3	0	0	0	NA	0	1	2	2	0	2	10
<i>C. erectus</i> <sup>*</sup>	2	0	0	1	1	0	1	1	2	0	2	10
<i>L. racemosa</i> <sup>*</sup>	2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	2	10
<i>A. germinans</i> <sup>*</sup>	2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	2	10
<i>R. mangle</i> <sup>*</sup>	2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	2	10

H= Halofitismo, S=Suculencia, VF-C4= Vía fotosintética C4, HC= Hojas coriáceas, A= Aerénquima, RA=Raíces adventicias, EAN=Estrategia de absorción de nutrientes, Ha= Hábito, TF=Tipo de fruto, RV=Reproducción vegetativa, D= Dispersión. NA = sin información.

de dunas y zonas costeras al ser tolerante a los suelos y niebla salina e importante en la prevención de la erosión (Williams 2007, Brown *et al.* 2018). Aunque para *F. cymosa*, *S. maritima* y *C. punctatus* no se encontraron registros sobre su uso en la restauración de playas y dunas, *F. cymosa* se ha sembrado en Hawái para la restauración de zonas ribereñas y carreteras por su tolerancia a la salinidad, el viento y la sequía (Baldos *et al.* 2017). *C. punctatus*, según Lonard y Judd (2009), jugó un papel importante en la protección costera y estabilización de material arenoso dragado en Texas. Asimismo, esta especie junto con *S. maritima* han sido recomendadas por Williams (2007) para la restauración de dunas costeras en Florida por colonizar playas recientemente estabilizadas.

En las playas y dunas, la vegetación se organiza en función de las condiciones ambientales que les rodean, determinando una zonación desde la playa hasta el interior (Ley *et al.* 2007). De acuerdo con esto, la agrupación de las especies en el dendrograma, podría estar relacionada con su distribución. De hecho, según Williams (2007), la zona frontal de las dunas se estabiliza con la presencia de especies rizomatosas y de porte bajo (e.g. *S. virginicus*, *C. rosea*, *I. pes-caprae*, *S. portulacastrum*, *T. gnaphalodes* y *C.*

*uvifera*) características predominantes en las especies del grupo A. Para el caso colombiano, esto se confirma para *S. virginicus* que se registra sobre la berma de las playas del Parque Vía Isla de Salamanca junto a *Melochia tomentosa* L., que no pudo ser evaluada por falta de información sobre su biología (Gómez *et al.* 2017) (Anexo 1). Para las especies leñosas de hábito arbóreo y arbustivo que componen principalmente el grupo B, Williams (2007) las ubica en la parte trasera de las dunas y la zona de transición con otros ecosistemas en donde las condiciones ambientales suelen ser más estables, registrando a las especies evaluadas *C. erectus*, *C. icaco*, *C. punctatus* y *S. maritima*.

El uso de las especies identificadas se propone una vez se hayan eliminado o reducido las presiones que llevaron a la degradación de estos ecosistemas y en donde la dinámica sedimentaria permita su establecimiento (Ley *et al.* 2007). Bajo escenarios más dinámicos, con mayor movilidad de la arena y velocidad del viento, estas pueden usarse junto con otras alternativas ecológicas como los captadores de arena que permiten formar nuevas dunas, rellenar huecos en sus crestas o aumentar su altura y anchura, por lo que su éxito dependerá de los objetivos del proyecto, las características del sistema de captación como su porosidad,

distancia y número de filas, y las condiciones de la zona como velocidad del viento, la arena y topografía (Ley *et al.* 2007, Nordstrom 2008). Esta técnica se ha implementado para la reconstrucción de dunas en sitios como Taiwán, en donde se ha experimentado con diferentes materiales biodegradables para las cercas y la posterior siembra de especies nativas, entre las que se encontró a *I. pes-caprae* (Huang y Yim 2014).

La necesidad de explorar la diversidad y funcionalidad de la vegetación costera del país se evidencia en la falta de información sobre las especies, la carencia de inventarios actualizados y el hallazgo de algunas publicaciones y tesis aún sin publicar (González 2008, Bernal *et al.* 2014, Gómez *et al.* 2017). Por ello, un total de 36 de las especies se excluyeron del análisis por falta de información sobre su halofitismo y dos más por ausencia de datos sobre el tipo de dispersión, presencia de aerénquima y reproducción vegetativa (Anexo 1). En algunas de las 25 especies evaluadas, la carencia de información se observó en rasgos como las raíces adventicias, vía fotosintética, reproducción vegetativa y dispersión de los frutos (Fig. 1). Otros rasgos sin información, que podrían ser relevantes para mejorar la selección de las especies y que requieren de un análisis más detallado incluyen la vida útil de la hoja, que está ligado a la estrategia de conservación de nutrientes en hábitats con estrés ambiental, como se registró en las especies de manglar (Cornelissen *et al.* 2003, Reef *et al.* 2010); así como la capacidad de rebrote, que permite tener una idea más precisa de la persistencia de las plantas ante los disturbios.

Si bien la caracterización vegetal en las zonas de interés es fundamental para definir la comunidad de referencia y elegir las mejores plantas a ser utilizadas en las estrategias de restauración, este estudio permitió identificar especies clave en las que se propone inicialmente focalizar la atención, la investigación y generación de protocolos de propagación y manejo en diferentes condiciones ambientales. Su inclusión experimental en programas de restauración de playas y dunas permitirá avanzar en el conocimiento necesario para incorporarlas efectivamente en estrategias que permitan hacer frente a los retos que impone la erosión costera en el país.

## ■ PARTICIPACIÓN DE AUTORES

MRDA=Concepción, recolección, análisis de datos y escritura del documento JAR=Concepción, escritura, revisión y edición del documento.

## ■ AGRADECIMIENTOS

Al Programa de investigación Calidad Ambiental Marina del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR por facilitar la financiación de la investigación a través del Banco de Programas y Proyectos de Inversión Nacional (BPIN) del año 2018. Este proyecto se ejecutó en el marco de una pasantía de investigación como requisito de grado de la Universidad del Magdalena. A Adriana Patricia Tinoco Valencia por su apoyo inicial en la formulación de la idea y la búsqueda de las especies.

## ■ CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflicto de interés.

## ■ LITERATURA CITADA

- Álvarez-León R. 2003. Los manglares de Colombia y la recuperación de sus áreas degradadas: revisión bibliográfica y nuevas experiencias. *Mad. Bos.* 9(1):3-25. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2003.911286>
- Baldos OC, DeFrank J, Lukas SB. 2017. Evaluation of 3 hydro-mulch planting techniques for establishing *Fimbristylis cymosa* (mau 'u 'aki 'aki), a native Hawaiian coastal sedge with roadside revegetation and landscape ground cover potential. *NPJ.* 18(1):20-31. doi: <https://doi.org/10.3368/npj.18.1.20>
- Bernal G, Urrego LE, Gómez-García ÁM, Betancur S, Osorio AF. 2014. Evolución geomorfológica y vegetación costera de playa Palmeras Parque Nacional Natural Isla Gorgona, Pacífico Colombiano. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 42(3):622-638. doi: <https://doi.org/10.3856/vol42-issue3-fulltext-19>
- Bernal R, Gradstein SR, Celis M, editores. c2019. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Bogotá, Colombia: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. [Revisada en: 15 may 2020]. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>

- Bessette SR, Hicks DW, Fierro-Cabo A. 2018. Biological assessment of dune restoration in south Texas. *Ocean. Coast Manag.* 163:466-477. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.06.019>
- Bibby M, Lamaro R. 2013. Kirra beach dune regeneration works: Large scale revegetation of artificially created coastal dunes. 4th Queensland Coastal Conference, Townsville, Australia. [Revisada en: 12 Jun 2020]. [https://regenaustralia.files.wordpress.com/2019/01/qld-coast-conference-paper-mb-final\\_20130920.pdf](https://regenaustralia.files.wordpress.com/2019/01/qld-coast-conference-paper-mb-final_20130920.pdf)
- Brown SH, Frank MS, Andrew K. 2018. Sea Lavender (*Heliotropium gnaphalodes* L.): Identification and uses. EDIS. [Revisada en: 20 Jun 2020]. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/EP/EP56300.pdf>
- Cárdenas-Arévalo G, Vargas-Ríos O. 2008. Rasgos de historia de vida de especies en una comunidad vegetal alterada en un páramo húmedo (Parque Nacional Natural Chingaza). *Caldasia* 30(2):245-264.
- Cárdenas D, Arboleda NC, Cárdenas-Toro J. 2011. Plantas introducidas, establecidas e invasoras en Amazonia colombiana. Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas –Sinchi, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Casasco BS, Dos Santos CL, Quiñones EM. 2014. Recuperação de manguezais brasileiros. *Rev. Ceciliania Jun.* 6(1):1-5.
- Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, Díaz S, Buchmann N, Gurvich DE, Reich PB, ter Steege H, Morgan HD, van der Heijden MGA, Pausas JG, Poorter H. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Aust. J. Bot.* 51(4):335-380. doi: <https://doi.org/10.1071/BTO2124>
- Debez A, Saadaoui D, Slama I, Huchzermeyer B, Abdelly C. 2010. Responses of *Batis maritima* plants challenged with up to two-fold seawater NaCl salinity. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173(2):291-299. doi: <https://doi.org/10.1002/jpln.200900222>
- De la Cruz J, Moreno LP, Magnitskiy S. 2012. Respuesta de las plantas a estrés por inundación. Una revisión. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 6(1):96-109. doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i1.1287>
- Espejel I, Jiménez-Orocio O, Castillo-Campos G, Garcillán PP, Álvarez L, Castillo-Argüero S, Duran R, Ferrer M, Infante-Mata D, Iriarte S, León JL, López-Rosas H, Medel A, Monroy R, Moreno-Casasola P, Rebman JP, Rodríguez-Revelo N, Sánchez-Escalante J, Vanderplank S. 2017. Flora en playas y dunas costeras de México. *Acta. Bot. Mex.* (121):39-81. doi: <https://doi.org/10.21829/abm121.2017.1290>
- Feagin RA, Furman M, Salgado K, Martínez ML, Innocenti RA, Eubanks K, Figlus J, Huff TP, Sigren J, Silva R. 2019. The role of beach and sand dune vegetation in mediating wave run up erosion. *Estuar. Coast. Shelf S.* 219:97-106. doi: <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2019/01/018>
- Flórez C, Etter A. 2003. Caracterización ecológica de las islas Múcura y Tintipán, archipiélago de San Bernardo, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 27(104):343-356.
- Galé LA, Ortega JH, Martínez DJ. 2017. Subfamilias Caesalpinioideae y Papilionoideae (Leguminosae) en tres subregiones del departamento de Sucre, Colombia. [Tesis de pregrado]. [Sincelejo, Colombia]: Universidad de Sucre.
- García-Lozano C, Pintó J, Roig-Munar FX. 2020. Set of indices to assess dune development and dune restoration potential in beach-dune systems on Mediterranean developed coasts. *J. Environ. Manage.* 259:109754. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109754>
- Gracia A, Rangel-Buitrago N, Oakley JA, Williams AT. 2018. Use of ecosystems in coastal erosion management. *Ocean. Coast. Manage.* 156:277-289. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.07.009>
- Giannini TC, Giulietti AM, Harley RM, Viana PL, Jaffe R, Alves R, Pinto CE, Mota FO, Caldera CF, Imperatriz-Fonseca VL, Furtini AE, Siquiera JE. 2016. Selecting plant species for practical restoration of degraded lands using a multiple-trait approach. *Austral Ecol.* 42(5):510-521. doi: <https://doi.org/10.1111/aec.12470>
- Giraldo-Cañas D. 2011. Catálogo de la familia Poaceae en Colombia. *Darwiniana* 49(2):139-247. doi: <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2014.492.335>
- Gomes-Neto A, Emílio T, Bosa P, Cunha SR. 2004. Plantio de *Ipomoea pes-caprae* nas dunas da Praia Brava (Itajaí, SC): Comparação de duas técnicas. *Braz. J. Aquat. Sci. Tech.* 8(1):33-38. doi: <https://doi.org/10.14210/bjast.v8n1.p33-38>
- Gómez P, Vargas O. 2011. Grupos funcionales de especies promisoras para la restauración ecológica con base en sus rasgos de historia de vida en la Reserva natural Ibanasca (Ibagué, Tolima, Colombia). En: Vargas O, Reyes SP, editores. *La restauración ecológica en la práctica: Memorias del I congreso colombiano de restauración ecológica*. Bogotá, Colombia: Gente Nueva SAS. p. 239-247.
- Gómez-Cubillos C, Licero L, Perdomo L, Rodríguez A, Romero D, Ballesteros D, Gómez-López D, Melo A, Chasqui L, García J, Peña C, Bastidas M, Ricaurte C. 2014. Portafolio “Áreas de arrecifes de coral, pastos marinos, playas de arena y manglares con potencial de restauración en Colombia”. Serie de Publicaciones Generales del Invenmar No. 79. Santa Marta, Colombia: INVEMAR – MADS.
- Gómez JF, Byrne M-L, Hamilton J, Isla F. 2017. Historical coastal evolution and dune vegetation in Isla Salamanca National Park, Colombia. *J. Coast. Res.* 33(3):632-641. doi: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00189.1>
- González JJ. 2008. Caracterización de la playa Cañaveral-ECO-HABS, Parque Nacional Natural Tayrona y seguimiento de la actividad de anidamiento de tortugas marinas durante las temporadas junio-septiembre 2005 y junio-septiembre 2007. [Tesis de pregrado]. [Bogotá, Colombia]: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Hanley ME, Hoggart SPG, Simmonds DJ, Bichot A, Colangelo MA, Bozzeda F, Heurtefeux H, Ondiviela B, Ostrowski R, Recio M, Trude R, Zawadzka-Kahlau E, Thompson R.C. 2014. Shifting sands? Coastal protection by sand banks, beaches and

- dunes. *Coast. Eng.* 87:136-146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.10.020>
- Hernández-Ortiz M, García C, Zamora-Bornachera AP, Romero D, Pizarro J, Tinoco A, Rodríguez A. 2018. Instrumentos de gestión de los espacios oceánicos y zonas costeras e insulares de Colombia: Indicadores de respuesta. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2017. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta, Colombia: INVEMAR. p. 134-154.
- Hernández L. 2020. Caracterización de la playa Los Cocos sector Mendihaaca – Magdalena durante el seguimiento de la temporada de anidación de tortugas marinas 2019. [Tesis de pregrado]. [Bogotá, Colombia]: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Huang WP, Yim JZ. 2014. Sand dune restoration experiments at Bei-Men coast, Taiwan. *Ecol. Eng.* 73:409-420. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.038>
- Jones K, Hanna E. 2004. Design and implementation of an ecological engineering approach to coastal restoration at Loyola Beach, Kleberg County, Texas. *Ecol. Eng.* 22(4-5):249-261. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.05.006>
- Judd FW, Sunny KR, Leonard RI. 2017. Survivorship and growth among three developmental stages of black mangrove (*Avicennia germinans*) seedlings in southernmost Texas. *Subt. Agr. Env.* 68:13-17.
- Klooster J. 2017. Plan de erosión costera de Colombia – Resumen. Bogotá, Colombia: Arcadis Nederland B.V, Royal Haskoning DHV, Deltares, Fundación Herencia Ambiental Caribe, JES y CA S.A.S., Aqua y Terra y Universidad del Norte.
- Ley C, Gallego-Fernández JB, Vidal C. 2007. Manual de restauración de dunas costeras. Santander, España: Ministerio de Medio Ambiente.
- Lithgow D, Martínez ML, Gallego-Fernández JB, Hesp PA, Flores P, Gachuz S, Rodríguez-Revelo N, Jiménez-Orocio O, Mendoza-González G, Álvarez-Molina LL. 2013. Linking restoration ecology with coastal dune restoration. *Geomorphology* 199:214-224. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.007>
- Lokhande VH, Nikam TD, Suprasanna P. 2009. *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. a promising halophyte: Cultivation, utilization and distribution in India. *Genet. Resour. Crop. Evol.* 56(5):741-747. doi: <https://doi.org/10.1007/s10722-009-9435-1>
- Lonard RI, Judd FW. 2009. The biological flora of coastal dunes and wetlands: *Croton punctatus* N. von Jacquin. *J. Coast Res.* 25(251):23-29. doi: <https://doi.org/10.2112/07-0933.1>
- Martínez ML. 2012. Las playas y dunas costeras: Un hogar en movimiento. 1ª edición. México, D.F: Fondo de Cultura Económica.
- Medina E. 2016. Physiological ecology of psammophytic and halophytic plant species from coastal plains in Northern South America. En: Khan MA, Boër B, Öztürk M, Clüsener-Godt, Gul B, Siegmar-W B, editors. *Sabkha ecosystems volume V: The Americas*. Switzerland: Springer. p. 29-56.
- Mendoza-González G, Martínez ML, Lithgow D. 2014. Biological flora of coastal dunes and wetlands: *Canavalia rosea* (Sw.) DC. *J. Coast. Res.* 30(4):697-713. doi: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00106.1>
- Mora-Goyes MF, Barrera-Cataño JI. 2015. Catálogo de especies invasoras del territorio CAR. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR.
- Murillo-A J. 2004. Las Euphorbiaceae de Colombia. *Biota Colomb.* 5(2):183-200.
- Navarro-Fernández CM, de la Riva EG, Vera JR, Tosto A, Olmo M, Pérez-Ramos IM, Villar R, Marañón T. 2013. Diversidad funcional de rasgos radicales y grado de micorrización de especies leñosas mediterráneas a lo largo de un gradiente de disponibilidad de recursos edáficos. 6º Congreso Forestal Español. Montes: servicios y desarrollo rural: 6CFE01-008.
- Nordstrom KF, editor. 2008. Beach and dune restoration. United States of America: Cambridge University Press.
- Ospino LJ, García C, Romero DC, Pizarro JJ, Hernández DM, Zamora AP. 2020. Los espacios oceánicos y zonas costeras e insulares de Colombia. En: Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta: INVEMAR. p. 18-28.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [Revisada en: 24 Jul 2020] <https://www.R-project.org/>
- Rangel-Ch JO, Lowy-C PD, Aguilar-P M, Garzón-C A. 1997. Tipos de vegetación en Colombia. Una aproximación al conocimiento de la terminología fitosociológica, fitoecológica y de uso común. En: Rangel-Ch JO, Lowy-C P, Aguilar-P M, editores. *Diversidad Biótica II. Tipos de Vegetación en Colombia*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Ciencias Naturales, Instituto de hidrología, Meteorología y estudios Ambientales (IDEAM), Ministerio del Medio Ambiente. p. 305-382.
- Rangel-Ch JO, editor. 2012. Colombia Diversidad Biótica XII: La Región Caribe de Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. La vegetación de la región Caribe de Colombia: Composición florística y aspectos de la estructura. p. 365-476.
- Rangel-Buitrago N, Anfuso G, Williams AT. 2015. Coastal erosion along the Caribbean coast of Colombia: magnitudes, causes and management. *Ocean Coast Manag.* 114:129-144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.024>
- Rangel-Buitrago N, Castro-Barros JD, Gracia CA, Villadiego JDV, Williams AT. 2018a. Litter impacts on beach/dune systems along the Atlantic Department, the Caribbean Coastline of Colombia. *Mar. Pollut. Bull.* 137:35-44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.009>
- Rangel-Buitrago N, de Jonge VN, Neal W. 2018b. How to make integrated coastal erosion management a reality. *Ocean*

- Coast Manag. 156:290-299. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.01.027>
- Rangel-Buitrago N, Williams AT, Anfuso G. 2018c. Hard protection structures as a principal coastal erosion management strategy along the Caribbean coast of Colombia. A chronicle of pitfalls. *Ocean Coast Manag.* 156:58-75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.04.006>
- Rangel-Buitrago N, Neal WJ, de Jonge VN. 2020. Risk assessment as tool for coastal erosion management. *Ocean Coast. Manag.* 186:105099. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105099>
- Read J, Sanson GD, de Garine-Wichatitsky M, Jaffré T. 2006. Sclerophylly in two contrasting tropical environments: low nutrients vs. low rainfall. *Am. J. Bot.* 93(11):1601-1614. doi: <https://doi.org/10.3732/ajb.93.11.1601>
- Reef R, Feller IC, Lovelock CE. 2010. Nutrition of mangroves. *Tree Physiol.* 30(9):1148-1160. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq048>
- Rincón-Díaz MP, Rodríguez-Zárate CJ. 2003. Caracterización de playas de anidación y zonas de alimentación de tortugas marinas en el archipiélago de islas de San Bernardo, Caribe Colombiano. [Tesis de pregrado]. [Bogotá, Colombia]: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Rodríguez N, Vargas O. 2007. Especies leñosas nativas claves para la restauración ecológica del embalse de Chisacá, basados en rasgos importantes de su historia de vida. En: Vargas O, editor. *Restauración ecológica del bosque altoandino: estudios diagnósticos y experimentales en los alrededores del embalse de Chisacá (Localidad de Usme, Bogotá DC)*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Acueducto de Bogotá, Jardín Botánico, Secretaría distrital de ambiente. p. 181-198.
- Rodríguez-Rodríguez JA, Mancera-Pineda JE, Tavera H. 2021. Mangrove restoration in Colombia: Trends and lessons learned. *For. Ecol. Manag.* 496:119414. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119414>
- Rubiano D. 2011. Caracterización de playas de anidación de tortugas marinas en Isla Fuerte, Bolívar, Caribe Colombiano. [Tesis de pregrado]. [Bogotá, Colombia]: Pontificia Universidad Javeriana.
- Sánchez-Núñez DA, Bernal G, Mancera-Pineda JE. 2019. The relative role of mangroves on wave erosion mitigation and sediment properties. *Estuaries Coasts.* 42(8):2124-2138. doi: <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00628-9>
- Sierra GW. 2015. Estrategias para el control y prevención de la erosión en la playa de South West en la isla de providencia. [Tesis de pregrado]. [Bogotá, Colombia]: Universidad Católica de Colombia.
- Tong X-L, Lin T-Y. 2016. Dune restoration experiments during a typhoon season on Taiwan's Si-Cao coast. *J. Mar. Sci. Technol.* 24(5):1032-1040. doi: <http://dx.doi.org/10.6119%2fJMST-016-0526-1>
- Tovilla-Hernández C, Román-Salazar AV, Simuta-Morales GM, Linares-Mazariegos RM. 2004. Recuperación del manglar en la Barra del Río Cahoacán en la costa de Chiapas. *Madera Bosques.* 10(2):77-91. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2004.1031268>
- Vergara JM, Castro J, Gallardo G, Castillo B, Altahona AM, Claro ME, Trespalcios JF, Barrera E, Medrano E, Carillo RR, Guevara J. 2004. Plan de Manejo Básico 2005 – 2009 Vía Parque Isla de Salamanca. Barranquilla, Colombia: Parques Nacionales Naturales de Colombia, Dirección territorial costa atlántica.
- Williams MJ. 2007. Native plants for coastal restoration: what, when, and how for Florida. Brooksville, Florida: USDA, NRCS, Brooksville Plant Materials Center.
- Wilkinson L, Friendly M. 2009. The history of the cluster heat map. *Am. Stat.* 63(2):179-184. doi: <https://doi.org/10.1198/tas.2009.0033>
- Yáñez-Arancibia A, Day JW, Twilley RR, Day RH. 2010. Los manglares frente al Cambio climático ¿tropicalización global del Golfo de México? En: Yáñez-Arancibia, editor. *Impactos del Cambio Climático sobre la zona costera*. México: Instituto de Ecología AC (INECOL), Texas Sea Grant Program, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).