



Suelos y microorganismos rizosféricos asociados en la reserva de biosfera “Seaflower”

Soils and rhizosphere’s microorganisms associated in the “Seaflower” biosphere reserve

Macías-Echeverri Estefanía*, Marín-Pavas Alexander, Osorio-Vega Walter, Hoyos-Carvajal Lilliana María

Datos del Artículo

Universidad Nacional de Colombia.
Facultad de Ciencias Agrarias.
Medellín, Colombia.
Carrera 65 Nro. 59A-110.
Bloque 11-Oficina 117-09.
Medellín, Colombia.
Tel: +57 44309000

***Dirección de contacto:**

Estefanía Macías-Echeverri
Universidad Nacional de Colombia.
Facultad de Ciencias Agrarias.
Medellín, Colombia.
Carrera 65 Nro. 59A-110.
Bloque 11-Oficina 117-09.
Medellín, Colombia.
Tel: +57 44309000

E-mail: emaciase@unal.edu.co

Palabras clave:

Alimentos,
isla,
suelo,
microorganismos,
fertilidad,
diversidad,
reserva.

J Selva Andina Biosph.
2019; 7(2):73-87.

Historial del artículo.

Recibido abril, 2019.
Devolto agosto 2019
Aceptado septiembre, 2019.
Disponible en línea, noviembre 2019.

Editado por:
**Selva Andina
Research Society**

Key words:

Food,
island,
soil,
microorganisms,
fertility,
diversity,
reserve.

Resumen

El Archipiélago San Andrés, Providencia y Santa Catalina fue declarado como Reserva de Biosfera “Seaflower” por la UNESCO en el 2000, constituyendo uno de los sistemas de arrecife más extensos del hemisferio occidental ubicado en el Caribe colombiano. En la actualidad presenta problemas de seguridad alimentaria, siendo graves en San Andrés donde existe alta población nativa y turística que depende de la importación de alimentos. En el pasado se producía coco, yuca, cítricos, etc., la actividad agrícola ha disminuido principalmente debido a la presencia de plagas y falta de manejo de suelos. Con el objetivo de describir las características físico-químicas y microbiológicas de suelos de la Reserva, se realizaron muestreos en diferentes puntos geográficos. Los resultados obtenidos muestran que en la isla, la textura de los suelos es variable, siendo franca arenosa, franco arcillosa y arenosa, con pH alcalino en la mayoría de los puntos muestreados. En general, se encontraron altos contenidos de materia orgánica (valor máx. 12.8%), calcio (valores entre 2.6 y 64 cmol (+) kg⁻¹), potasio (valores entre 0.1 y 1.86 cmol (+) kg⁻¹), magnesio (valores entre 1.6 y 22.2 cmol (+) kg⁻¹) y fósforo (valor máx. 416 ppm), mientras que en el caso del aluminio, sodio y azufre se encontraron contenidos bajos. El cobre, zinc, hierro y manganeso, presentaron contenidos variables. En cuanto al análisis microbiológico se lograron 128 aislamientos, en los cuales prevalecieron los géneros *Trichoderma* y *Fusarium*, otros géneros encontrados fueron *Rhizopus*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Colletotrichum* y *Botrytis*. La reserva cuenta con un estado de fertilidad óptimo para la producción agrícola, pero debe ser potenciado a través de manejo integrado.

© 2019. Journal of the Selva Andina Biosphere. Bolivia. Todos los derechos reservados.

Abstract

The San Andrés Archipelago, Providencia and Santa Catalina was declared a Seaflower Biosphere Reserve by UNESCO in 2000, constituting one of the most extensive reef systems in the Western Hemisphere located in the Colombian Caribbean. Nowadays, this island presents problems of food security, being serious in San Andrés where there is a high native population and tourist that depends on the importation of food. Although in this were grown coconut, cassava, citrus, etc., agricultural activity has decreased mainly due to the presence of pests and lack of soil management. The objective of this study was to describe the physical-chemical and microbiological characteristics of soils of the Reserve, samples were made at different geographical points of the “Seaflower” Reserve. The results obtained show in general high contents of organic matter (max value 12.8%), calcium (between 2.6 and 64 cmol (+) kg⁻¹), potassium (between 0.1 and 1.86 cmol (+) kg⁻¹), magnesium (values between 1.6 and 22.2 cmol (+) kg⁻¹) and phosphorus (max. value 416 ppm), whereas in the case of aluminum, sodium and sulfur, low contents were found, on the other hand, copper, zinc, iron and manganese, presented variable contents. On the island soil texture is variable, it was sandy loam, clay loam, and sandy, with alkaline pH at most of the points sampled. As for the microbiological analysis, 128 isolates were obtained, in which the *Trichoderma* and *Fusarium* genera prevailed, other genera were *Rhizopus*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Colletotrichum* and *Botrytis*. The Reserve has an optimal fertility status for agricultural production, but must be enhanced through the implementation of integrated management.

© 2019. Journal of the Selva Andina Biosphere. Bolivia. All rights reserved.

Introducción

La reserva de Biósfera Seaflower (RBS) fue declarada por la UNESCO, en el año 2000 debido a su extensión marina de 300 000 Km² siendo considerada punto caliente de biodiversidad. Un hábitat con más de 400 especies de peces, coral duro y blando, medusas, moluscos, crustáceos, reptiles y aves¹, compuesta por tres islas oceánicas, que conforman el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (ASAPS), situada en el mar Caribe Centro Occidental, extremo jurisdiccional de Colombia cubriendo aproximadamente 34% del territorio marítimo del caribe colombiano.²

Su economía basada principalmente en actividades de turismo, comercio, siendo complementadas con agricultura y pesca de subsistencia^{3,4}, ubicándose en el séptimo puesto, con 3.4 % del PIB. Actualmente el archipiélago debe importar del interior del país productos de consumo cotidiano, por su incapacidad de abastecimiento interno para isleños y turistas, presentando problemas de seguridad alimentaria.^{5,6}

San Andrés (SA), es la más grande de la reserva, con 27 Km² y 51 000 habitantes⁷, presenta problemas de sobrepoblación, falta de agua potable, y más de la mitad de su población se concentra en la zona urbana y en llanuras costeras del extremo norte de la isla, donde se hacen evidentes los efectos del turismo de masas y la sobrepoblación.⁸ El crecimiento demográfico no ha sido combinado con un modelo de desarrollo sostenible.⁹ En la actualidad se presenta una reducción de la calidad del agua a partir de residuos sólidos y líquidos, derivados de una infraestructura inadecuada y el desarrollo urbano mal planificado desatando graves problemas socioeconómicos.¹⁰

En cuanto al sector agrario, el producto agrícola de principal explotación comercial era el coco, aunque también se producía aguacate, caña de azúcar, mango, naranja, árbol del pan, ñame, noni y yuca, con el

pasar de los años su producción se fue reduciendo, por la degradación del suelo y urbanización de muchas áreas³, llegando en la actualidad a la importación del 95% de los alimentos.¹¹ A pesar de ello, se reporta¹² que el 1% de la población isleña realiza prácticas productivas agropecuarias de manera doméstica y tradicional, para las condiciones existentes. La economía de las islas está basada principalmente en actividades de comercio, servicios hoteleros, transporte, entre otros.⁴

Por lo anteriormente descrito, se hace necesario promover acciones como el autoconsumo, cambio o comercialización de productos, así como también optimización del manejo agronómico, encaminados a contribuir con la seguridad alimentaria, por medio de actividades ambientalmente sostenibles, que contribuyan ante esta problemática.¹¹ Por lo que se debe abordar el problema desde el suelo como componente fundamental del ecosistema, teniendo en cuenta que en SA predominan las calizas (CaCO₃ con trazas de MgCO₃), sedimentos aluviales y sedimentos marinos coralinos, mientras que en Providencia y Santa Catalina (PySC) el suelo fue formado predominantemente a partir de rocas de origen volcánico, en cuanto al contenido de arcillas, todas las islas presentan montmorillonita y caolinita.¹³

En las islas que conforman la RBS se han realizado varias investigaciones sobre las conformaciones litológicas¹⁴, ecología regional¹⁵, caracterizaciones ecológicas¹⁶, flora ilustrada y listado taxonómico del Archipiélago de San Andrés y Providencia^{17,18}, pero no se tienen reportes de datos sobre análisis de la fertilidad de sus suelos con miras a usarlos en planes de manejo agronómico para la producción de alimentos y menos sobre poblaciones de microorganismos presentes en la rizósfera de sus plantas.

Por ello, aunque Jaramillo¹³ describió de forma general los suelos predominantes en las islas (de colinas, en coluvios, de formas litorales y en terra-

zas coralinas), se hace necesario determinar la composición físico-química y microbiológica actual de estos suelos, como base para manejo agronómico de los mismos. El objetivo principal de este trabajo fue describir las características físico-químicas y microbiológicas de suelos de la RBS con el fin de que la descripción sea una herramienta para futuras recomendaciones agronómicas de manejo, que permitan potenciar la producción y contribuyan a la mitigación de la problemática de seguridad alimentaria.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la RBS, presenta clima cálido-húmedo en el archipiélago, influenciado por sus características fisiográficas y acción de vientos alisios provenientes del nordeste. Temperatura media anual 27.5 °C en la costa y 26.5 °C en la zona colinada, régimen de temperatura edáfica isohipertérmico (22-27 °C). El régimen de humedad dominante, ústico aunque se encuentran áreas con régimen údico o ácuico. Presenta humedad relativa media anual del 81%, evapotranspiración potencial media anual de 1740 mm, registrándose en promedio 2650 h de brillo solar al año. Precipitación media anual 1850 mm con distribución monomodal sin formación de corrientes superficiales permanentes.⁸

Tabla 1 Puntos de muestreo con uso del suelo en la Reserva de Biosfera Seaflower

Isla	Uso del suelo	Punto de muestreo	Latitud	Longitud	Especie vegetal
San Andrés	Agricultura	El Cove, Paradise farm	N 12°31'36.8"	W 81°43'33.4"	Guayaba (<i>Psidium guajava</i>)
		El Cove, Pedro Sarmiento farm	N 12°31'58.2"	W 81°43'59.7"	Anon (<i>Annona squamosa</i>)
		La piscinita	N 12°30'39.3"	W 81°43'40.3"	Guayaba (<i>Psidium guajava</i>)
		Elcy bar	N 12°29'43.5"	W 81°43'29.4"	Limón (<i>Citrus x limon</i>)
		West view	N 12°31'14.3"	W 81°43'40.9"	Limón (<i>Citrus x limon</i>)
	Urbano	Flowers hill	N 12°34'10.3"	W 81°42'51.2"	Fruto pan (<i>Artocarpus altilis</i>)
		Barrack hill	N 12°33'10.4"	W 81°43'01.9"	Coco (<i>Cocos nucifera</i>) + Coquito (<i>Cyperus rotundus</i>)
		Old point mangrove	N 12°33'41.8"	W 81°42'26.8"	Mangle blanco (<i>Laguncularia racemosa</i>)
	Manglar y zonas costeras	Johnny cay	N 12°36'00.0"	W 81°41'23.9"	Palma abanico (<i>Pritchardia pacifica</i>)
		Haynes cay	N 12°33'00.1"	W 81°41'18.0"	Coco (<i>Cocos nucifera</i>)
	Conservación	Cove hill	N 12°31'59.3"	W 81°43'48.3"	Palma manila (<i>Adonidia merrillii</i>) + Pasto chino (<i>Zoysia matrella</i>)
		Botanical Garden	N 12°32'15.8"	W 81°42'45.7"	Mango (<i>Mangifera indica</i>)
		Big Pond Lagoon	N 12°33'51.6"	W 81°43'11.9"	Guanabana (<i>Annona muricata</i>)
		Morris landing	N 12°34'16.5"	W 81°43'19.7"	Guasimo (<i>Guazuma ulmifolia</i>)
		Rocky cay	N 12°32'37.0"	W 81°42'14.2"	Coco (<i>Cocos nucifera</i>)
Turismo	Allan Bay	N 13°21'58.1"	W 81°23'05.9"	Mango (<i>mangifera indica</i>)	
	Cabañas de Agua Dulce	N 13°20'58.3"	W 81°23'32.4"	Platano (<i>Musa x paradisiaca</i>)	
	María la Francesa	N 13°21'00.5"	W 81°23'28.7"	Grocella (<i>Phyllanthus acidus</i>)	
	Huffintong Farm	N 13°20'54.3"	W 81°23'31.3"	Naranja (<i>Citrus x sinensis</i>)	
	Botton house	N 13°20'04.5"	W 81°21'42.0"	Mamoncillo (<i>Melicococus bijugatus</i>)	
Providencia	Agricultura	German Márquez	N 13°20'58.3"	W 81°23'34.1"	Mango (<i>Mangifera indica</i>)
		South West Bay	N 13°20'04.6"	W 81°23'31.2"	Coco (<i>Cocos nucifera</i>)
		Santa Catalina	N 13°23'01.6"	W 81°22'15.3"	Anon (<i>Annona squamosa</i>)

Se seleccionaron 23 puntos geográficos de las islas SA, Providencia y Santa Catalina. En SA, se procuró obtener muestras de suelos con diferentes usos: manglar y zonas costeras, agricultura, urbano, turismo, y zona de conservación (tabla 1), en cada uno

se seleccionó una especie vegetal extrayéndose las muestras rizosféricas de suelo.

El muestreo de suelos se realizó según la metodología propuesta por Jaramillo¹³, tomando suelo rizosférico en cada punto geográfico. Las muestras obtenidas fueron procesadas y enviadas al Laboratorio

de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (UNCSM), realizándose análisis físico-químicos incluyendo propiedades como textura, pH, materia orgánica (MO.), aluminio (Al), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), fósforo (P), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B) y las relaciones Ca:Mg y Cu:Zn.¹⁹

El análisis microbiológico se llevó a cabo en el laboratorio de Control Biológico de la UNCSM, con enfoque en la caracterización de hongos rizosféricos

cultivables, según metodología Mueller *et al.*²⁰ se seleccionaron raíces finas, se cortaron en fragmentos de aproximadamente 0.5 cm para la posterior siembra directa en medio semiselectivo (papa dextrosa agar con adición de Rosa de Bengala y sulfato de estreptomycin a 250 ppm) y su purificación en colonias únicas observando caracteres macrométricos y morfométricos empleando descripciones propuestas por Seifert *et al.*²¹

Resultados

Tabla 2 Clases texturales de puntos de muestreo en la Reserva de Biosfera Seaflower, de acuerdo con el uso del suelo

Isla	Uso del Suelo	Punto de Muestreo	Clase textural	
San Andrés	Agricultura	El Cove, Paradise Farm	Arcillosa	
		El Cove, Pedro Sarmiento Farm	Arenosa franca	
		La Piscinita	Franco arenosa	
		Eley Bar	Arenosa franca	
		West View	Franco arenosa	
	Urbano	Flowers Hill	Franco arcillosa	
		Barrack Hill	Franco arcillo arenosa	
	Mangle y zonas costeras	Old Point Mangrove	Arenosa franca	
		Johnny Cay	Arenosa	
		Haynes Cay	Arenosa	
		Big Pond Lagoon	Franco arcillosa	
		Conservación	Cove Hill	Franca
			Botanical Garden	Arcillosa
		Turismo	Rocky Cay	Arenosa
	Morris Landing		Arenosa franca	
	Allan Bay		Franco arcillo arenosa	
	Providencia	Agricultura	Cabañas de Agua Dulce	Arenosa franca
Maria La Francesa			Franco arcillosa	
Huffintong Farm			Franco arenosa	
Botton House			Franca	
German Marquez			Franco arcillosa	
South West Bay			Franco arenosa	
Santa Catalina			Agricultura	Santa Catalina

En suelos se evidenciaron divergencias en relación a la textura predominante entre las islas. En SA predominó la clase textural franco arenosa, seguida de la arenosa y la arenosa franca, exceptuando los puntos Flowers Hill y Big Pond Lagoon, que presentaron textura franco arcillosa, y Botanical Garden y El Cove Paradise Farm que presentaron mayor contenido de arcillas, correspondiente a la clase textural

arcillo arenosa y arcillosa respectivamente (tabla 2).

En las islas de PySC predominaron las texturas franca y arenosa.

El contenido de MO, en todos los puntos muestreados, se ubican por encima del 5%, exceptuando en Rocky Cay y en Old Point Mangrove (SA) que presentaron contenidos de 0.52% y 1.8% respectivamente y en Santa Catalina fue 0.95% (tabla 3).

Tabla 3 Análisis químico de suelos del Archipiélago San Andrés, Providencia y Santa Catalina

Isla	Uso del suelo	Punto de muestreo	pH	MO	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CICE
San Andrés	Agricultura	El Cove, Pedro Sarmiento farm	7.30	8.40	0.00	31.80	3.00	0.37	0.37	35.50
		La piscinita	7.50	12.90	0.00	51.50	4.20	1.12	0.42	57.20
		Elcy bar	7.50	12.80	0.00	38.40	3.90	0.59	0.67	43.60
		West view	7.80	8.90	0.00	41.60	1.70	0.50	0.40	44.20
	Urbano	Flowers hill	7.60	7.60	0.00	64.00	4.60	0.87	0.24	69.70
		Barrack hill	7.80	7.20	0.00	37.00	3.10	0.70	0.80	41.60
		Old point mangrove	8.40	1.80	0.00	31.80	9.60	0.88	17.20	59.50
	Manglar y zonas costeras	Johnny cay	8.10	7.90	0.00	24.00	5.60	0.29	1.90	31.80
		Haynes cay	8.00	8.80	0.00	25.00	22.20	1.86	26.40	75.50
		Big Pond Lagoon	5.60	7.80	0.00	12.60	4.00	0.34	0.61	17.60
	Conservación	Cove hill	7.80	6.10	0.00	40.80	2.50	0.34	0.36	44.00
		Botanical Garden	7.00	8.60	0.00	43.80	6.30	0.36	0.51	51.00
	Turismo	Rocky cay	8.40	0.52	0.00	32.80	3.70	0.10	0.96	37.60
		Morris landing	8.10	5.80	0.00	23.10	1.60	0.30	0.30	25.30
		Allan Bay	6.00	9.80	0.00	16.80	6.10	0.80	0.55	24.20
Providencia	Agricultura	Cabañas de Agua Dulce	6.90	7.00	0.00	11.10	5.50	1.70	0.24	18.60
		Maria la Francesa	5.30	5.30	0.30	2.60	3.10	0.70	0.37	7.00
		Huffintong Farm	6.00	11.10	0.00	13.90	7.20	1.30	0.61	23.00
	Botton house	6.10	6.00	0.00	10.90	6.40	1.10	0.94	19.30	
	German Marquez	6.50	5.40	0.00	19.20	3.80	0.70	0.40	24.10	
	South west bay	7.40	3.50	0.00	8.40	1.80	0.40	0.18	10.80	
	Santa Catalina	Agricultura	Santa Catalina	8.50	0.95	0.00	25.40	4.70	0.20	1.84

Tabla 4 Análisis químico de suelos del Archipiélago San Andrés, Providencia y Santa Catalina

Isla	Uso del suelo	Punto de muestreo	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Ca:Mg	Cu:Zn
San Andrés	Agricultura	El Cove, Paradise farm	22.00	6.00	57.00	3.00	2.00	5.00	0.80	2.90	0.40
		El Cove, Pedro Sarmiento farm	391.00	3.00	8.00	2.00	1.00	2.00	0.90	10.60	0.50
		La piscinita	407.00	5.00	8.00	4.00	1.00	4.00	1.50	12.30	0.30
		Elcy bar	416.00	12.00	19.00	7.00	4.00	6.00	1.70	9.80	0.70
	Urbano	West view	185.00	3.00	9.00	3.00	1.00	2.00	0.70	24.50	0.50
		Flowers hill	39.00	13.00	10.00	1.00	2.00	7.00	1.20	13.90	0.30
		Barrack hill	164.00	13.00	18.00	4.00	2.00	6.00	1.20	11.90	0.30
	Mangle y zonas costeras	Old point mangrove	12.00	107.00	9.00	2.00	1.00	1.00	2.70	3.30	1.00
		Johnny cay	10.00	24.00	10.00	2.00	2.00	12.00	1.70	4.30	0.20
		Haynes cay	120.00	146.00	16.00	10.00	0.50	1.00	10.50	1.10	0.50
	Conservación	Big Pond Lagoon	20.00	4.00	37.00	7.00	2.00	4.00	1.10	3.20	0.50
		Cove hill	71.00	4.00	8.00	4.00	1.00	4.00	0.70	16.30	0.30
	Turismo	Botanical Garden	70.00	9.00	16.00	2.00	1.00	2.00	1.50	7.00	0.50
		Rocky cay	1.00	19.00	3.00	0.50	0.50	1.00	1.00	8.90	0.50
		Morris landing	400.00	6.00	10.00	2.00	1.00	2.00	1.00	14.40	0.50
Providencia	Agricultura	Allan Bay	13.00	4.00	32.00	23.00	1.00	3.00	1.10	2.80	0.30
		Cabañas de Agua Dulce	13.00	8.00	17.00	14.00	1.00	5.00	1.20	2.00	0.20
		Maria la Francesa	2.00	3.00	59.00	24.00	1.00	2.00	1.00	0.80	0.50
	Huffintong Farm	7.00	4.00	23.00	46.00	1.00	9.00	1.40	1.90	0.10	
	Botton house	21.00	5.00	35.00	14.00	1.00	5.00	1.70	1.70	0.20	
	German Marquez	9.00	6.00	25.00	11.00	2.00	4.00	1.20	5.10	0.50	
	South west bay	40.00	6.00	14.00	5.00	30.00	11.00	0.80	4.70	2.70	
Santa Catalina	Agricultura	Santa Catalina	3.00	25.00	10.00	1.00	1.00	1.00	5.20	5.40	1.00

En lo concerniente al pH, presentan una tendencia a la alcalinidad, aunque se presentan dos valores por

debajo de 7. Con distintos rangos de pH entre las islas, estando generalmente entre la acidez fuerte y

la neutralidad en Providencia (5.30-7.40), alta alcalinidad (8.50) en Santa Catalina, y en SA desde alcalinos a alcalinos altos, en rangos de 7.0 y 8.40, tabla 3.

En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), en SA se presentaron en promedio valores más altos comparados con los de PySC, con valores entre 17.60 y 75.50 cmol (+) kg⁻¹ de suelo, siendo estos los puntos más extremos en zonas de conservación-manglares y zonas costeras, respectivamente. En Providencia el valor de CICE se encuentra entre 7.00 y 24.20 cmol (+) kg⁻¹ de suelo, y en Santa Catalina fue de 32.10 cmol (+) kg⁻¹ de suelo.

En cuanto al contenido de aluminio (Al³⁺) en general el valor fue de 0, sin embargo, en SA (en El Cove, Paradise farm) se presentó 0.20 cmol (+) kg⁻¹ y en Providencia (en María la Francesa) presentó un valor de 0.30 cmol (+) kg⁻¹ de saturación con aluminio intercambiable.

En el caso del calcio (Ca²⁺), el magnesio (Mg²⁺) y potasio (K⁺) presentaron valores con tendencia a cantidades considerablemente altas. Para el sodio (Na⁺), reportamos valores desde 0.24 cmol (+) kg⁻¹, hasta valores extremos de 17.20 cmol (+) kg⁻¹ y 26.40 cmol (+) kg⁻¹, ambos registrados en zonas costeras y de manglar.

En la Tabla 4. se pueden observar los contenidos de fósforo en cada Isla, en SA, por ejemplo, debe resaltarse los contenidos altos en los puntos muestreados dedicados a la agricultura y en otros de los demás usos, se registraron valores desde 120 mg kg⁻¹ hasta 416 mg kg⁻¹.

En el caso de los elementos menores, como lo son el azufre (S), el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el cobre (Cu), el zinc (Zn) y el Boro (B), se presentaron valores similares en los sitios muestreados, observándose valores extremos del contenido de algunos ellos en ciertos puntos: contenidos de 146 mg kg⁻¹ de S en Haynes Cay, de 107 de S mg kg⁻¹ en

Old Point Mangrove y 30 mg kg⁻¹ de Cu en South West Bay. Todos lo demás elementos fueron reportados con contenidos similares entre y dentro de los puntos muestreados, tabla 4.

Las relación de cationes intercambiables Ca:Mg y la relación Cu:Zn, presentó valores muy similares en todos los puntos muestreados, no se observan valores extremos en ninguno de ellos, tabla 4.

Figura 1 Diversidad de hongos encontrados en rizosfera de puntos de San Andrés

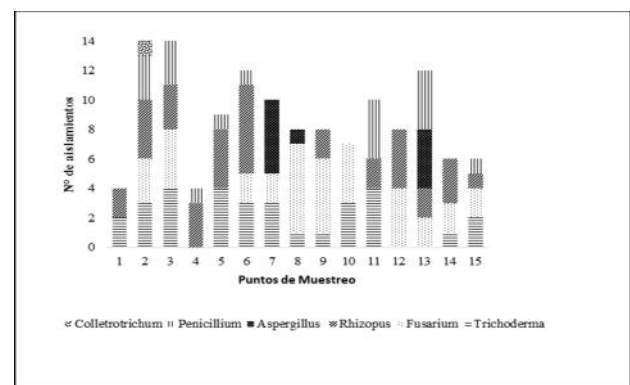
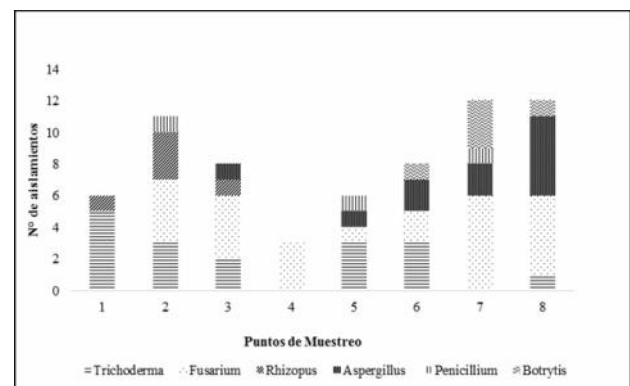


Figura 2 Diversidad de hongos encontrados en rizosfera de puntos de Providencia



Por otro lado, a partir de las muestras de raíces procesadas, reportamos 128 aislamientos sin evidencia suficiente para afirmar asociación con el hospedante vegetal. De los géneros predominantes *Trichoderma* (27%) y *Fusarium* (25%), y con menor prevalencia de UFC. *Rhizopus*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Colle-*

totrichum y *Botrytis*, siendo estos últimos los de menor frecuencia.

En PySC se encontró mayor presencia de *Trichoderma*, *Fusarium* y *Aspergillus* que, en SA, mientras que *Penicillium* fue más común en este último. En SA no se presentó *Botrytis* así como en PySC no reportamos *Colletotrichum* (figuras 1 y 2).

En general *Fusarium* spp. y *Rhizopus* sp., fueron predominantes en SA presentándose en 11 y 12 puntos de los 15 muestreados, mientras que, en Providencia *Fusarium* spp., estuvo presente en todas las colectas, excepto en South West Bay, y también se presentó en suelo rizosférico de anón (*Anonna squamosa*) en Santa Catalina.

Por su parte, *Aspergillus* sp., sólo se registró en dos puntos de la isla de SA (Old Point Mangrove y Rocky Cay), sin relación con respecto al uso del suelo y el hospedante, mientras que en PySC fue más observado. En el caso de *Penicillium* spp., fue poco observado en PySC, expresándose sólo tres de ocho puntos muestreados.

Los patógenos menos comunes hallados fueron *Colletotrichum* spp., y *Botrytis* sp., el primero solo se reportó en Big Pond Lagoon (SA) y el segundo, observado en Germán Márquez y South West Bay de PySC.

Discusión

Las texturas en los suelos de las islas, coinciden con lo señalado por Jaramillo²², quien afirma que estos suelos presentan una textura gruesa en general, lo que influye en la aireación, movimiento del agua, retención de humedad, retención y liberación de iones, disponibilidad de nutrientes, repercutiendo a su vez en productividad, erodabilidad, uso y manejo del suelo, por ello, se podría considerar a estos suelos con texturas adecuadas para el crecimiento vege-

tal, pero con dificultades de disponibilidad hídrica para las plantas en épocas secas.

El contenido de MO, es importante comprender en primera instancia que esta propiedad es controlada primordialmente por factores climáticos antes que por procesos pedológicos.^{13,23} Por ejemplo, al aumentar la precipitación se incrementa el contenido de MO, sucediendo lo contrario con el aumento de temperatura. Sin embargo, condiciones del suelo como aireación, pH, fósforo disponible y actividad microbiana hacen que su interpretación sea aún más compleja. De acuerdo con Jaramillo²², el índice de proporciones ideales en las tres fases del suelo en clima cálido húmedo, para ofrecer óptimo desarrollo vegetal, es de más del 3% de MO, que corresponde a lo reportado en las islas de SA y Providencia. Sin embargo, de acuerdo con Osorio²⁴ según la altitud y temperatura se categoriza de muy bajo a muy alto. Por consiguiente, en SA se presentó muy bajo contenido de MO en Rocky Cay (0.52%) y bajo en Old Point Mangrove (1.8%) con uso respectivo del suelo en manglar y zonas costeras y turismo. Mientras que en los demás puntos se presentó contenidos muy altos de MO, desde 3.50% a 12.90%, permitiendo inferir que este contenido no varía considerablemente según el uso de suelo. Y en Santa Catalina, se registró el 0.95% de MO cuando el suelo se usa en agricultura, siendo este valor un muy bajo.

Los valores de pH, en su mayoría, reflejan alcalinidad en los suelos de SA, se puede deducir que la alcalinidad promueve la disponibilidad de Mg, B, Cu y Zn, pero no de P, K, S, Mg y Ca, que, aunque se hallen en concentraciones altas, no están en su forma biodisponible. Se resalta la presencia de dos puntos fuera del rango que presentan acidez: El Cove Paradise farm (5.40) y Big Pond Lagoon (5.60) con uso en agricultura y conservación respectivamente, haciéndose este carácter muy importante, ya que afecta la carga variable de los coloides del

suelo, repercutiendo directamente en la disponibilidad de nutrientes para las plantas por la interacción de cargas electrostáticas en los coloides evitando el lavado de iones del suelo. Se sabe que el pH además de afectar la biodisponibilidad de nutrientes, también afecta la CICE, interactúa con la MO, y controla la carga superficial generada por los coloides del suelo.²² Los suelos ácidos en su mayoría, se consideran muy evolucionados, pobres en nutrimentos especialmente calcio, magnesio, fósforo.²⁵

Valores de pH entre 8.0 y 8.40 pueden explicarse debido al material parental de arenas coralinas.

La CICE también es un factor indispensable para determinar la biodisponibilidad de nutrientes para las plantas, ya que sí ésta es alta, el suelo puede retener mayores cantidades de nutrientes, siendo descrita por la CICE de la arcilla y de la MO. Con respecto a la CICE, se presenta alta variabilidad de acuerdo al uso del suelo, en aquellos destinados a agricultura, ya que varía entre 35.50 y 57.20 cmol (+) kg⁻¹ de suelo, mientras que en el suelo de uso urbano en promedio se obtuvo CICE de 51.83 y 31.45 cmol (+) kg⁻¹ de suelo. No obstante, los cationes más importantes en los procesos de intercambio catiónico, por las cantidades en que participan son las bases del suelo (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺) y NH₄⁺ en suelos ácidos. Por lo que, a partir de ciertos valores de pH, el Al³⁺ juega un papel muy importante en el complejo de intercambio catiónico del suelo constituyendo, junto con el H⁺, la acidez intercambiable del mismo.²²

Los contenidos de Al³⁺, en general fueron 0, sólo en los dos puntos mencionados, se detectaron ciertos valores que se consideran contenidos bajos en términos generales, pero en realidad se debe calificar según la tolerancia de las plantas.²⁴

Los contenidos de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺, fueron en general, altos, sin embargo, estos valores deben ser analizados en función de las especies vegetales.²⁴ En términos generales se tiene que contenidos de Ca²⁺

mayores a 9 cmol(+) kg⁻¹ se consideran muy altos, lo cual se puede tornar limitante para la producción vegetal. La alta cantidad de Ca²⁺ presente en estos suelos se puede explicar por el efecto que tiene la composición del material parental¹³, y el tipo de arcillas, por ejemplo, la montmorillonita, que retienen fuertemente el Ca²⁺ (2:1) y la caolinita (1:1), y que son predominantes en el Archipiélago en estudio. Según Osorio²⁴, el alto contenido de Ca²⁺ puede generar desbalances nutricionales debido a la interacción con diferentes micronutrientes. En cuanto al contenido de Mg²⁺, en general sus valores fueron muy variables, con valores de 1.60 a 22.20 cmol(+) kg⁻¹ en SA, y sólo tres puntos presentaron valores de contenido medio a alto, mientras que los demás presentaron valores muy altos, aunque su valor óptimo depende de la especie vegetal. En Providencia se presentaron valores de Mg²⁺ de 1.80 a 7.20 cmol (+) kg⁻¹, que en general se califican como muy altas. Así mismo sucedió en Santa Catalina, el contenido de Mg²⁺ fue de 4.70 cmol(+) kg⁻¹, lo anterior fue clasificado según las categorías de interpretación reportadas por Osorio.²⁴ En general el contenido de potasio (K⁺) fue más alto en Providencia, en SA en promedio se registró un valor de 0.59 cmol(+) kg⁻¹ con valores extremos en Haynes Cay y La piscinita con 1.86 y 1.12 cmol(+) kg⁻¹, respectivamente, que es categorizado como muy alto. Mientras en Santa Catalina el valor registrado fue calificado como medio con valor de 0.20 cmol(+) kg⁻¹, que no se considera limitante para la producción vegetal.

Por su parte, el Na⁺ en SA resultó ser muy alto en las zonas costeras y de manglar, situación similar a la de Santa Catalina, mientras que en Providencia los valores oscilaron entre 0.18 y 0.94 cmol(+) kg⁻¹, fueron categorizados como muy bajos según la escala propuesta por Osorio.²⁴ Se debe resaltar que el Na⁺ se ha reportado como esencial en la regulación de la turgencia en plantas halófilas, captación y

transporte de dióxido de carbono para la fotosíntesis de plantas C4.²⁴

En general SA presentó contenidos más altos de fósforo (P), con un rango de 1 a 416 mg kg⁻¹, siendo muy altos, sobretodo donde se lleva a cabo agricultura y el uso urbano. En Providencia el rango del contenido de P, se califica de manera general como bajo, con excepción de un punto, South West Bay que presentó 40 mg kg⁻¹, valor que se califica como muy alto. Mientras que en Santa Catalina el contenido de P fue muy bajo, con 3 mg kg⁻¹. Los valores altos en el contenido de P son importantes y peligrosos ya que pueden limitar la solubilidad de elementos menores como Fe, Mn, Cu y Zn.²⁴ En las plantas, el P se requiere para favorecer la formación de semillas, el desarrollo radicular y la maduración de los cultivos.²⁶

En el caso de micronutrientes, en SA el azufre (S) registró una variación 3 y 19 mg kg⁻¹, siendo de tendencia de bajo a medio cuando el suelo es usado para agricultura, de forma similar con las zonas de conservación, con tendencia baja y muy alta en zonas urbanas y de turismo, mientras que en las zonas costeras y de manglar se evidenciaron valores muy altos, en Haynes Cay (107 mg kg⁻¹) y Old Point Mangrove (146 mg kg⁻¹) al igual que en Santa Catalina se registró 25 mg de S kg⁻¹. Mientras que Providencia exhibió valores de S de 3 a 8 mg kg⁻¹, con tendencia general de contenido bajo. El S, tiene funciones para la planta como sistema de defensa y detoxificación, es importante en protección celular, ya que evita deshidratación por calor y sequía y también juega un papel en la protección de los daños de las células por frío. Para que los cultivos logren un desarrollo normal, se habla de una relación nitrógeno: azufre de 10:1 en tejido vegetal.²⁷

Los contenidos de hierro (Fe), fueron en general, muy bajos en SA, excepto en El Cove - Paradise farm y Big Pond Lagoon con contenidos de Fe de

57 y 37 mg kg⁻¹, siendo respectivamente muy alto y alto, en uso en agricultura y zonas de conservación. Mientras que en Providencia los valores más altos que en SA, con un rango de 14 a 59 mg kg⁻¹, con tendencia general a contenidos medios, siendo el extremo superior del rango: María La Francesa, y los más bajos en: Cabañas de Agua Dulce, Huffington Farm y South West Bay. En Santa Catalina se registró contenido bajo de Fe con 10 mg kg⁻¹ para suelo que es usado en agricultura. La alcalinidad en los suelos, es una de las principales causas de la deficiencia de este nutriente, pues existe un antagonismo entre los carbonatos y el Fe en los suelos. El pH de un suelo determina la disponibilidad de Fe y de otros micronutrientes al afectar su solubilidad, el Fe es el más afectado por esta razón ya que por cada unidad de aumento del pH (entre 4 y 9) su disponibilidad se reduce 1000 veces, mientras que la disponibilidad de Mn, Zn y Cu disminuye 100 veces por cada unidad de incremento en el pH. La clorosis férrica comienza a partir de niveles de pH (en agua) superiores a 7.5, sin embargo, la intensidad aumenta con incrementos de pH sobre este valor, probablemente por efectos adicionales del carbonato de calcio (CaCO₃).²⁸

El contenido de manganeso (Mn) fue más alto en Providencia, presentando valores de 5 a 46 mg kg⁻¹, contenidos que se clasifican de altos a muy altos. En SA, la tendencia es a contenidos muy bajos y bajos en la mayoría de los puntos y en Santa Catalina se encontró contenido de Mn de 1 mg kg⁻¹, lo cual es muy bajo. Generalmente el contenido de manganeso total en el suelo oscila entre 20 a 3000 ppm, aunque en promedio se dice que contiene 600 ppm. Al igual que otros cationes bivalentes, como el hierro, el pH es el factor que más afecta su disponibilidad, ya que por cada unidad de aumento en el pH se decrementa 100 veces su solubilidad. Por lo tanto, suelos con alto contenido de bicarbonatos y/o encalados afec-

tan la disponibilidad de manganeso por el pH elevado que generan.²⁹ Este nutriente, participa en la síntesis de clorofila, asimilación de nitratos, síntesis de vitaminas (riboflavina, ácido ascórbico, y carotina), síntesis de aminoácidos, síntesis de ATP, síntesis de lignina, activación hormonal y división celular. Tiene un papel fundamental en la fotosíntesis y respiración; además tiene una gran importancia en la germinación y madurez fisiológica de los granos. Por otro lado, el cobre (Cu) en SA se encontró con tendencia a contenidos medios de 1 a 3 mg kg⁻¹. Sin embargo, se encontraron dos puntos con contenido bajo de Cu, Haynes Cay y Rocky Cay con 0.5 mg kg⁻¹, y con contenido alto en Elcy bar con 4 mg kg⁻¹, resaltando que este suelo es usado para agricultura. En PySC el contenido fue de 1 mg kg⁻¹, con la misma tendencia que SA, aunque en el punto South West Bay de Providencia, se presentó un contenido muy alto de Cu 30 mg kg⁻¹. En las plantas, el cobre activa ciertas enzimas implicadas en la síntesis de lignina y es esencial para diversos sistemas enzimáticos. También es necesario en el proceso de la fotosíntesis, esencial para la respiración de las plantas y coadyuvante de éstas en el metabolismo de carbohidratos y proteínas. Además, el cobre ayuda a intensificar el sabor, el color en las hortalizas y en las flores. En este caso, al igual que como ocurre con la mayoría de los micronutrientes, la disponibilidad del cobre es mayor cuando el pH del sustrato es bajo.³⁰

En cuanto al contenido de (Zn), en SA y Providencia se encontró tendencia general a contenidos medios, presentándose valores entre 1 y 7 mg kg⁻¹ en SA, y entre 2 y 11 mg kg⁻¹ en Providencia, mientras que en Santa Catalina el contenido fue bajo. En la actualidad el Zn constituye quizá el micronutriente más deficiente en el mundo, la deficiencia de Zn suele presentarse con mayor frecuencia en suelos arenosos, mientras que en los arcillosos es menos frecuente por la capacidad de adsorción y retención

de estos suelos. El Zn es absorbido principalmente en forma Zn²⁺ o, en condiciones de pH alto, como ZnOH⁺. La disponibilidad de Zn se reduce al incrementar el pH, esto es muy notorio en particular después de un pH > 7.4, debido a un incremento en la capacidad de adsorción, presencia de formas hidrolizadas de Zn y una posible adsorción por el carbonato de calcio. Por esta razón, los suelos alcalinos y calcáreos tienden a presentar con mayor frecuencia deficiencias de Zn.³¹

El Zn es un elemento de poca movilidad dentro de la planta, pero con numerosas funciones críticas. La estructura y funcionalidad de muchas enzimas dependen de la presencia de Zn en la planta. Se requiere para la síntesis de carbohidratos durante la fotosíntesis y en la transformación de los azúcares en almidón. En los procesos de maduración y producción de semillas, el Zn favorece formación y fertilidad del polen, por ello la deficiencia de Zinc tiene mayor efecto en el rendimiento del grano que en el desarrollo vegetativo. También ayuda al mantenimiento e integridad de las membranas celulares y aporta tolerancia a las plantas ante patógenos, especialmente los del suelo, su deficiencia puede reducir los rendimientos de los cultivos en un 20 % sin manifestar síntomas (hambre oculta).³²

El contenido de Boro (B) varía dentro y entre puntos de las islas, en SA se encontraron valores bajos para los suelos con usos agrícolas y urbanos, mientras que en zonas de manglar y costa todos los puntos presentaron contenido muy alto de B, y en zonas de conservación y turismo el contenido fue de tendencia media. En Providencia los valores oscilaron entre 0.80 y 1.70 mg kg⁻¹ con tendencia general de contenido alto y muy alto, excepto en South West Bay donde su contenido fue bajo (0.8 mg Kg⁻¹) y en María La Francesa el valor fue medio. En Santa Catalina se encontró que el contenido es muy alto, siendo de 5.20 mg kg⁻¹ de B cuando es usado para la agricultura. Las deficiencias de boro en las plantas

pueden ocasionar una mayor susceptibilidad al ataque de enfermedades en las raíces, ya que las paredes celulares se hacen más débiles y son rápidamente penetrables por agentes patógenos. El B participa en el metabolismo de fenoles, protegiendo a las membranas celulares e impidiendo que se acumulen en los tejidos de las plantas, ya que los fenoles son inhibidores de la elongación de raíces. En suelos ácidos, arenosos y con bajo contenido de MO se presentan deficiencias de B y toxicidad por aluminio (Al^{3+}).³³

En cuanto a la relación de cationes intercambiables de Ca:Mg, se puede afirmar en primera instancia que no hay suficiente evidencia en la actualidad para decir que este sea un criterio diagnóstico de disponibilidad de Ca^{2+} y Mg^{2+} , sin embargo, teniendo en cuenta que donde se desarrollaron estos índices fue en zonas dominadas por arcillas como la montmorillonita²⁴, se podría usar con restricciones. Por lo que otros investigadores han propuesto de forma general la relación de 3:1 en la fase intercambiable, siendo esto variable según la especie vegetal. De esta manera, en SA por ejemplo se registraron proporciones muy altas de Ca con respecto al Mg en la mayoría de los puntos, exceptuando El Cove, Paradise farm, Old Point Mangrove y Big Pond Lagoon la relación fue aproximada a la óptima, mientras que en Haynes Cay fue aproximadamente de 1:1. En Providencia se encontraron relaciones cercanas a 1:1 en la mayoría de los casos, solamente en German Márquez y South West Bay registró valores muy altos, con igual comportamiento el suelo estudiado de Santa Catalina. Con respecto a la relación Cu:Zn, ésta representa esencial importancia debido a que pueden tener interacciones competitivas en la adsorción por las membranas celulares de las raíces.²⁴ Así, en SA se mantuvo entre 0.20 y 1 con promedio de 0.47, similar al comportamiento de esta relación en Santa Catalina y en Providencia se

presentaron valores entre 0.10 y 0.50, excepto en South West Bay con 2.70.

Los análisis biológicos, revelaron la presencia de una variedad de hongos importantes para la agricultura, tanto benéfica como antagónica, lo cual es coherente con Jaramillo²², quien afirma que en el suelo se presentan comúnmente los géneros de hongos *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Rhizoctonia*, *Botrytis*, entre otros.

En el caso de la predominancia de *Trichoderma*, su presencia puede considerarse favorable, ya que es en la actualidad como uno de los agentes más promisorios de biocontrol por sus propiedades antagónicas frente a los hongos fitopatógenos, sobre todo porque cohabitan en la rizosfera y pueden colonizar y proteger las raíces de las plantas, así como también colonizar flores, semillas y/o hojas reduciendo daños de enfermedades en un amplio rango de cultivos.³⁴ Entre las variables edáficas que más explican la presencia de *Trichoderma* en suelos de SA son el pH y el Mg (1%), seguido del contenido de Fe y de limo (5%), mientras que en los suelos de Providencia no se detectó relación alguna.

El otro género predominante fue *Fusarium* con un 25%, estos hongos, son ascomicetos filamentosos y cosmopolitas, tienen un micelio bien desarrollado, septado y conidióforos característicos, aunque algunas especies tienen un talo unicelular. Son considerados principalmente como hongos de campos cultivados³⁵, ya que causan un sinnúmero de enfermedades en cultivos. Sus daños desencadenan en el hospedante una serie de afecciones generalmente de carácter irreversible, originando pérdidas económicas considerables.³⁶

Los hongos del género *Fusarium* son ampliamente conocidos, se han convertido en un problema serio ya que producen metabolitos tóxicos que ponen en peligro la salud de los seres humanos y de los animales. Además, incluye muchos patógenos de plan-

tas de importancia agrícola que, en conjunto, ocasionan enfermedades caracterizadas por marchitez, tizones, pudriciones en cultivos ornamentales y forestales en ecosistemas agrícolas y naturales.³⁷ Como otros fitopatógenos, este hongo emplea diversas estrategias de infección, así también, la especificidad del hospedero depende de cada especie de *Fusarium*. El hongo puede sobrevivir en el suelo como micelio o como esporas en ausencia de sus hospedantes, y si se encuentra cerca una planta hospedera, la infección puede iniciar en las raíces, en partes de la planta por encima del suelo, a través del aire o el agua.³⁷

Siendo estos dos géneros los predominantes en los puntos muestreados, debe resaltarse la actividad antagonista que presentan, *Trichoderma* está entre las especies más ampliamente estudiadas y aplicadas como control biológico, debido a su eficaz control, capacidad reproductiva, plasticidad ecológica, efecto estimulante sobre los cultivos y recientemente se detectó su acción como inductor de resistencia sistémica en la planta a diferentes patógenos.^{38,39} Como antagonista natural de fitopatógenos muestra una amplia gama de hospedantes y dentro de ellos algunos de importancia, tales como: *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (E.F. Smith) Snyder y Hans, *Fusarium roseum* Link, *Botrytis cinérea* Pers, *Rhizoctonia solani* Kühn, *Sclerotium rolfsii* Sacc., *Sclerotinia* spp., *Pythium* spp., *Phytophthora* spp., *Alternaria* spp., entre otros.⁴⁰ De lo anterior, se interpreta de una manera muy positiva, el hecho de que la mayor cantidad de aislamientos hallados sean de *Trichoderma*, por los múltiples beneficios que representan para las especies vegetales en cuanto a fitoprotección.

En la reserva SeaFlower, se registraron diferencias tanto en las propiedades fisicoquímicas como en la prevalencia de los microorganismos rizosféricos, en términos generales se puede afirmar que la Reserva cuenta con un estado de fertilidad óptimo para la

producción agrícola, pero debe ser potenciado a través de la realización de manejo integrado, entre los microorganismos encontrados, se encuentran hongos benéficos que pueden ser potenciados para que ejerzan regulación biológica de fitopatógenos.

Por lo anteriormente detallado, se debe potenciar el conocimiento del suelo y sus relaciones físicas, químicas y microbiológicas para diseñar la mejor metodología de producción en sus condiciones.

Conflictos de intereses

Los autores expresan que no existen conflictos de intereses.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Sede Caribe de la Universidad Nacional de Colombia, a la docente Adriana Santos Martínez y en general, a todos los funcionarios del Jardín Botánico de San Andrés por el apoyo técnico, científico y logístico realizado a la presente investigación.

Aspectos Éticos

Todos los aspectos procedimentales experimentales fueron aprobados por el Comité de ética de la Sede Caribe de la Universidad Nacional de Colombia

Literatura Citada

1. El Espectador. ¿Qué pasará con la reserva marina Seaflower? [Internet]. Bogotá: Redacción Internacional (Colombia); 2012 [citado 10 de marzo 2019]. Recuperado a partir de <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/pasara-reserva-marina-seaflower-articulo-388216>
2. SIG-Coralina. Mapas de actualización de cobertura de los manglares del archipiélago de san An-

- drés, Providencia y Santa Catalina [Internet]. Santa Marta: Plan de adaptación al cambio climático para San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Colombia); 2010 [citado 10 de marzo de 2019]. Recuperado a partir de: <http://www.coralina.gov.co/coralina/ordenacionterritorial/areas/seaflower>
3. Gobernación del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina [Internet]. Colombia: La Economía de las Islas (Colombia); 2015 [citado 10 de marzo de 2019]. Recuperado a partir de: http://www.sanandres.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=117&Itemid=139
 4. Santos Martínez A, Hinojosa S, Sierra Rozo O. Proceso y avance hacia la sostenibilidad ambiental: La reserva de biosfera Seaflower, en el Caribe Colombiano. Cuad Caribe 2009;13:7-23.
 5. Polanía J, Toro J, López C, Rodríguez A, Jaramillo L, León A. El sector agropecuario y la seguridad alimentaria en San Andrés Isla. Historia de una experiencia del programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria en el cambio de siglo. Universidad Nacional de Colombia. San Andrés; 2004. p. 152.
 6. Suárez Giraldo CE. Estudio de especies frutales promisorias con miras a su aprovechamiento sostenible en la isla de San Andrés [tesis maestría]. [Caribe]. Universidad Nacional de Colombia; 2010 [Citado 20 de febrero 2019]. Recuperado a partir de: http://bdigital.unal.edu.co/3389/1/905034.2010_Parte1.pdf
 7. Informe de Coyuntura Económica Regional Archipiélago de San Andrés. Departamento Nacional de Estadística [Internet]. Providencia y Santa Catalina; 2011 [citado 26 de marzo de 2019]. Recuperado a partir de: http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/icer_sanandres_2011.pdf
 8. Corporación para el desarrollo sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Gómez López DI, Segura Quintero C, Sierra Correa PC, Garay Tinoco JA, Taylor Jay E, Bent Zapata O, editores. Atlas de la Reserva de Biósfera Seaflower: Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Bogotá; 2012. p. 184.
 9. Sánchez Jabba A. Manejo ambiental en Seaflower, Reserva de Biosfera en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. En: Documentos de trabajo sobre economía regional. Cartagena: Banco de la República, editores. Centro de Estudios Económicos Regionales. Cartagena; 2012. p. 49.
 10. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Ecological Sciences for Sustainable Development [Internet]. París: Biosphere Reserves-Learning Sites for Sustainable Development (Francia); 2011 [citado 10 de febrero de 2019]. Recuperado a partir de: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/>
 11. Orozco J. Informe oferta y demanda de productos agrícolas. Secretaría de agricultura y pesca. Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Manuscrito; 2003.
 12. López C. Sistemas de producción pecuaria. p. 68-94. En: El sector agropecuario y la seguridad alimentaria en San Andrés isla. Historia de una experiencia del Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria en el cambio Nacional de Colombia, Sede San Andrés. San Andrés. 2004. 152 p.
 13. Jaramillo DF. El suelo: Origen, propiedades, espacialidad. (1ra Ed.). Medellín, Colombia.: Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín; 2011. p. 553.

14. Vargas Cuervo G. Geología y aspectos geográficos de la Isla de San Andrés, Colombia. *Geol Colomb* 2004;29:73-89.
15. Márquez Calle GE. Las islas de Providencia y Santa Catalina. *Ecología Regional: Fondo FEN Colombia*. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá; 1987.
16. Barriga Bonilla E, Hernández Camacho J, Jaramillo I, Jaramillo Mejía R, Mora Osejo LE, Pinto Escobar P, editores. *La Isla de San Andrés. Contribuciones al conocimiento de su ecología, flora, fauna y pesca*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia; 1969.
17. González Garavito FA, Díaz JN, Lowy Ceron P, editores. *Flora ilustrada de San Andrés y Providencia*. Bogota: Convenio SENA. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales; 1995. p. 280.
18. Lowy Cerón PD. Flora vascular terrestre del Archipiélago de San Andrés y Providencia. *Biota colombiana* 2000; 1 (1): 109-24.
19. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín [Internet]. Medellín: Listado de Precios, Laboratorio de Suelos (Colombia); 2019 [citado 9 de noviembre de 2019]. Recuperado a partir de: http://ciencias.medellin.unal.edu.co/laboratorios/suelos/images/documentos/mlsfct10004039_listado_de_precios.pdf
20. Mueller GM, Bills GF, Foster MS. *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods*. Elsevier Inc, 2004. 777 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-509551-8.X5000-4>
21. Seifert KA, Morgan Jones G, Gams W, Kendrick B. *The genera of Hyphomycetes*. Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre; 2011. p. 996.
22. Jaramillo DF. *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín, Colombia.: Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín; 2002.
23. Julca Otiniano A, Meneses Florián L, Blas Sevillano R, Bello Amez S. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)* 2006; 24(1): 49-61. DOI: <http://doi.org/10.4067/S0718-3429200600010009>
24. Osorio Nelson W. Manejo de nutrientes en suelos del trópico. *Cuaderno Activa* 2013;5(1):140.
25. Acevedo Sandoval O, Valera Pérez MA, Prieto García F. Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlan, Hidalgo, México. *Universidad y Ciencia* 2010; 26(2): 137-50.
26. Cerón Rincón LE, Gutiérrez Fabio AA. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Rev Colomb Biotecnol* 2012;14(1):285-95.
27. Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. *Importancia del azufre en las plantas* [Internet]. Veracruz: Artículos técnicos (México); 2017 [citado 10 de abril de 2019]. Recuperado a partir de: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/importancia-del-azufre-s-en-las-plantas>
28. Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. *La deficiencia de hierro en los cultivos*. [Internet]. Veracruz: Artículos técnicos (México); 2015 [citado 10 de abril de 2019]. Recuperado a partir de: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/clorosis-ferrica>
29. Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. *Manganeso en la Nutrición Vegetal* [Internet]. Veracruz: Artículos técnicos (México); 2017 [citado 10 de abril de 2019]. Recuperado a partir de: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-manganeso-en-la-nutricion-vegetal>
30. Chen Lopez J. *Premier Tech Horticulture*. La función del cobre en el cultivo de plantas [Internet]. Quakertown: Centro de información (Canada); 2018 [citado 10 de abril de 2019]. Recupera-

- do a partir de: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-cobre-en-el-cultivo-de-plantas/>
31. Cakmak I. Zinc para la producción global sustentable de cultivos y mejores dietas nutricionales [Internet]. Conferencia del Curso Internacional de Nutrición de Cultivos (México); 2015 [citado 10 de abril de 2019]. Recuperado a partir de: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-importancia-del-zinc-en-las-plantas-y-su-dinamica-en-el-suelo>
32. Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. La Importancia del zinc en las plantas y su dinámica en el suelo. Artículos técnicos (México); 2017 [citado 10 de abril de 2019]. Recuperado a partir de: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-importancia-del-zinc-en-las-plantas-y-su-dinamica-en-el-suelo>
33. Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. Funciones críticas del boro en los cultivos. Artículos técnicos (México); 2017 [citado 10 de abril de 2019]. Recuperado a partir de: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/funciones-criticas-del-boro-en-los-cultivos>
34. Sivila N, Álvarez SE. Producción artesanal de *Trichoderma*. Tecnologías agroecológicas para la agricultura familiar 2013 [Internet]. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuj; 2013 [citado 15 de abril de 2019]. 48. p. Recuperado a partir de: www.cedaf.fca.unju.edu.ar
35. Sumalan RM, Alexa E, Poiana MA. Assessment of inhibitory potential of essential oils on natural mycoflora and *Fusarium* mycotoxins production in wheat. Chem Cent J 2013;7(32): 1-12. DOI: <http://doi.org/10.1186/1752-153X-7-32>
36. García JMD, Shagarodsky T, Fresneda JA, Fundora YH, González J. Caracterización de especies del género *Fusarium* en el cultivo del garbanzo (*Cicer arietinum*) en las provincias Ciudad Habana y La Habana. Temas de Ciencia y Tecnología 2007;11(32): 63-6.
37. Ma LJ, Geiser DM, Proctor RH, Rooney AP, O'Donnell K, Trail F, et al. *Fusarium* pathogenomics. Annu Rev Microbiol 2013;67: 399-416. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092412-155650>
38. Cervantes Flores MA. Microorganismos del suelo beneficiosos para los cultivos [Internet]. Info Agro 2007 [citado 3 de mayo de 2019]. Recuperado a partir de: https://www.infoagro.com/hortalizas/microorganismos_beneficiosos_cultivos.htm
39. Harman GE. Myths and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. Plant Dis 2000; 84(4):377-93. DOI: <http://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.4.377>
40. Infante D, Martínez B, González N, Reyes Y. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. Rev Protección Veg 2009; 24(1), 14-21.
-