

# Primer reporte nutricional de una especie arbórea (*Sacoglottis holdridgei* Cuatrec. Humiriaceae) en el Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica

## First nutritional report of a tree species (*Sacoglottis holdridgei* Cuatrec. Humiriaceae) on Isla del Coco National Park, Costa Rica

Edwin Antonio Esquivel-Segura <sup>1</sup> • Luis Guillermo Acosta-Vargas <sup>1</sup> • Simon Sandoval-Rocha <sup>2</sup>

Recibido: 21/4/2022

Aceptado: 2/11/2022

### Abstract

Isla del Coco is 500 km from Costa Rica's continental territory in the Western Pacific. As a National Park in absolute conservation, it has unique conditions for studying vegetation, ecosystem restoration, and the effects of climate change. *Sacoglottis holdridgei* Cuatrec. (Palo de Hierro) is an endemic tree that has shown a mortality pattern related to pathogens on the Island based on previous phytosanitary research. We performed a foliar nutritional analysis to evaluate the relationship between tree nutrition and observed mortality in the field. We collected leaf samples from the middle crown of the tree of two populations of ten individuals, each of healthy and diseased trees. The leaves were dried and stored before being analyzed in the laboratory. The results did not show differences in nutritional contents between healthy and diseased trees. These similarities in nutritional contents between the two populations studied allow us to hypothesize about the adaptation mechanisms of *S. holdridgei* to grow in acidic and poor soils of the Island. These adaptations on nutrients use have been observed in other species that live on the mainland.

**Keywords:** Foliar analysis, tropical forest, nutrition, *Sacoglottis holdridgei*.

1. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. [eesquivel@tec.ac.cr](mailto:eesquivel@tec.ac.cr), [lacosta@itcr.ac.cr](mailto:lacosta@itcr.ac.cr)

2. Universidad de Concepción, Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Concepción, Chile. [simonsandoval@udec.cl](mailto:simonsandoval@udec.cl)

## Resumen

La Isla del Coco se ubica en el Océano Pacífico de Costa Rica a 500 km del territorio continental, y al ser un Parque Nacional en conservación absoluta presenta condiciones muy exclusivas para el estudio de la vegetación, la restauración y los efectos del cambio climático. *Sacoglottis holdridgei* (Palo de Hierro), es una especie arbórea endémica que ha presentado un patrón de mortalidad sin que en un primer análisis fitosanitario se pudieran identificar agentes patógenos responsables de los decesos. Con el objetivo de evaluar la relación de la nutrición de los árboles con la mortalidad observada se realizó un análisis nutricional foliar de 10 individuos en apariencia sanos y 10 individuos enfermos, para lo cual, se tomaron muestras de las hojas de la copa media del árbol; las muestras foliares fueron secada en el sitio y enviadas al laboratorio en el menor tiempo posible. Los resultados de los contenidos nutricionales no evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los árboles sanos y enfermos; sin embargo, los resultados permiten hipotetizar sobre los mecanismos de adaptación que tiene esta especie para crecer en los suelos ácidos y pobres de la Isla, procesos similares a los que se dan en el continente con otras especies principalmente en el uso de nutrimentos.

**Palabras clave:** análisis foliar, bosque tropical, nutrición, sanidad forestal.

## Introducción

El Parque Nacional Isla del Coco (PNIC), al igual que otras islas oceánicas albergan ecosistemas únicos; su aislamiento a direccionado la evolución de especies y ecosistemas permitiendo el desarrollo de fauna y flora propios [1] y de alto endemismo, aportes de gran impacto a la biodiversidad global. En el PNIC, se reportan 296 especies de plantas vasculares, de las cuales 219 (74 %) son nativas; de ellas 81 son pteridofitas (helechos), y las 182 restantes son plantas vasculares. En términos de endemismo, se reportan 48 especies, de ellas el 58 % son helechos [2]. Dentro de las especies endémicas se encuentra el árbol *Sacoglottis holdridgei* Cuatrec. perteneciente a la familia Humiriaceae [3]; a esta especie se le conoce como palo de hierro, dada la dureza de su madera.

*Sacoglottis holdridgei*, es la especie dominante del dosel del bosque, y está distribuida en todo el gradiente altitudinal de la isla. En la actualidad, *S. holdridgei* se encuentra amenazada por la alta tasa de mortalidad y baja regeneración, que ponen en riesgo su conservación y la estructura misma del bosque en el PNIC [4].

Dada la mortalidad reportada [4] y observada en el isla en 2018 Corrales-Retana [5] realizó una evaluación del estado sanitario de los árboles de *S. holdridgei*, y dentro de sus hallazgos reportó varios hongos con potencial de causar enfermedades en árboles, como la *Nectria*. Sin embargo, se han observado árboles de diferentes tamaños que muestran una clorosis generalizada, culminando con su muerte. Este cuadro sintomatológico, conduce a la hipótesis que los árboles están sufriendo problemas nutricionales, los cuales pueden afectar negativamente los mecanismos de defensa del árbol.

Los estudios de análisis nutricionales en las plantas permiten la comprensión de la eficiencia que estas tienen para tomar los nutrimentos disponibles en el suelo, y emplearlos para su crecimiento. El contenido nutricional y las proporciones son diferentes entre especies [6]; demostrando así, las múltiples adaptaciones que las plantas tienen para asegurar su sobrevivencia. El desbalance en el contenido nutricional puede causar en las plantas bajo crecimiento, deformaciones, clorosis, manchas, entre otros síntomas; y en los casos más graves, puede causar la muerte.

Dada la importancia de la nutrición de las plantas y la conservación del árbol *S. holdridgei* para el PNIC, con este estudio se buscó determinar la relación existente entre dos grupos de árboles, sanos y enfermos, con los niveles nutritivos presentes a nivel foliar en cada población, de manera tal que, se pudiera relacionar el estado nutricional con la muerte de los árboles de esta especie.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El Parque Nacional Isla del Coco (PNIC), es una isla oceánica de 24 km<sup>2</sup>, ubicada en el Pacífico Tropical Oriental, a 500 Km al sur-suroeste de la masa continental de Costa Rica [7], ubica entre los 5° 32' 40" Latitud Norte y - 87° 03' 30" Longitud Oeste (Figura 1); y es el único punto emergido de la Cordillera Volcánica del Coco constituida por montes y volcanes submarinos, que se extiende por 1200 km desde Islas Galápagos (Ecuador) hasta frente la costa Pacífica en el sureste de Costa Rica, en la Fosa Mesoamericana [8].

Se caracteriza por tener un clima tropical húmedo, con precipitaciones de hasta 7000 mm al año, y una temperatura promedio anual de 24 °C [9]. El área de estudio donde se realizó la toma de muestras fue en el sector comprendido entre las bahías Wafer y Chatham, correspondiente a la zona de vida Bosque Pluvial Premontano [10]. Este trabajo se enmarca en el proyecto

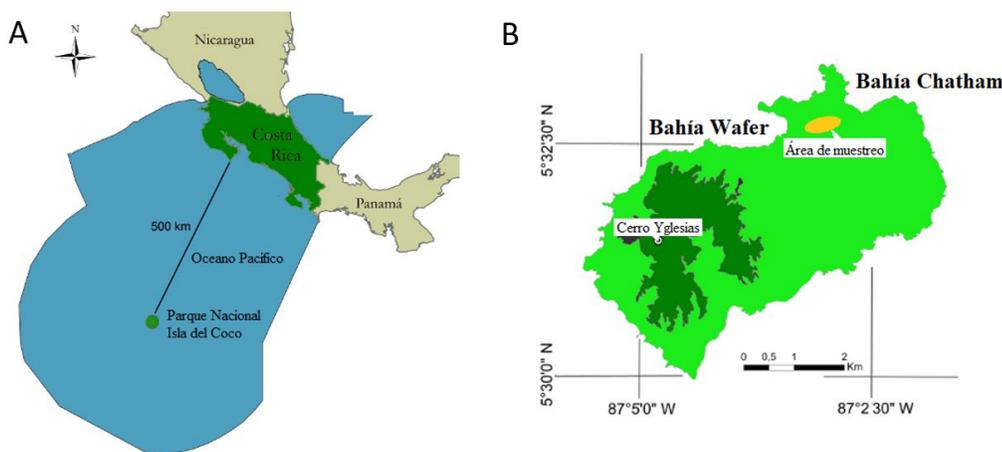


Figura 1. Mapa de ubicación: A. Parque Nacional Isla del Coco en el contexto del territorio de Costa Rica y B. Área de estudio seleccionada.

Figure 1. Map: A. Isla del Coco National Park and Costa Rica B. Study area.

de investigación Restauración del bosque de Isla del Coco: influencia de la microbiota en la sobrevivencia y salud de los árboles.

### Muestreo

La toma de muestras foliares de *S. holdridgei* se realizó en julio de 2019. Se recolectaron muestras de 10 árboles sanos y 10 árboles enfermos, constituyendo cada grupo una población para su análisis. Se consideró como árbol sano aquellos individuos que presentaban una condición vigorosa, con copas completas y con la coloración del follaje verde oscuro, típica de la especie. Caso contrario, los árboles enfermos presentaban una copa reducida, pequeña, con menos del 20 % del follaje del árbol típico para la especie, y donde, una parte de las hojas estaban secas, presentarían amarillamiento o marchitez; lo anterior, se definieron como síntomas evidentes de enfermedad (Figura 2). Las muestras de follaje recolectadas para los análisis foliares se tomaron de ramas ubicadas en parte media de la copa, y en el caso de los árboles más altos, se muestreó en ramas ubicadas en un sector de la copa con mayor incidencia del sol y al menos a 10 metros de altura.

Las hojas muestreadas fueron tomadas de la parte media de la rama, sin incluir hojas con clorosis producto de la vejez o de la posición, tampoco se recolectaron hojas nuevas que no estuvieran completamente desarrolladas y endurecidas. Las hojas seleccionadas no presentaban ningún tipo de enfermedad evidente, depredación, parasitismo o que estuvieran cubiertas por musgo o líquenes.

Una vez recolectadas la muestras, se transportaron en bolsas plásticas a bahía Wafer en el PNIC, donde se colocaron en bolsas de papel y se mantuvieron en el horno a 40 °C para su deshidratación, y retiradas

cuando alcanzaron el punto de estar quebradizas al tacto y que su coloración no evidenciara quemaduras. Posteriormente, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se guardaron en bolsas plásticas para ser llevadas hasta el Laboratorio de Suelos y Foliare del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica, donde se realizó el análisis químico completo foliar. Entre la toma de la primera muestra y su la llegada al CIA transcurrieran 15 días.

### Análisis de estadísticos

Se realizó un análisis de estadística descriptiva de los datos para promedio desviación estándar, intervalos de confianza al 0,05 %, varianza, la prueba de Shapiro-Wilks para homogeneidad de los datos, la prueba de t para medias pareadas y prueba de comparación de rangos. En análisis multivariado se realizó mediante el análisis multivariante de la varianza (MANOVA, por su nombre en inglés, Multivariate analysis of variance), y el análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés), y dado que las variables empleadas tienen unidades diferentes se realizó la normalización dividiendo entre su desviación estándar para cada variable [11]. Los análisis de concentración nutricionales realizaron con el software libre PAST v 3.1 [12]. Los análisis de normalidad, homogeneidad de la varianza y la evaluación de probabilidad de diferencias significativas entre las condiciones de follaje sano y enfermo se realizaron con el software R [13].

### Resultados

Los datos empleados cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Los resultados de la



Figura 2. Árboles de *Sacoglottis holdridgei* muestreados para análisis foliar: A) árbol sano; B) árbol enfermo. Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica.

Figure 2. Selected trees of *Sacoglottis holdridgei* for foliar nutrient sampling: A) Healthy tree; B) Sick tree. Isla del Coco National Park, Costa Rica.

prueba de hipótesis de t para muestras pareadas no son significativos para todos los elementos, por lo tanto, no hay suficiente evidencia estadística para decir que los valores nutricionales individuales sean diferentes entre árboles sanos y enfermos (Cuadro 1, Figura 3).

La concentración de los elementos determinados con el análisis de foliar mostró un comportamiento descendente en el orden de los elementos según su concentración (porcentaje de masa) es N>K>Ca>Mg>S>P lo que ubica a esta especie entre las especies con mayor cantidad de potasio que de calcio.

Por su parte, el análisis de componentes principales (PCA) sugiere el agrupamiento de los árboles enfermos y sanos como poblaciones independientes (Figura 4), y en sus dos componentes principales agrupan el 60 % de la variabilidad (Material suplementario 1). El agrupamiento sugerido por el PCA, es estadísticamente significativo (MANOVA  $p = 0,0001745$ ; Bonferroni =  $0,00017447$ ), lo que sugiere un efecto sinérgico de los nutrientes en los árboles, de manera tal que influyó en el agrupamiento, y por ende, a la selección de los árboles en campo con los criterios utilizados de árbol enfermo y sano.

## Discusión

La prueba de comparación de rangos entre árboles sanos y enfermos no determinó diferencias significativas

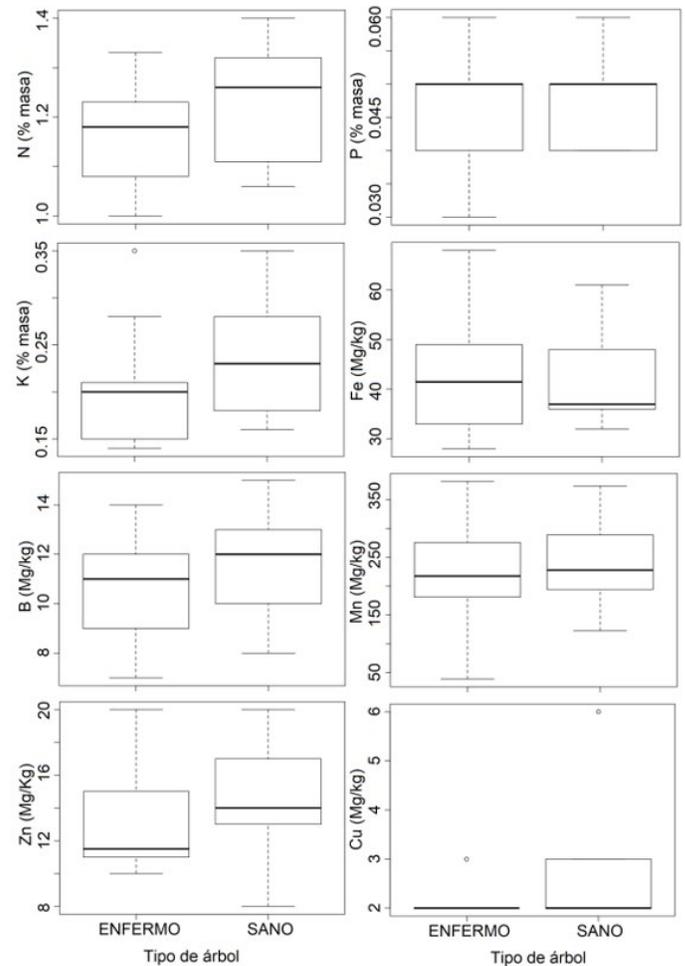


Figura 3. Comparación de la concentración de los elementos evaluados con el análisis nutricional foliar a árboles sanos y enfermos de *Sacoglottis holdridgei*. Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica.

Figure 3. Comparison of chemical elements concentration from the foliar nutritional analysis in healthy and sick trees of *Sacoglottis holdridgei*. Isla del Coco National Park, Costa Rica.

( $p > 0,05$ , Figura 3). Por lo que este análisis no permite sustentar la afirmación de que los árboles que mueren en la Isla del Coco estén sufriendo problemas desde el punto de vista nutricional; a pesar de las visibles diferencias, ya que, los árboles sanos son árboles que se encuentran en una etapa de desarrollo de adultos, con copas completas y visualmente vigorosos.

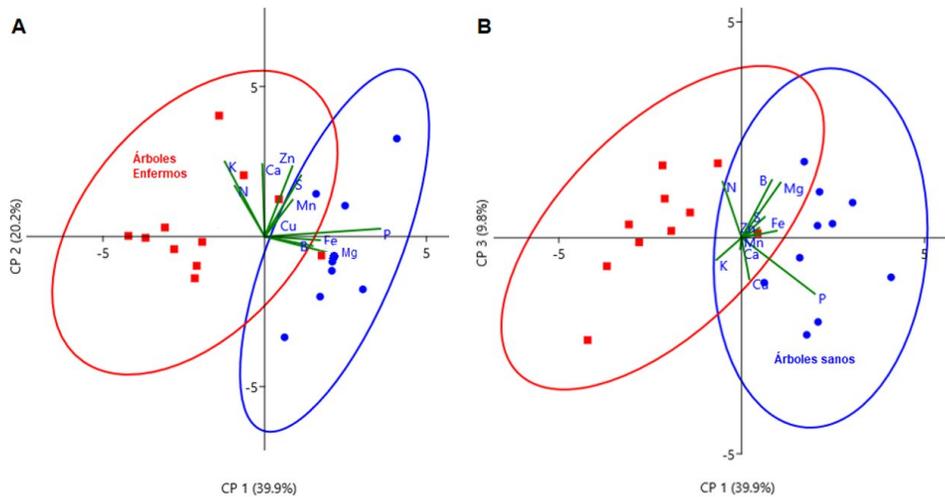
Son múltiples los factores que pueden afectar el contenido nutricional de una determinación foliar incluyendo factores analíticos, instrumentación, métodos de determinación y extracción, factores del muestreo, posición de las hojas en el árbol, estado de desarrollo, periodo fenológico, así como factores del micrositio donde la especie está adaptada a desarrollarse como pendiente, posición topográfica, elevación del terreno, temperatura, humedad, drenaje, profundidad del

**Cuadro 1.** Estadísticos comparativos de valores nutricionales para dos poblaciones de árboles sanos y enfermos de *Sacoglottis holdridgei*. Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica.

**Table 1.** Comparative nutritional values between healthy and sick populations of *Sacoglottis holdridgei*. Isla del Coco National Park, Costa Rica.

Elemento		N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Suma NPKCaMg
Unidad		% masa					mg/kg						
Sanos	Promedio	1,23	0,05	0,25	0,18	0,29	0,13	41,60	2,78	14,40	235,80	11,70	2,00
	DS	0,13	0,01	0,11	0,03	0,18	0,02	9,37	1,30	3,60	79,36	2,00	0,35
	IC	0,09	0,01	0,08	0,02	0,13	0,02	6,70	0,93	2,57	56,77	1,43	0,25
	CV	0,02	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	87,82	1,69	12,93	6298,40	4,01	0,12
Enfermos	Promedio	1,17	0,07	0,20	0,19	0,21	0,12	43,80	2,14	13,30	222,90	10,50	1,83
	DS	0,11	0,06	0,07	0,04	0,07	0,02	13,89	0,38	3,56	93,45	2,22	0,20
	IC	0,08	0,04	0,05	0,03	0,05	0,02	9,93	0,27	2,55	66,85	1,59	0,14
	CV	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	192,84	0,14	12,68	8732,32	4,94	0,04
Pruebas	Shapiro Wilk	0,53	0,065	0,3594	0,04952	0,05581	0,1101	0,07919	0,00012	0,1449	0,9744	0,5682	0,07253
	Levene	0,5302	0,7152	0,1661	0,7167	0,9561	0,903	0,2036	0,2347	0,9357	0,846	0,7435	0,3106
	p	0,249	0,764	0,262	0,603	0,314	0,218	0,683	0,235	0,501	0,743	0,221	0,182
Valores observados	Mínimo	1	0,03	0,1	0,11	0,14	0,1	28	2	8	39	7	1,58
	Promedio	1,2	0,06	0,23	0,18	0,25	0,13	42,7	2,5	13,85	229,35	11,1	1,91
	Máximo	1,4	0,23	0,44	0,23	0,78	0,18	68	6	20	382	15	2,8

DS: desviación estándar; IC: Intervalo de confianza; CV: Coeficiente de variación



**Figura 4.** Análisis de componentes principales (PCA) con la representación de los pesos de los nutrientes: árboles enfermos de *Sacoglottis holdridgei* representados por puntos y elipse roja; árboles sanos de *Sacoglottis holdridgei* representados por puntos y elipse azul; elipses al 95% de confianza Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica.

**Figure 4.** Principal Component Analysis (PCA) based on nutritional values for *Sacoglottis holdridgei*: sick trees of *Sacoglottis holdridgei* shown in red dots and red ellipse; healthy trees shown in blue dots and blue ellipse. Confidence intervals of 95%. Isla del Coco National Park, Costa Rica.

suelo y factores de fertilidad del suelo como acidez, CICe [14]. Por lo que estudiar una especie en un lugar como la Isla del Coco, limita la variabilidad nutricional encontrada dado su origen y estado de conservación; adicionalmente, las diferencias de micrositos dados por pendientes, altitud y suelo son similares, ya que, no se tiene tanta variabilidad en los 24 km<sup>2</sup> de territorio de la Isla. por otra parte, la época seca es corta por lo que no pareciera que se pudiera influir en el nivel nutricional. Sin embargo, los datos son consistentes por lo que se puede decir que los niveles nutricionales determinados son los propios de la especie.

Los análisis de concentraciones de nutrientes a nivel foliar, permiten evaluar el manejo brindado a las especies en cultivo y mejorar el mismo con el fin de aumentar los rendimientos que ellas tienen [6]; sin embargo, en el Parque Nacional y en este caso al tratarse de una especie endémica, nos proporciona información básica, que nos permite comparar a *S. holdridgei* con otras especies o individuos de la misma familia. Por otra parte, nos permite conocer las necesidades de una intervención en caso de pensar que la especie requiera de restauración activa para asegurar su conservación.

Los contenidos nutricionales pueden variar mucho entre especies; Alvarado et al. [14] realizaron una agrupación por niveles de acumulación de nutrientes que pueden llegar a tener las especies. Relacionando con los datos obtenidos, se puede decir que *S. holdridgei* es una especie poco acumuladora de nutrientes en su biomasa; ya que, al compararle con otras especies que crecen en el trópico, la suma de macroelementos (N, P, K,

Ca y Mg) es baja (promedio 1,91 %, Cuadro 1), quedando en el menor rango de los reportados por Alvarado [14]. Por otra parte, se agrupa con las especies que contienen valores mayores de K que de Ca, donde agrupa al parecer especies que crecen en bosques con estaciones secas cortas o poco definidas [15], coincidiendo así, con los patrones de lluvia y días secos en la Isla del Coco.

Esto puede relacionarse con el nicho ecológico que ocupa, ya que no es una de las especies pioneras de este bosque, donde las especies que juegan el rol de iniciar los procesos de sucesión son *Ochroma pyramidale* (balsa) y *Cecropia pitierii* el guarumo endémico del PNIC. Por su parte, *S. holdridgei* junto a *Ocotea insularis* (aguacatillo), son las especies más longevas, por ende, las que permanecen más tiempo en el bosque lo que les permite acumular en su biomasa cantidades significativas, pero diluidas de nutrientes por su gran tamaño. Por otro lado, este comportamiento podría relacionarse con su tolerancia a la sombra, donde *S. holdridgei* es una de las especies tolerantes en este bosque; así como lo pueden ser el género *Dipteryx* en Costa Rica continental que tiene un comportamiento similar [14].

El mes de julio, es uno de los meses de más crecimiento de la vegetación y *S. holdridgei* presenta varios periodos de crecimiento reflejados en la producción de follaje nuevo, floración y fructificación casi continuas en el año [16] (Acosta-Vargas, datos sin publicar), y dado que fue el mes de muestreo, esto puede explicar la razón de la baja concentración de elementos a nivel foliar, por ser este un periodo de crecimiento donde se diluyen los nutrientes en la nueva biomasa [17], [18].

Cabe destacar que, el objetivo del muestreo era evidenciar que los niveles de nutrición de la especie estarían relacionados con la muerte de árboles en forma aislada como se da en la Isla. Sin embargo, con los datos obtenidos no se logró demostrar; ya que, los niveles de nutrición de los árboles enfermos y sanos no mostraron diferencias estadísticamente significativas. Adicionalmente, el análisis multivariado (Figura 4) evidencia una tendencia de agrupar por condición de árbol sano o enfermo. Unido con los análisis individuales de los diferentes elementos, el resultado el PCA sugiere la existencia de sinergias entre elementos que hacen que agrupen por condición de salud; sin embargo, solo sugiere una tendencia que no se relacionarla directamente con la mortalidad dada en la Isla. Otros efectos como las escurbaduras causadas por los cerdos que dañan el sistema radical, alteraciones en el microbioma radical al exponer las raíces, o enfermedades no evidenciadas anteriormente son factores pendientes de evaluar para encontrar las alta tasa de mortalidad del 5 % de *S. holdridgei*, superior al promedio de los bosques tropicales [19].

La importancia de los resultados obtenidos en esta investigación, son haber generado el primer reporte nutricional de una especie arbórea endémica y de uso no comercial en apoyo a la conservación. Adicionalmente, permitió empezar a construir un esquema del uso de los nutrientes por parte de la vegetación en la Isla del Coco; y así, estudiar la dinámica nutricional que se tiene a nivel de suelo y plantas, donde no se conoce sobre su dinámica, pero se puede observar un exuberante sistema natural terrestre y marino, que permite a la Isla del Coco, posicionarse entre uno de los “hot spot” mundiales de concentración de vida y biodiversidad.

## Agradecimientos

A la Vicerrectoría de investigación y extensión y SINAC específicamente al Área de Conservación Isla del Coco por el financiamiento y facilidades dadas para la realización del Proyecto de investigación titulado “Restauración del bosque de Isla del Coco: influencia de la microbiota en la sobrevivencia y salud de los árboles”.

Estudiantes de la Escuela de Ingeniería Forestal del TEC especialmente a Jair Granados e Irene Corrales.

A los Funcionarios de la Isla del Coco que con su labor a 500 km del continente hacen patria demostrando una y mil veces más las razones para ser el país más feliz del mundo. A los revisores anónimos de este manuscrito

## Referencias

- [1] J. B. Losos and R. E. Ricklefs, «Adaptation and diversification on islands», *Nature*, vol. 457, n.o 7231, p. 830-836, 2009.
- [2] A. Estrada-Chavarría, J. Sánchez-González, y A. Rodríguez-González, «Catálogo actualizado de las plantas vasculares del Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica», *Revista de Biología Tropical*, vol. 68, n.o S1, pp. S73-S88, 2020.
- [3] J. Cuatrecasas, «A taxonomic revision of the Humiriaceae», *Systematic Plant Studies*, 1961.
- [4] R. Bonilla-Mata y L. G. Acosta-Vargas, «Dynamic and growth of the forests of the Isla del Coco National Park, Costa Rica», *Revista de Biología Tropical*, vol. 68, n.o S1, pp. S89-S102, 2020.
- [5] I. Corrales-Retana, «Estado fitosanitario de la población de *Sacoglottis holdridgei* (Cuatrec.) y caracterización del microlepidóptero frugívoro, en el Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica.», Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 2018.
- [6] A. Alvarado y J. Raigosa, «Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales», *Agronomía Costarricense*, vol. 36, pp. 113-115, 2012.
- [7] J. Cortés, «Historia de la investigación marina de la Isla del Coco, Costa Rica», *Revista de Biología Tropical*, vol. 56, n.o 2, pp. 1-18, 2008.
- [8] W. Rojas y G. E. Alvarado, «Marco geológico y tectónico de la Isla del Coco y la región marítima circunvecina, Costa Rica», 1, pp. 15-32, 2012, doi: 10.15517/rbt.v60i3.28306.
- [9] W. Herrera, «Clima de Costa Rica. Vol. 2», *Vegetación y Clima de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED), 1986.
- [10] L. R. Holdridge, *Life zone ecology*, Rev. ed. San José, Costa Rica: Tropical Science Center, 1967.
- [11] Ø. Hammer, «PAST V3.14 Reference manual», *Natural History Museum University of Oslo*. Oslo, Finlandia, 2016.. [En línea]. Disponible en: <http://folk.uio.no/ohammer/past/past3manual.pdf>. [Accedido: 12 de enero de 2016]
- [12] Ø. Hammer, D. A. T. Harper, y P. D. Ryan, «Paleontological statistics software: package for education and data analysis», *Palaeontologia Electronica*, n.o 4, 2001.
- [13] R Core Team, «R: A language and environment for statistical computing 2021». 2021.
- [14] A. Alvarado et al., «Interpretación del análisis foliar de varias especies forestales latifoliadas del trópico americano», San José, Costa Rica, 2015.
- [15] A. Alvarado et al., «Interpretación del análisis foliar de varias especies forestales latifoliadas del trópico americano», 2015.
- [16] P. Madriz-Masis, «Plan de restauración ecológica de la flora y vegetación del Parque Nacional Isla del Coco», Área de Conservación Marina Isla del Coco, Costa Rica, 5, 2008.

- [17] M. Acevedo, R. Rubilar, R. K. Dumroese, J. F. Ovalle, S. Sandoval, and R. Chassin-Trubert, «Nitrogen loading of Eucalyptus globulus seedlings: nutritional dynamics and influence on morphology and root growth potential», *New Forests*, vol. 52, n.o 1, pp. 31-46, ene. 2021, doi: 10.1007/s11056-020-09778-2.
- [18] E. Andivia, M. Fernández, and J. Vázquez-Piqué, «Assessing the effect of late-season fertilization on Holm oak plant quality: insights from morpho–nutritional characterizations and water relations parameters», *New forests*, vol. 45, n.o 2, pp. 149-163, 2014.
- [19] R. Bonilla-Mata and L. G. Acosta-Vargas, «Dynamic and growth of the forests of the Isla del Coco National Park, Costa Rica», *Revista de Biología Tropical*, vol. 68, n.o S1, Art. n.o S1, 2020.