



Factores ecológicos y biológicos asociados a la formación natural de madera seca en *Bursera graveolens*

Ecological and biological factors associated with the natural formation of dry wood in *Bursera graveolens*

Miguel Puentes Chully^{1*}; Eber Herrera Palacios¹; Ramón García Seminario²; José Moscol Ortiz¹; Cesar Feijoo Carrillo¹; José Silva Chávez¹; Antoni Jimenez Dios¹; Jalmer Campaña-Olaya²; William Huaman Huaman; Kelly Ablard³

1 Facultad Ciencias Agrarias, Escuela de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Tumbes. Ciudad Universitaria, Av. Universitaria S/N, Tumbes-Perú.

2 Facultad Ciencias Agrarias, Escuela de Agronomía, Universidad Nacional de Tumbes. Campus Universitario, Corrales, Tumbes-Perú.

3 Airmid Institute, Alta Loma CA, EE. UU.

* Corresponding author: mpuescasc@untumbes.edu.pe (M. Puentes Chully).

ORCID of the authors:

M. Puentes Chully: <http://orcid.org/0000-0003-1979-9572>

R. García Seminario: <http://orcid.org/0000-0003-0756-0935>

C. Feijoo Carrillo: <http://orcid.org/0009-0007-6197-123X>

A. Jimenez Dios: <http://orcid.org/0000-0002-1171-5664>

W. Huaman Huaman: <http://orcid.org/0000-0002-8334-4022>

E. Herrera Palacios: <http://orcid.org/0000-0002-7255-9087>

J. Moscol Ortiz: <http://orcid.org/0000-0001-7898-7122>

J. Silva Chávez: <http://orcid.org/0000-0001-5763-407X>

J. Campaña-Olaya: <http://orcid.org/0000-0002-0804-1208>

K. Ablard: <http://orcid.org/0009-0009-0294-2927>

RESUMEN

Bursera graveolens es una especie de relevancia ecológica en el bosque xerófilo, su importancia se sustenta en las interacciones con la flora y fauna, y su oferta de aceite esencial. El objetivo del estudio fue describir los factores ecológicos y biológicos asociados al proceso natural de formación de madera seca de la especie. El estudio se ha desarrollado entre 2017 y 2025 en cuatro sectores del departamento de Tumbes correspondiente a la zona de vida matorral desértico Premontano Tropical (md-PT), cuya característica es la escasez de agua y altas temperaturas. Se evaluaron muestras de madera seca, vegetación asociada, características del suelo y presencia de insectos xilófagos. Los resultados evidencian que *Bursera graveolens* coexiste con vegetación arbórea, arbustiva, cactácea y herbácea; así como con epífitas y parásitas. Se registró la presencia de insectos xilófagos asociados a la degradación progresiva de la albura y corteza: *Coleópteros* de la familia *Cerambycidae* (escarabajos), y *Isópteros* de la familia *Termitidae* (termitas). El aceite esencial se concentra principalmente en el duramen (corazón) de los individuos muertos en pie o caídos naturalmente. Se concluye que la formación de madera seca en *B. graveolens* es resultado de la interacción entre factores ambientales y procesos biológicos propios del ecosistema forestal xerófito, constituyendo además un recurso forestal con potencial para un aprovechamiento sostenible.

Palabras clave: madera seca; estado natural; agentes xilófagos; biomasa residual; duramen.

ABSTRACT

Bursera graveolens is an ecologically important species in xerophytic forests, whose relevance is based on its interactions with flora and fauna, as well as its production of essential oil. The objective of this study was to describe the ecological and biological factors associated with the natural process of dry wood formation in the species. The study was conducted between 2017 and 2025 in four sectors of the Tumbes department, corresponding to the Tropical Premontane Desert Scrub life zone (md-PT), characterized by water scarcity and high temperatures. Dry wood samples, associated vegetation, soil characteristics, and the presence of xylophagous insects were evaluated. The results showed that *Bursera graveolens* coexist with trees, shrubs, cactus, and herbaceous vegetation, as well as with epiphytic and parasitic species. The presence of xylophagous insects associated with the progressive degradation of sapwood and bark was recorded, including Coleoptera of the Cerambycidae family (beetles), and Isoptera of the Termitidae family (termites). Essential oil was found to be mainly concentrated in the heartwood of standing dead or naturally fallen individuals. It is concluded that dry wood formation in *B. graveolens* results from the interaction between environmental factors and biological processes characteristic of the xerophytic forest ecosystem, while also constituting a forest resource with potential for sustainable use.

Keywords: dry wood; natural state; xylophagous agents; residual biomass; heartwood.

Received: 10-10-2025.

Accepted: 14-06-2026.



This work is published under the license [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

El árbol nativo palo santo habita en el bosque xerófilo (bosque seco) de la costa norte peruana (Melendez Torres, 2025; Patiño et al., 2021). Se asocia a especies vegetales (Jimenez González et al., 2025; Macías-Mora et al., 2025) y fauna silvestre (Chiquito Noboa et al., 2018; Heleno et al., 2011; Kleiner et al., 2018; Maldonado Aguilar, 2025) teniendo una importancia relevante en la dinámica del ecosistema forestal (Westhelle, 2025). *B. graveolens* origina madera seca o llamada también biomasa residual forestal seca, a través de procesos naturales que se asocian a las condiciones del medio. Este es un recurso que alberga aceite esencial con una fragancia y aroma debido a los compuestos terpenoides y aromáticos que se concentran en la estructura de la madera (Puestas et al., 2022).

Asimismo, *B. graveolens* se encuentra asociada a diversidad de especies de flora resistentes a la sequía (Castro et al., 2023), se desarrolla en suelos compactos y pedregosos con baja retención y escasez de agua (Clark & Clark, 1981). Estas condiciones se dan durante los meses de abril a diciembre durante los cuales predomina el clima seco y donde la pérdida de agua por transpiración excede la disponibilidad hídrica, generándose un déficit hídrico en la planta. Sin embargo, la característica peculiar en la mayoría de las especies arbóreas xerófitas es que poseen raíz tuberosa, que les permiten almacenar sustancias de reserva y agua para su supervivencia durante el periodo sin precipitaciones; pero además, contribuyen en la retención y recarga del acuífero (Pulido-Esquivel et al., 2025). *B. graveolens* presenta estas características en las diferentes etapas de crecimiento: brinzal, latizal, fustal y estado arbóreo.

La madera seca, principalmente el duramen que no ha sido afectado por insectos xilófagos contiene el aceite

esencial impregnado en su estructura anatómica y xilemática (paredes y lúmenes celulares). Esto le confiere a la madera seca su valor y condición de recurso aprovechable; es decir, un recurso forestal que posee componentes como el pineno, careno, limoneno, linalol, alcanfor, carofileno, entre otros, empleados en múltiples aplicaciones (Ramirez Cespedes, 2023).

Existen estudios sobre *B. graveolens* enfocados principalmente en las propiedades y aplicaciones de su aceite esencial. No obstante, no se tienen información científica consistente del proceso que sufre la madera seca en su estado natural, que es la que almacena estos compuestos (Saltos et al., 2022). El presente artículo presenta los factores relevantes asociados a la madera seca, describiéndolos y discrepando, respecto de creencias difundidas, entre las que se destaca: que, para obtener la madera seca, el árbol tiene que haber cumplido su ciclo de vida natural, debiendo esperar más de 50 años para ello; asimismo, que es viable obtener aceite esencial de la madera verde o árbol vivo o en pie, así como de sus frutos. Estas son afirmaciones no sustentadas con evidencias científicas. Además, si consideramos el desarrollo forestal sostenible como un medio de crecimiento y desarrollo responsable (Carvajal-Benavides et al., 2026), la segunda versión es inviable en un ecosistema natural.

Diversos factores como el clima, el suelo y los agentes xilófagos podrían intervenir en el proceso de muerte natural del árbol, participando en la formación de madera seca, principalmente duramen. El propósito del estudio es describir los factores y condiciones ecológicas asociadas a *Bursera graveolens* durante su proceso natural de muerte y formación de madera seca.

METODOLOGÍA

El estudio fue de tipo cuantitativo-descriptivo y se realizó entre abril de 2017 y junio de 2025. Las muestras de madera seca fueron recolectadas de diferentes sectores del bosque seco, perteneciente a la zona de vida matorral desértico Premontano Tropical (md-PT). El proceso se ha dividido en 2 etapas. Acorde a la metodología fue necesario desarrollar la etapa de planificación en gabinete, y la segunda etapa que consistió en la toma de datos y evaluación, considerando el suelo, asociatividad con otras especies de flora. A continuación, se detalla:

Etapas 1: Gabinete

Se planificó y diseñó la metodología aplicada a la investigación: elaboración de fichas técnicas para el registro de datos continuos, además de cartografía. Considerando que no se tiene referencias o trabajos similares, fue necesario ubicar cuatro sectores que corresponde a la zona de vida md-PT, y por referencia de trabajos desarrollados en tres de los cuatro sectores, conociendo la presencia de la especie palo santo en cada uno de ellos. Se elaboraron 2 fichas técnicas, una para el registro de las mediciones dasométricas y la otra para

registrar la flora silvestre, suelo, pendiente y cota. La identificación taxonómica de insectos xilófagos se realizó mediante observación morfológica directa y comparación con literatura entomológica especializada, considerando caracteres diagnósticos a nivel de orden y familia. Así mismo el procesamiento de datos, análisis de resultados y redacción de documento final.

Se identificaron los sectores: 1) El taller de enseñanza e investigación forestal y fauna silvestre del ecosistema bosque seco, propiedad de la Universidad Nacional de Tumbes, distrito San Juan de la Virgen (S.J.V), 2) Sector El Prado, distrito Pampas de Hospital (PP.HH), 3) Sector Cerro Bartolo, distrito de Casitas y 4) Sector El Salao, caserío Averías, distrito Casitas (Tabla 1).

Etapas 2: Trabajo en campo

El estudio ha demandado un tiempo de 7 años. Considerando la planificación y ejecución en campo. En este proceso han participado estudiantes, pobladores de los sectores que realizan sus actividades económicas, entre otros.

Se seleccionaron las muestras de madera de palo santo, registrándose su ubicación con un GPS

marca Garmin 86i, en coordenadas UTM-Datum WGS 84. Se tomó y registró los datos de mediciones dasométricas y cálculo de peso inicial y final, este último aplicado en la segunda evaluación. Asimismo, se realizó una breve descripción general del suelo, fisiografía, pendiente y cota, identificando los agentes xilófagos presentes en las muestras de madera seca.

La asociatividad fue evaluada mediante identificación y conteo de árboles, arbustos, herbáceas y

cactáceas, registrando sólo la especie y nombre científico, al entorno de 1 ha, donde se identificó la muestra, siendo referencia de que la aridez del suelo y escasez hídrica interactúa con la especie en estudio. Debido al carácter exploratorio y descriptivo del estudio, las evaluaciones se realizaron sobre individuos seleccionados de manera dirigida en diferentes sectores representativos del bosque seco, priorizando la descripción ecológica y funcional de las muestras.

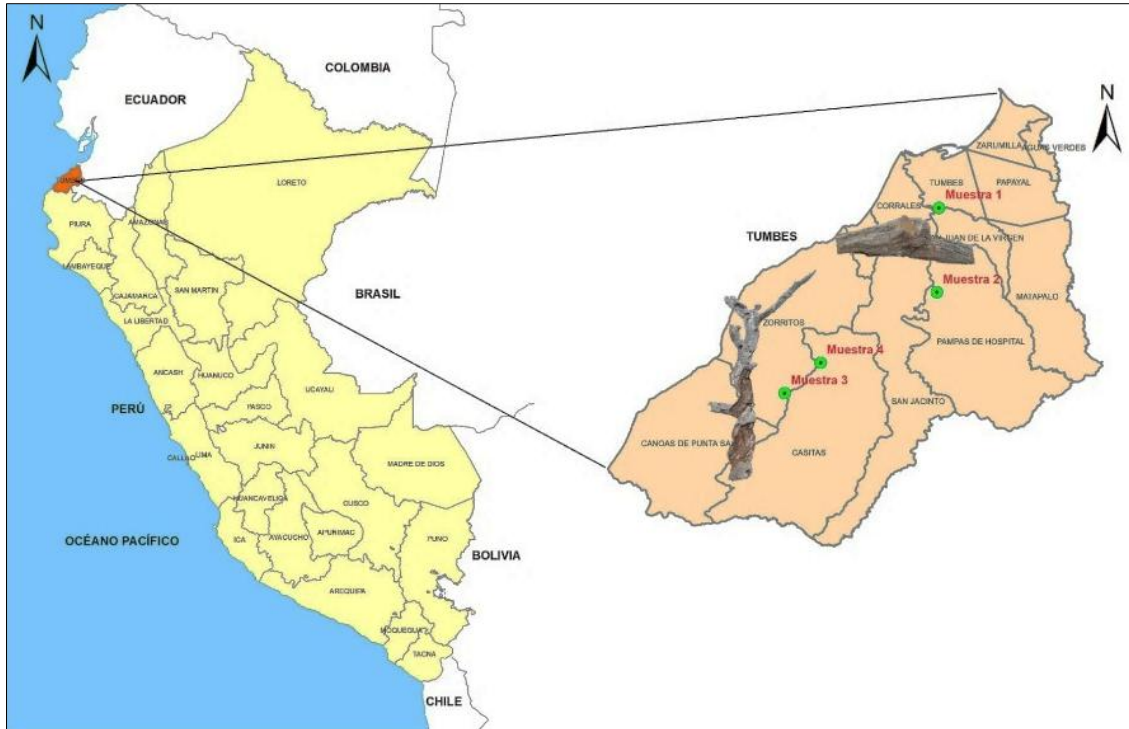


Figura 1. Mapa de ubicación de colección de muestras de madera seca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación con medio físico y biológico

La distribución ecológica de la especie forestal palo santo en el matorral desértico Premontano Tropical, está asociado a otras plantas. La vegetación se ha dividido en árboles, arbustivos, cactáceas y herbáceas. Tal como se muestra en la Figura 2, *B. graveolens* se asocia con el 50% de las especies de árboles registrados en la evaluación, siendo: *Prosopis pallida*, *Caesalpineia paipai* (Linares-Palomino, 2005), *Handroanthus billbergii*, *Cercidium praecox*, *Loxopterygium huasango* (Linares-Palomino et al., 2005) y *Colicodendron scabridum* (Linares-Palomino et al., 2005). Mientras que en las especies *Cochlospermum vitifolium* (Macías et al., 2020) y *Capparis mollis* sólo se asocian en la zona de extracción de las muestras 1 y 2. Por otro lado, las especies *Handroanthus chrysantha*, *Erythrina smithiana*, *Eriotheca ruizii* (Macías et al., 2020) y *Acacia macracantha*, sólo se han registrado en las evaluaciones de las zonas de las muestras 3 y 4, que corresponde a la zona sureste del departamento de Tumbes. Asimismo, se ha evidenciado una estrecha relación con *Parkinsonia aculeata* (Velasco et al., 2024) y *Ceiba trichistandra* (Huila et al., 2023). Esta relación, en cuanto a la abundancia entre *C. paipai*,

P. pallida y *B. graveolens*, se da a nivel de individuo adulto (Moscol et al., 2022) y regeneración natural (Tinoco Medina, 2024), en un suelo franco arcillo arenoso, correspondiente a la zona de recolección de la muestra 1.

Para el caso de la vegetación arbustiva existe una mayor homogeneidad, dado que el 83% de las especies arbustivas registradas en la evaluación se asocian con *B. graveolens*. Esta uniformidad puede reflejar un papel clave de la especie Palo santo para este tipo de vegetación, siendo necesario un análisis más específico que permita corroborar o desmentir esta hipótesis. Siguiendo en esta línea, las especies cactáceas como *Opuntia quitensis* y *Armatocereus cartwrightianus* se han registrado en las cuatro zonas de evaluación, mientras que *Melocactus peruvianus* sólo se ha registrado en la zona sureste de Tumbes. Por el contrario, las especies herbáceas difieren en las cuatro zonas de evaluación. Esto puede deberse a las condiciones de sitio que difieren en las cuatro zonas de colecta de madera seca. Finalmente, es importante mencionar que se observaron diversidad de especies epífitas y parásitas, entre ellas: achupallas, orquídeas (epífitas) y suelda con suelda (parásita).

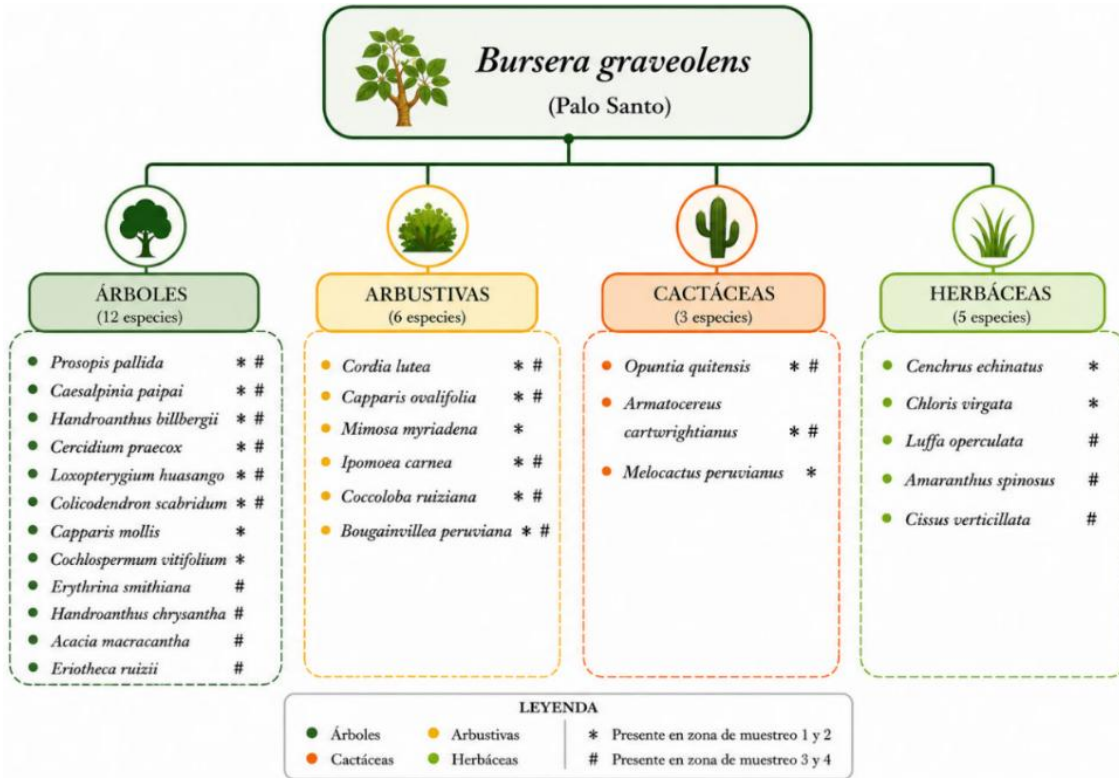


Figura 2. Especies vegetales asociadas a *Bursera graveolens*.

Esta interacción ecológica de asociatividad coadyuva a fortalecer la resiliencia del ecosistema forestal frente a la escasez de agua, tolerando la sequía y beneficiándose mutuamente; por tanto, contribuyen a la dinámica del ecosistema bosque seco.

Se tienen cuatro muestras de madera seca de 4 sectores distintos pertenecientes a tres distritos del departamento de Tumbes (Tabla 1). Las mismas que han sido encontradas en su mayoría en pie. La edad se ha estimado en el marco del conocimiento empírico de los pobladores al relacionar sucesos o fechas importantes, con la presencia de las especies en el bosque, debido a que conviven permanentemente con él, en el marco de sus actividades de aprovechamiento y disfrute de los bienes y servicios del ecosistema forestal bosque seco. En ese sentido, considerando las edades establecidas, se puede decir que estas

especies tuvieron sus orígenes en las lluvias generadas por el fenómeno de El Niño, época en que la precipitaciones pudieron permitir la germinación de las semillas o el afianzamiento de las plántulas (Pucha-Cofrep et al., 2015).

En la Tabla 2 se observa que, en la segunda evaluación, desarrollada 8 meses después, existe una reducción en cuanto a la altura total de las muestras 1, 3 y 4. Este mismo patrón se repite para el caso del diámetro en las muestras 2, 3 y 4. En ese sentido, la pérdida de biomasa ocurre tanto longitudinalmente (a lo largo del fuste) como transversalmente (en sentido radial). Esto puede surgir como consecuencia de procesos de degradación, descomposición o consumo por insectos. No obstante, no se conoce con certeza el efecto que tiene cada uno de estos procesos en la biomasa residual forestal, siendo necesario investigaciones complementarias.

Tabla 1
Ubicación, edad y condición de las muestras

Muestra	Sector	Distrito/Provincia	Edad (aprox)/árbol	Coordenadas UTM-WGS 84		Condición
				ESTE	NORTE	
1	Garbanzal	S.J.V-Tumbes	8 años	563 435	9 601 745	Caído
2	El Prado	PP. HH-Tumbes	25 años	562 978	9 584 409	En pie
3	Cerro Bartolo	Casitas-C. Villar	28 años	531 762	9 563 697	En pie
4	Averías	Casitas-C. Villar	28 años	539 135	9 569 934	En pie

Tabla 2
Mediciones dasométricas y peso de las muestras (madera seca)

Muestra	Variables dasométricas						Peso inicial (kg)	Peso final (kg)
	1era evaluación			2da evaluación				
	DAP (cm)	HT (m)	Nº ramas	DAP (cm)	HT (m)	Nº ramas		
1	8	1,1	0	8	1,06	0	-	6
2	23	1,9	3	22	1,9	3	40	38,8
3	22	2,36	2	21	2,3	2	38	36,25
4	26	3,12	2	24	3,08	2	53	51,5

DAP: diámetro a la altura del pecho; HT: altura total.

Las muestras de madera seca fueron encontradas en suelos pedregosos y compactos, conteniendo gran porcentaje de arcilla (Ramírez Huila & Ayoví Garces, 2022) y grava, propio del matorral desértico Premontano Tropical, generando desafíos ecológicos, no sólo para la especie palo santo, sino también para las especies asociadas a él, debido a que suelos compactos suelen tener una baja permeabilidad evitando la infiltración del agua y por ende haciendo difícil la recarga del acuífero, Otros estudios confirman que *B. graveolens* se desarrolla en suelos franco arcillosos del orden Entisoles y suborden Orthents (Rasal Sánchez et al., 2011).

La dinámica sucesional del bosque, genera importancia funcional del ecosistema, especialmente la disponibilidad de nutrientes, carga hídrica superficial, hábitat de especies de flora y fauna silvestre, A pesar del clima seco que genera un déficit hídrico, la especie en estudio, dispone de estos procesos y servicios que le confieren la capacidad fisiológica para su desarrollo contrarrestando el efecto de la evapotranspiración que suele ser mayor que la precipitación anual, *B. graveolens* se ha adaptado a través de mecanismos que contrarrestan estas condiciones desfavorables durante el periodo seco, minimizando sus efectos negativos, Uno de ellos es la eliminación de sus hojas, reduciendo significativamente el proceso de transpiración, Además, un aspecto resaltante es que su raíz tuberosa le permite almacenar sustancias de reserva y agua

para su sobrevivencia en el intervalo de tiempo de nula precipitación, Esto se aprecia también a nivel de estrato inferior en la regeneración natural, brinzales, latizales, fustales y también en estado de árbol, esta ventaja es un factor ecológico en la supervivencia y adaptación fisiológica de esta especie.

La Tabla 3 presenta los agentes xilófagos que cumplen su dinámica funcional para que el árbol de palo santo produzca su madera seca, mediante la degradación y descomposición paulatina de la albura del fuste, ramas y corteza, dejando el duramen en el fuste y obtener la dureza, así como el color amarillo, propio que lo caracteriza, siendo estas muestras la madera seca que contienen aceite esencial. En las muestras 2, 3 y 4, se reporta la incidencia de insectos xilófagos, que degradan la madera de manera organizada y brindan indirectamente condiciones de mejora al suelo con materia orgánica, Asimismo, Se registró la presencia de hormigas de la familia Formicidae asociadas a la biomasa residual y cavidades presentes en la madera seca (Mieles et al., 2026).

La Figura 3 muestra un escarabajo en su etapa inmadura que se está alimentando de la parte blanda de una madera seca de *B. graveolens*, Asimismo, se observa su etapa de pupa, que es una etapa de transformación para tener un espécimen adulto (escarabajo). Finalmente, la Figura 3 E y F muestra insectos pertenecientes a la orden coleóptera sobre madera seca de *B. graveolens* en su estado natural.

Tabla 3
Insectos xilófagos más representativos encontrados en las muestras

Muestra	Orden	Familia	Género	Nombre común
1	Coleóptera	<i>Cerambycidae</i>	Escolitidae	Escarabajo
2	Isóptera, Hymenoptera	<i>Termitidae</i>	Coptotermes	Termita
3	Coleóptera, Isóptera	<i>Cerambycidae, Termitidae</i>	Escolitidae	Escarabajo
4	Coleóptera, Isóptera	<i>Cerambycidae, Termitidae</i>	Escolitidae	Escarabajo

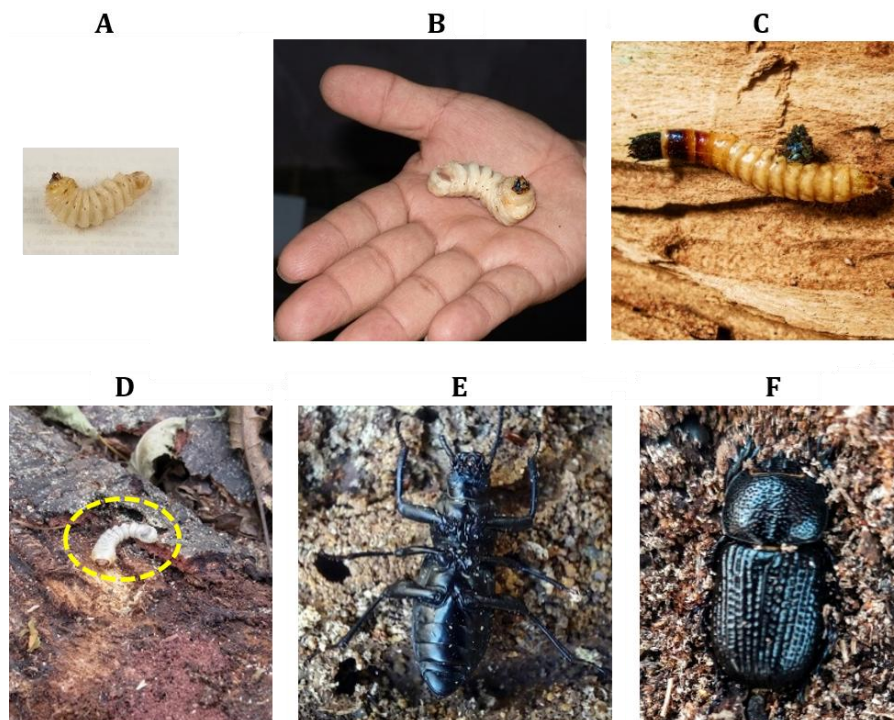


Figura 3. A y B: Escarabajo, orden coleóptero de la familia Cerambycidae estado pupa, C y D: Cerambycidae estado pupa, E y F: escarabajos hallados en la madera seca.

Cuando el árbol de palo santo inicia su proceso de muerte natural, factores como las altas temperaturas, déficit hídrico y la calidad del suelo coadyuvan a que estos insectos sumados a la acción de posibles procesos microbianos asociados a la descomposición de las partes más blandas, como corteza y albura, presente en tronco y ramas, transformándola en biomasa residual que contribuye al reciclaje de materia orgánica del ecosistema.

Madera seca

La muestra 1, ubicada en el taller de enseñanza e investigación forestal y fauna silvestre del ecosistema bosque seco, corresponde a un individuo joven (latizal) de aproximadamente 8 años (observación Dr. Miguel Antonio Puestas Chully) (Figura 4); el mismo que se monitoreo por un periodo de tiempo de 2 meses posterior a su caída natural. Esta muestra se encontró en la parte alta de una colina en la cota 40 m, con pendiente moderadamente escarpada de entre 15% a 25%, el suelo de tipo franco arcilloso con presencia de grava. Fecha de evaluación: Lunes, 31 de julio de 2017 a las 11:45:16 horas.

La muestra número 2 es un árbol de 25 años (observación Sr. Isaac Céspedes Carrillo, QEPD, residente en el caserío El Prado) (Figura 5). Al no observarse daños inducidos por herramientas se

considera una muerte natural. Este individuo fue encontrado en pie, su fuste estaba bifurcado, con 2 ramas primarias en posición longitudinal y paralelas al eje principal (fuste). Se llevó a cabo dos visitas de evaluación, con el objetivo de observar y describir la desintegración causada por los agentes xilófagos. Para ello, se realizaron dos mediciones dasométricas. La muestra se ubicó en un área de fisiografía ondulada, pendiente inclinada de 6% a 13%, con cota de 65 m, suelo arcilloso con pedregosidad, compacto y con presencia de grava. Última fecha de evaluación: Lunes, 10 de abril de 2017, 12:56:56 horas.

Respecto de la muestra 3 es un árbol de 28 años (observación Sr. Juan Gualberto Godos Valladares, residente de La Pampa-Trigal-Casitas) (Figura 6), Al igual que el caso anterior se observó una muerte de manera natural, encontrándose en pie, con fuste inclinado con dirección al norte y bifurcado a la altura de 2,2 m, presentó 3 ramas primarias, duramen color amarillo y aroma característico. Se hicieron dos visitas para describir el proceso de desintegración de los agentes xilófagos y 2 mediciones dasométricas. Esta muestra se ubicó en zona de planicie, parte alta de colina con pendiente escarpada entre 25% y 55%, cota de 450 m, suelo pedregoso, franco arcilloso y compacto. Última fecha de evaluación: viernes, 28 de enero de 2022, 13:16:54 horas.

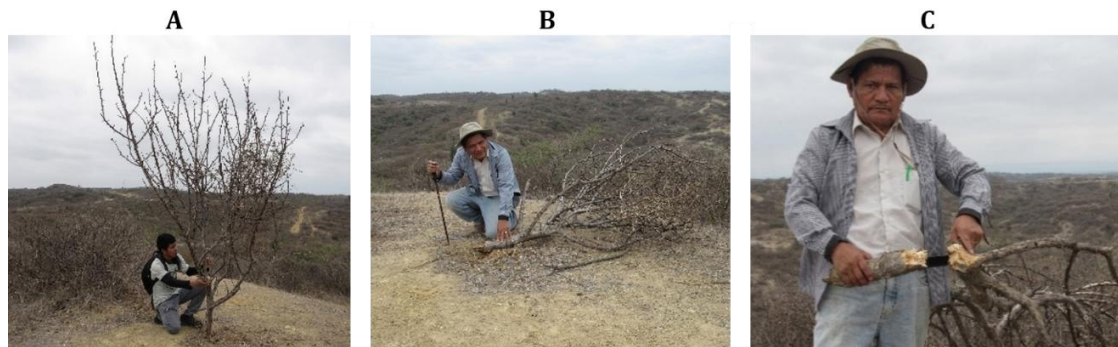


Figura 4. A: Árbol palo santo, condición latizal, vivo, B: muerte natural y C: Duramen, contiene aceite esencial.



Figura 5. Árbol palo santo, muerto en pie, A: desintegración de ramas, B: Identificación de termitas, C: Medidas dasométricas.

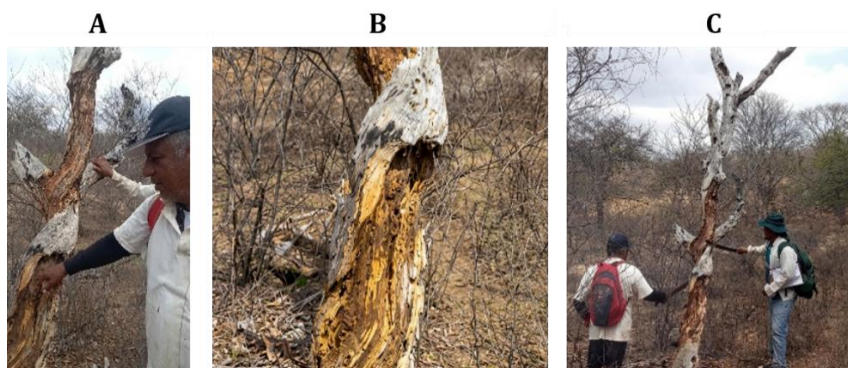


Figura 6. Árbol palo santo, muerto en pie, A y B: Identificación de agentes xilófagos, C: Medidas dasométricas.

Finalmente, la muestra 4 es un árbol de 28 años (observación Sr. José Falla Merino, residente de La Pampa-Trigal-Casitas) (Figura 7). Este individuo fue encontrado muerto en pie sin presencia de heridas por objetos punzo cortantes por lo que se considera una muerte natural. La altura total fue de 3 metros con un fuste recto y bifurcado en la parte superior en dos ramas principales. Se observó un duramen de color amarillo y fuerte aroma. Se realizaron tres visitas para describir la acción de los agentes xilófagos y medir su diámetro. Esta muestra se ubica en zona de pendiente escarpada entre 25 y 55%, cota 260 m, suelo franco arcilloso y compacto. Última fecha de evaluación: sábado, 17 de agosto de 2024, 12:56:56,

En los sectores de Cerro Bartolo y Averías, se ha logrado coleccionar muestras de madera seca 0,4 m³/ha en promedio, que representa 116,9 kg/ha (Puescas et al., 2023). Es decir, se evidencia el proceso dinámico y natural que se da en el ecosistema bosque seco al ofertar continuamente la biomasa residual.

Discusión

La muerte de árboles se da en diferentes ecosistemas del mundo. Existen múltiples esfuerzos para monitorear los bosques con presencia de mortandad de árboles, aplicando teledetección, pero dentro de las limitaciones se tiene la estandarización de protocolos y el acceso a financiamiento que permita coberturar mayores extensiones (Network, 2025). No obstante, no se tiene una respuesta sólida a esta mortandad que puede ser aislada (Laarmann et al., 2009), o en pequeños grupos, que muchas veces se presenta de forma lenta sin discriminación del estrato dentro de la población (Harcombe & Marks, 1983). Estudios sugieren que las heridas causadas por animales, insectos o humanos favorecen el ingreso de patógenos como los hongos que pueden producir enfermedades (Thu et al., 2024). En el departamento de Tumbes la ganadería caprina y bovina se da de forma extensiva, siendo el bosque seco la principal fuente alimenticia del ganado. Esta afecta directamente la regeneración natural (brinzales, latizales y fustales) de la especie *Bursera graveolens*, pero no necesariamente causa su muerte (Tinoco Medina, 2024). Por otro lado, se ha determinado que microorganismos coexisten al interior de árboles vivos (Arnold et al., 2024), lo que

sugiere que de existir una afectación microbiana debe ser muy específica. El declive o muerte de un árbol puede ser consecuencia de eventos sucesivos que predisponen al individuo a la pérdida paulatina de su vigor y salud (Sinclair & Hudler, 1988).

Los aspectos físicos como el efecto de la temperatura o la sequía pueden impactar negativamente en las funciones fisiológicas de la planta (Madnee et al., 2025). Por ejemplo: se ha observado el efecto negativo de la temperatura sobre la tasa de germinación de semillas (Dantas et al., 2020), o sobre la fotosíntesis (Jeong et al., 2025; Slot et al., 2024) o el calentamiento del tallo que puede ocasionar una disfunción del xilema afectando la conductancia estomática, sobre el potencial hídrico foliar, o el flujo de savia y la conductividad hidráulica (Hoffmann et al., 2024).

Por otro lado, eventos extremos también pueden generar un impacto en la fisiología de la planta (Camarero & Valeriano, 2025; Stan & Sanchez-Azofeifa, 2019). En los últimos años se ha tenido la presencia de El Niño y El Niño Costero con precipitaciones intensas en periodos cortos de tiempo, esto puede generar una alteración en los mecanismos de los árboles. En contraste, los periodos prolongados de sequías (Wang et al., 2012) pueden ocasionar una mayor defoliación (Gazol & Camarero, 2022) por ende afectar la generación de sustancias de reservas haciéndoles vulnerables frente a las sequías (Suresh et al., 2010). Estos elementos naturales u otros, podrían ser la causa de la muerte de algunos individuos influenciados por la selección natural en la adaptabilidad de los individuos a los cambios sufridos en el entorno o la resistencia a plagas y/o enfermedades, no obstante; es preciso considerar que esta madera seca puede ser fuente de combustible a futuros incendios forestales (Cheng et al., 2024) sino se aprovecha en base a un marco normativo y técnico (Friman, 2024). No obstante, esta biomasa residual forestal seca puede ser vista como un bien ecosistémico o capital natural por ser hábitat de otras especies (Ranius et al., 2024) o por el aceite esencial que almacena en sus cavidades, requiriendo propuestas de aprovechamiento sostenible en los bosques naturales como una alternativa de desarrollo de las poblaciones locales que cuentan con esta bondad de la naturaleza (Caicedo Álvarez et al., 2026).



Figura 7. A: Muestras de palo santo, B y C: Medidas dasométricas e identificación de insectos xilófagos.

CONCLUSIONES

La interacción compleja entre las condiciones ambientales de un bosque xerófito como aridez, déficit hídrico, altas temperaturas y características edáficas de la zona de vida matorral desértico Premontano Tropical, y los procesos biológicos asociados a insectos xilófagos y descomponedores, a través de la degradación progresiva de la albura y corteza de la especie, permiten la formación de madera seca de *Bursera graveolens*, la cual se encuentra constituida principalmente de duramen, asociado al aprovechamiento tradicional de aceite esencial reportado para la especie. Asimismo, la biomasa residual generada cumple funciones

ecológicas importantes en el reciclaje de nutrientes y mantenimiento del ecosistema forestal. En ese contexto, la madera seca de palo santo representa un recurso forestal con potencial de aprovechamiento sostenible, siempre que su manejo considere criterios técnicos, ecológicos y de conservación. Se recomienda desarrollar investigaciones complementarias sobre fisiología del árbol asociada a muerte natural, dinámica de acumulación del aceite esencial en el duramen y efectos del cambio climático sobre los procesos de senescencia y regeneración natural de la especie.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UNTUMBES y al Instituto de Investigación en el marco del proyecto: Microencapsulamiento de aceite esencial de Palo santo (*Bursera graveolens*) obtenido por dos métodos de destilación en quitosano y derivados de biomasa residual para su aplicación sobre microorganismos que afectan especies de árboles del bosque seco en el norte del país, por ser parte de las evaluaciones de campo.

A la Escuela de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, por las facilidades en el Laboratorio de Dendrología y el préstamo de equipos GPS, cinta diamétrica, eclímetro, otros, que permitieron el registro de datos en campo.

A la Asociación sostenible del ecosistema del bosque seco Averías-Casitas, con N° de Partida Registral 11045200 SUNARP, por ser parte del programa de Responsabilidad

Social Universitaria en el Modelo de Desarrollo Forestal Sostenible y con el respaldo técnico del Grupo de Investigación: Desarrollo sostenible del ecosistema bosque seco-DESOBOS.

Al Instituto Airmid, presidido por la Dra. Kelly Ablard, por su fortaleza con la especie sagrada del bosque seco norte peruano.

Este trabajo fue subvencionado por el CONCYTEC a través del programa PROCIENCIA en el marco del concurso "Becas en programas de doctorado en alianzas interinstitucionales", según contrato PE501089614-2024-PROCIENCIA-BM y del Concurso Alianzas Interinstitucionales para Programas de Doctorado ejecutado por la Universidad Nacional de Ingeniería, según contrato PE501084296-2023-PROCIENCIA-BM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnold, W., Gewirtzman, J., Raymond, P. A., Bradford, M. A., Butler, C., & Peccia, J. (2024). A method for sampling the living wood microbiome. *Methods in Ecology and Evolution*, 15(6), 1084–1096. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14311>
- Caicedo Álvarez, E. M., Tapia Zúñiga, M. V., & Caicedo Tapia, E. M. (2026). Bioactivos del bosque seco tropical: logros recientes y perspectivas de Ecuador hacia mercados globales. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 10(1), 329–343. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v10.n1.2026.329-343>
- Camarero, J. J., & Valeriano, C. (2025). Tree and Liana Growth in Three Neotropical Dry Forests: Coherent Patterns and Individualistic Responses to Climate Variability. *Forests*, 16(3), 542.
- Carvajal-Benavides, J. G., Valencia Valenzuela, X. G., Garzón-Flores, B. H., Varela Jácome, G. D., Villalba-Flores, E. A., Cifuentes-Vásquez, J. K., & Villota Guerron, E. L. (2026). Bioeconomía Forestal Regenerativa en Ecuador (2015–2025): Integración de Saberes Ancestrales, Análisis NANDINA de Exportaciones y Prospectiva hacia el Desarrollo Regenerativo. *Revista JRG de Estudios Académicos*, 9(20), e093129. <https://doi.org/10.55892/jrg.v9i20.3129>
- Castro, J. K., Cevallos Zambrano, J. J., Franco, F. X. P., Palacios Peñafiel, J. C., & Chirino Miranda, E. (2023). Caracterización de poblaciones de especies endémicas en bosque tropical seco semideciduo. Parque Nacional Machalilla, Manabí, Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 9(1), 153–168. <https://doi.org/10.1080/23766808.2023.2266299>
- Cheng, Y., Oehmcke, S., Brandt, M., Rosenthal, L., Das, A., Vrieling, A., Saatchi, S., Wagner, F., Mugabowindekwe, M., Verbruggen, W., Beier, C., & Horion, S. (2024). Scattered tree death contributes to substantial forest loss in California. *Nature Communications*, 15(1), 641. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-44991-z>
- Chiquito Noboa, I., Naranjo Morán, J., & Barcos-Arias, M. (2018). Presencia de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en especies representativas del bosque seco tropical del litoral ecuatoriano. *Bionatura*, 3(1), 524–526. <https://doi.org/10.21931/RB/2018.03.01.7>
- Clark, D. A., & Clark, D. B. (1981). Effects of seed dispersal by animals on the regeneration of *Bursera graveolens* (Burseraceae) on Santa Fe Island, Galapagos. *Oecologia*, 49(1), 73–75. <https://doi.org/10.1007/BF00376900>
- Dantas, B. F., Moura, M. S. B., Pelacani, C. R., Angelotti, F., Taura, T. A., Oliveira, G. M., Bispo, J. S., Matias, J. R., Silva, F. F. S., Pritchard, H. W., & Seal, C. E. (2020). Rainfall, not soil temperature, will limit the seed germination of dry forest species with climate change. *Oecologia*, 192(2), 529–541. <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04575-x>
- Friman, J. (2024). Contested firewood collection in Burkina Faso: Governance, perceptions, and practices. *World Development*, 175, 106495. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2023.106495>
- Gazol, A., & Camarero, J. J. (2022). Compound climate events increase tree drought mortality across European forests. *Science of The Total Environment*, 816, 151604. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151604>
- Harcombe, P. A., & Marks, P. L. (1983). Five years of tree death in a Fagus-Magnolia forest, southeast Texas (USA). *Oecologia*, 57(1), 49–54. <https://doi.org/10.1007/BF00379561>
- Heleno, R., Blake, S., Jaramillo, P., Traveset, A., Vargas, P., & Nogales, M. (2011). Frugivory and seed dispersal in the Galápagos: what is the state of the art? *Integrative Zoology*, 6(2), 110–129. <https://doi.org/10.1111/j.1749-4877.2011.00236.x>
- Hoffmann, W. A., Sherry, C. D. K., & Donnelly, T. M. (2024). Stem heating results in hydraulic dysfunction in *Symplocos tinctoria*: implications for post-fire tree death. *Tree Physiology*, 44(3). <https://doi.org/10.1093/treephys/tpae023>
- Huila, W. N. R., López, G. G., Sospedra, R. S., & Garcés, N. A. (2023). Estructura y diversidad en un fragmento de bosque seco deciduo asociado a comunidades humanas en Manabí, Ecuador. *Avances: Cuba*, 25(3), 292–309.
- Jeong, S. W., Lee, I. H., Kim, Y.-G., Kang, K.-S., Shim, D., Hurry, V., Ivanov, A. G., & Park, Y.-I. (2025). Spectral unmixing of

- hyperspectral images revealed pine wilt disease sensitive endmembers. *177(1)*, e70090. <https://doi.org/10.1111/ppl.70090>
- Jimenez González, A., Buenaño-Toapanta, M., Tapia-Zúñiga, M. ó., & García-Rodríguez, R. (2025). Diversidad florística en el bosque seco tropical de El Retiro, parroquia El Anegado, cantón Jipijapa, provincia de Manabí, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, *15(2)*, 30–42. <https://doi.org/10.54753/blc.v15i2.2429>
- Kleiner, J. D., Van Horn, R. C., Swenson, J. E., & Steyaert, S. M. J. U. (2018). Rub-tree selection by Andean bears in the Peruvian dry forest. *Ursus*, *29(1)*, 58–66. <https://doi.org/10.2192/URSUS-D-17-00012.1>
- Laarmann, D., Korjus, H., Sims, A., Stanturf, J. A., Kiviste, A., & Köster, K. (2009). Analysis of forest naturalness and tree mortality patterns in Estonia. *Forest Ecology and Management*, *258*, S187–S195. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.014>
- Linares-Palomino, R. (2005). Spatial distribution patterns of trees in a seasonally dry forest in the Cerros de Amotape National Park, northwestern Peru. *Revista Peruana de Biología*, *12(2)*, 317–326.
- Linares-Palomino, R., Alvarez, S. I. P., & Management. (2005). Tree community patterns in seasonally dry tropical forests in the Cerros de Amotape Cordillera, Tumbes, Peru. *Forest Ecology, 209(3)*, 261–272. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.003>
- Macías-Mora, J., Lange-Reyes, J., Zamora-Ledezma, E., Montes-Escobar, K., Vences-Obando, M. B., Mero-Penarrieta, C., Daza-Castaño, R., Pico-Mendoza, J., & Salas-Macías, C. A. (2025). Keystone species and co-occurrence patterns in Ecuadorian tropical dry forests. *Journal of Tropical Forest Science*, *37(2)*, 154–167.
- Macías, C. S., Escobar, K. M., Sancán, G. S., Chávez, W. A., Choez, A. M., Cedeño, F. V., Bolcato, D. B., & Abad, S. I. (2020). Influencia del gradiente altitudinal sobre la Composición y estructura del " Bosque y vegetación protector El Artesan-EcuadorianHands", Joa, Jipijapa. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, *37(2)*, 148–168.
- Madnee, M., Hussain, T., Sabir, M. A., Abid, M., Khalid, M., Makkii, H. A., Ali, S., & Nurrochmat, N. A. (2025). Differential responses of leguminous tree species to drought stress: implications for agroforestry and restoration in arid and semi-arid climates. *Agroforestry Systems*, *99(4)*, 76. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01178-9>
- Maldonado Aguilar, J. L. (2025). Redes de interacciones ecológicas entre aves frugívoras-plantas en un gradiente de degradación del bosque estacionalmente seco de Zapotillo. Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Loja. Ecuador.
- Melendez Torres, M. I. (2025). *Distribución geográfica potencial de Bursera graveolens Kunth. en el Norte del Perú, 2023* [Pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Iquitos.
- Mieles, A., Dáttilo, W., & Traveset, A. (2026). Neglected Floral Visitors in the Galapagos Islands: Understanding the Structure of Ant-Flower Interaction Networks. *Journal of Applied Entomology*, *150(3)*, 321–332. <https://doi.org/10.1111/jen.70026>
- Moscol, J., Puentes, M., & Herrera, E. (2022). Estructura y diversidad arbórea y su relación con el suelo forestal en un ecosistema de bosque seco. *Manglar*, *19(4)*, 323–330. <https://doi.org/10.57188/manglar.2022.041>
- Network, I. T. M. (2025). Towards a global understanding of tree mortality. *245(6)*, 2377–2392. <https://doi.org/10.1111/nph.20407>
- Patiño, J., Ramón, P., Gasmán-Montalván, E., Escudero, A., & De la Cruz, M. (2021). Fencing promotes fast recovery of demographic processes after grazing-driven collapse in *Bursera graveolens* forests. *Forest Ecology and Management*, *499*, 119592. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119592>
- Pucha-Cofrep, D., Peters, T., & Bräuning, A. (2015). Wet season precipitation during the past century reconstructed from tree-rings of a tropical dry forest in Southern Ecuador. *Global and Planetary Change*, *133*, 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.08.003>
- Puentes, M., Herrera, E., Moscol, J., Hidalgo, E., & Huaman, W. (2023). *Bursera graveolens* en matorral desértico con fines de desarrollo forestal sostenible: Volumetría, peso, inventario forestal y regeneración natural. *Manglar*, *20(1)*, 23–29. <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.003>
- Puentes, M., Herrera, E., Moscol, J., & Solis, J. (2022). Rendimiento de aceite esencial a partir de madera de *Bursera graveolens*: Aprovechamiento de astillas, viruta y aserrín. *Manglar*, *19(2)*, 131–136. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.016>
- Pulido-Esquivel, A. Y., Prado-Hernández, J. V., Buendía-Espinoza, J. C., & García-Núñez, R. M. (2025). Agroforestry Systems Enhance Soil Moisture Retention and Acuífer Recharge in a Semi-Arid Mexican Valley. *Water*, *17(10)*, 1488.
- Ramirez Céspedes, M. Y. (2023). *Rendimiento y caracterización del aceite esencial de palo santo (Bursera graveolens) obtenidas de ramas terminales y frutos aplicando dos métodos de extracción* [Título profesional, Universidad Nacional de Tumbes].
- Ramírez Huila, W., & Ayoví Garces, N. E. (2022). Estructura y composición arbórea del bosque seco tropical en el valle Sancán, Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, *10(2)*, 169–181.
- Ranius, T., Gibbons, P., & Lindenmayer, D. (2024). Habitat requirements of deadwood-dependent invertebrates that occupy tree hollows. *99(6)*, 2022–2034. <https://doi.org/10.1111/brv.13110>
- Rasal Sánchez, M., Troncos Castro, J., Lizano Durán, C., Parihuamán Granda, O., Quevedo Calle, D., Rojas Idrogo, C., & Delgado Paredes, G. E. (2011). Características edáficas y composición florística del bosque estacionalmente seco La Menta y Timbes, región Piura, Perú. *Ecología Aplicada*, *10(2)*, 61–74.
- Salto, R. E., Bec, N., Rivera, M. S., Robles, J. R., Larroque, C., & Armijos, C. J. (2022). Composición química y actividad AChE-BuChE del aceite esencial de palo santo *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch de Jipijapa, Ecuador. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, *21(4)*, 455–463. <https://doi.org/10.37360/blacpma.22.21.4.28>
- Sinclair, W. A., & Hudler, G. W. (1988). Tree Declines: Four Concepts of Causality. *14(2)*, 29–35. <https://doi.org/10.48044/jauf.1988.009>
- Slot, M., Rifai, S. W., Eze, C. E., & Winter, K. (2024). The stomatal response to vapor pressure deficit drives the apparent temperature response of photosynthesis in tropical forests. *244(4)*, 1238–1249. <https://doi.org/10.1111/nph.19806>
- Stan, K., & Sanchez-Azofeifa, A. (2019). Tropical Dry Forest Diversity, Climatic Response, and Resilience in a Changing Climate. *10(5)*, 443.
- Suresh, H. S., Dattaraja, H. S., & Sukumar, R. (2010). Relationship between annual rainfall and tree mortality in a tropical dry forest: Results of a 19-year study at Mudumalai, southern India. *Forest Ecology and Management*, *259(4)*, 762–769. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.025>
- Thu, P. Q., Duc, D. T., Chi, N. M., Anh, D. T. K., Thuy, P. T. T., Loi, V. V., Loan, N. T., Hang, N. T. M., & Dell, B. (2024). *Ceratocystis fimbriata* sensu lato causes canker and wilt diseases of urban park trees in Hanoi, Vietnam. *Indian Phytopathology*, *77(2)*, 397–405. <https://doi.org/10.1007/s42360-024-00734-0>
- Tinoco Medina, G. S. (2024). *Actividades que afectan la regeneración natural de Bursera graveolens, Prosopis pallida y Loxopterigyum huasango, área de concesión forestal UNTumbes, 2023* [Título profesional, Universidad nacional de Tumbes].
- Velasco, N., Calle-Loor, A., & Jaramillo Díaz, P. (2024). Defining large-scale arid island vegetation recovery targets through evaluating a reference ecosystem within an archipelago extent. *Restoration Ecology*, *32(6)*, e14171. <https://doi.org/10.1111/rec.14171>
- Wang, W., Peng, C., Kneeshaw, D. D., Larocque, G. R., & Luo, Z. (2012). Drought-induced tree mortality: ecological consequences, causes, and modeling. *20(2)*, 109–121. <https://doi.org/10.1139/a2012-004>
- Westhelle, S. (2025). From canopy to seedling: Exploring the potential role of nurse plants on Santa Fé Island, Galápagos.