



***Bursera graveolens* en matorral desértico con fines de desarrollo forestal sostenible: Volumetría, peso, inventario forestal y regeneración natural**

Bursera graveolens in desert scrub for sustainable forest development purposes: Volumetry, weight, forest inventory, and natural regeneration

Miguel Puentesca^{1,*}; Eber Herrera¹; José Moscol¹; Eder Hidalgo¹; William Huaman¹

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

* Autor correspondiente: mpuescasc@untumbes.edu.pe (M. Puentesca).

ID ORCID de los autores

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

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

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

E. Hidalgo:  <http://orcid.org/0000-0002-8568-3255>

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

RESUMEN

Con el propósito de mejorar la calidad de vida a las poblaciones locales, entre ellas la Asociación de agricultores y ganaderos de la localidad La Pampa-Quebrada Seca, Casitas, Tumbes, mediante el aprovechamiento sostenible de madera seca de palo santo para la extracción de aceite esencial y sus subproductos. El objetivo fue determinar el peso de madera seca de palo santo en 1 m³ por hectárea in situ en el bosque matorral desértico comprendido en el plan operativo anual (1 POA) de 100 ha del plan general de manejo forestal (PGMF) de 500 ha. Para determinar la volumetría del material residual se aplicó el método del cubo (un cajón con dimensiones de 1 m x 1 m x 1 m). Los resultados muestran una media de 0,4 m³/ha de material residual con un peso promedio de 116,9 kg/ha. Asimismo, se obtuvo un peso medio de 292,3 kg/m³. Se evidencia un bien ecosistémico en su estado natural expuesto a factores climáticos y antrópicos; siendo esencial la planificación, manejo y valoración del aprovechamiento de madera seca sostenible, cuantificando la rentabilidad social, económica y ambiental, enfatizando el manejo de la regeneración natural; con el fin de garantizar la perpetuidad del bosque y sus servicios ecosistémicos.

Palabras clave: palo santo; método del cubo; zona de vida; capital natural; cubicación.

ABSTRACT

To improve the quality of life of local populations, including the Association of farmers and ranchers from La Pampa-Quebrada Seca, Casitas, Tumbes, through the sustainable use of dry palo santo wood to extract essential oil and its by-products. The objective was to determine the weight of dry wood of palo santo in 1 m³ per hectare in situ in the desert scrub forest included in the annual operating plan (1 POA) of 100 ha of the general forest management plan (PGMF) of 500 ha. The Cube method was applied to determine the volume of the residual material (a box with dimensions of 1 m x 1 m x 1 m). The results show an average of 0.4 m³/ha residual material, an average weight of 116.9 kg/ha, and an average value of 292.3 kg/m³. An ecosystem good is evident in its natural state, exposed to climatic and anthropogenic factors, being essential in planning, management, and valuation of the use of sustainable dry wood, quantifying the social, economic, and environmental profitability, emphasizing the management of natural regeneration; to guarantee the perpetuity of the forest and its ecosystem services.

Keywords: palo santo; cube method; life zone; natural capital; cubication.

Recibido: 19/01/2023

Aceptado: 17/03/2023



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

Los bosques xerófilos en la costa norte de nuestro país, alberga un capital natural (Naritaa et al., 2018) diverso y está al alcance de todos y su uso está regulado en el marco de la legislación forestal y de fauna silvestre. Tanto los productos maderables y no maderables son la fuente de capital para desarrollarnos de manera responsable y sostenible (Walle & Nayak, 2020); sin embargo, el uso y aprovechamiento actualmente no es el más adecuado y muchas veces la sobre explotación se dimensiona y las consecuencias son causante de efectos negativos (Whaley et al., 2010): tanto para el ecosistema, porque ocasiona pérdida y desperdicio del capital natural; así como para las áreas boscosas, por la reducción de cobertura que experimentan y con ello la aceleración de la desertificación; el impacto al recurso suelo, agua y por otro lado a la sociedad, a causa de la inadecuada gestión y administración de estos recursos (Girmay, 2020). Todo ello alimenta insostenibilidad e incertidumbre, sumado además a los efectos del cambio climático sobre los factores ambientales (Stan & Sanchez-Azofeifa, 2019; Souza e Silva et al., 2019).

El desarrollo sostenible como tema de agenda global, involucra a todos los entes sociales, academia, sector público, privado, poblaciones locales, para generar sinergias (Scharlemann et al., 2020; Gonzáles & Neri, 2015) que coadyuven al uso eficiente de la flora y fauna silvestre, en una cooperación para mitigar el hambre, la miseria, la igualdad de género y todas las mejoras en justicia, equidad, eficiencia, inclusión, calidad de vida, sostenibilidad, productividad y competitividad, ante la amenaza del cambio climático, indicados en los 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) (Spechta et al., 2019).

El material residual (madera seca) de la especie forestal palo santo *Bursera graveolens*, inicia su proceso de secado de forma natural en interacción con el suelo, clima, radiación, evapotranspiración, viento, entre otros factores (Puescas et al., 2022) y concentra de manera natural en su estructura (al interior de las paredes y cavidades celulares del duramen principalmente) aceite esencial con un alto potencial aromático. Éste es utilizado en la medicina, alimentos, perfumería (Hidalgo & Romero, 2016) (Fontenla, 2006); así como agente antibacteriano (Sotelo et al., 2017), antimicótico (Luján-Hidalgo et al., 2012), antiparasitario, antiviral e insecticida (Jumbo et al., 2022) (Alzamora et al., 2001).

La estimación de volumen de madera de un árbol en pie respecto de una troza difiere en su metodología. La fórmula recomendada para una troza es Smalian (SERFOR, 2021). No obstante, la irregularidad del material residual nos conlleva a proponer metodologías que permitan cubicar éste material in situ, esto ante la inexistencia de datos y valores de volumetría y peso de material residual y productos forestales. La Universidad Nacional de Tumbes (Untumbes) ha realizado estudios de rendimiento en la producción de carbón artesanal, aplicando el método del cubo para cubicar la

madera; reportando que 1 m³ de madera rolliza de la especie algarrobo *Prosopis pallida* tiene un peso promedio de 1 264,4 kg y rinde 364,9 kg de carbón; por lo cual, en razón a los pesos se tiene un rendimiento de 28,89 % (factor de conversión = 0,2889). Asimismo, este estudio reporta que 1 m³ de madera rolliza de la especie algarrobo tiene un rendimiento de 82,85 rajadas de primera calidad (MINAG, 2012) (Puescas, 2012; Puescas, 2002; Feijoo, 2006). Por su parte Zarate (2014) desarrolló un estudio de volumetría de trozas de palo santo entre 12 cm y 17 cm, aplicando el método del cubo, el cual es comercializado como incienso, reportando un peso de 328,16 kg/m³ y un total de 3 787,2 trozas/m³ (Figura A1).

A parte de ello, no se ha evidenciado otros datos o metodologías de volumetría sobre el material residual de *Bursera graveolens* con fines de aprovechamiento y comercialización para la obtención de aceite esencial. Sin embargo, se ha encontrado valores diversos tanto en volumen y peso por metro cúbico, según reportes de planes generales de manejo forestal que han sido autorizados por SERFOR en Piura, Lambayeque y Cajamarca (SERFOR, Resolución administrativa N° 025-2018-MINAGRI-SERFOR-ATFFS-PIURA, 2018) (SERFOR, Resolución administrativa N° 278-2018-MINAGRI-SERFOR-ATFFS-PIURA, 2018). Igualmente es importante mencionar valores en kilogramos en sacos que son incautados y decomisados por la autoridad forestal con apoyo de la policía especializada, pero no reportan valores precisos que conlleven a una estimación de volumetría (SERFOR, Nota de prensa, 2022) (Durand, 2022) (Fernandez, 2018).

Finalmente, si bien es cierto que el material residual nos lo oferta la naturaleza, al encontrarse en los ecosistemas de la costa norte peruana, debemos considerar mecanismos para el manejo y desarrollo forestal sostenible; Blackie et al. (2014) menciona la imperiosa necesidad de saber cómo los usuarios usan el bosque y se benefician de él y vencer los paradigmas en la inserción de nuevos bienes ecosistémicos en el mercado, esto convenientemente por las diversas amenazas a que está sometido el bosque: ganadería extensiva, incendios forestales, cambio de uso del suelo, extracción y recolección ilegal, entre otros factores (Cueva et al., 2019). Ello nos conlleva a reflexionar para tomar medidas y datos para mostrar a las autoridades y tomen las medidas correctivas a plantear las estrategias de mejora en lo ecológico, social y económico (Horna, 2022), que garantice la sostenibilidad del bosque (Mora, 2019) mediante el aprovechamiento de material residual.

Con ese enfoque del aprovechamiento forestal sostenible la asociación de agricultores y ganaderos de la localidad de La Pampa – Quebrada Seca – distrito de Casitas y con el apoyo y guía de los profesionales de la Universidad Nacional de Tumbes (Untumbes) se desarrolló la presente investigación cuyo objetivo fue determinar el peso de material residual (kg) presente en 1 m³ (método del cubo) por hectárea (ha) de la especie forestal

palo santo *Bursera graveolens* en el bosque matorral desértico, en el sector Cabrerros y Cerro Bartolo del distrito de Casitas-Tumbes. El presente estudio se dio en el primer plan operativo anual (1 POA), que comprende 100 ha, del Plan General de Manejo Forestal (PGMF) de una superficie total de

500 ha, solicitado por la referida asociación a la autoridad competente en el marco de la ley forestal y de fauna silvestre Ley N° 29763 y su respectivo reglamento para la gestión forestal Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó entre noviembre 2021 y abril de 2022. Se establecieron 2 fases:

Fase 1: En gabinete

Se elaboró catastro (mapas y croquis) a mano alzada, con el uso de regla y escalímetro para la distribución de parcelas, brigadas y vértices del área de estudio, en la zona denominada Cerro Cabrerros y Bartolo, distrito Casitas, Contralmirante Villar, Tumbes (Figura 1).

Se diseñó y planificó la distribución de unidades de muestreo de forma sistemática, en coordenadas UTM Datum WGS 84 Zona 17S, para el inventario forestal se establecieron parcelas para la evaluación de árboles (P1, P2, P3, P4, P5, P6 y P7) y sub parcelas para la regeneración natural - brinzales (RN1, RN2, RN3, RN4, RN5, RN6 y RN7) en el área del PGMF de 500 ha (Figura 2).

De la misma forma para volumetría y peso del material residual se establecieron parcelas dentro del 1 POA de 100 ha (PMR1, PMR2, PMR3, PMR4 y PMR5), con dimensiones de 400 m x 2 500 m (Tabla 1). Asimismo, se elaboraron las fichas técnicas de evaluación, se capacitó al personal y se distribuyeron las funciones dentro del equipo de trabajo.

Fase 2: En campo

Con un equipo de sistema de posicionamiento global (GPS) marca Garmin 64S se estableció los vértices de las parcelas o unidades de muestreo colocando una estaca.

De la misma forma, se ubicaron los 5 centroides de

forma sistemática (C1, C2, C3, C4 y C5) (Figura 2), donde se elaboró un cubo para la cubicación y pesado de material residual.

Tabla 1

Coordenadas de parcelas y sub parcelas de evaluación

Área	Vértice	Coordenadas UTM WGS 84	
		Este	Norte
PGMF	1	531 742	9 565 627
	2	534 242	9 565 627
	3	534 242	9 563 627
	4	531 742	9 563 627
1POA	1	531 742	9 563 627
	2	531 742	9 564 027
	3	534 242	9 564 027
	4	534 242	9 563 627
PMR1	1	531 742	9 563 777
	2	531 742	9 563 877
	3	531 842	9 563 877
	4	531 842	9 563 777
PMR2	1	532 317	9 563 777
	2	532 317	9 563 877
	3	532 417	9 563 877
	4	532 417	9 563 777
PMR3	1	532 942	9 563 777
	2	532 942	9 563 877
	3	533 042	9 563 877
	4	533 042	9 563 777
PMR4	1	533 567	9 563 777
	2	533 567	9 563 877
	3	533 667	9 563 877
	4	533 667	9 563 777
PMR5	1	534 242	9 563 777
	2	534 242	9 563 877
	3	534 142	9 563 877
	4	534 142	9 563 777

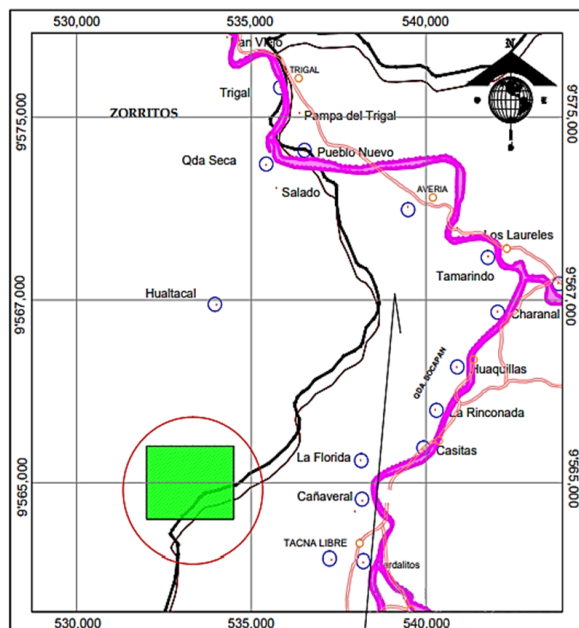


Figura 1. Ubicación política del área de estudio, distrito Casitas.

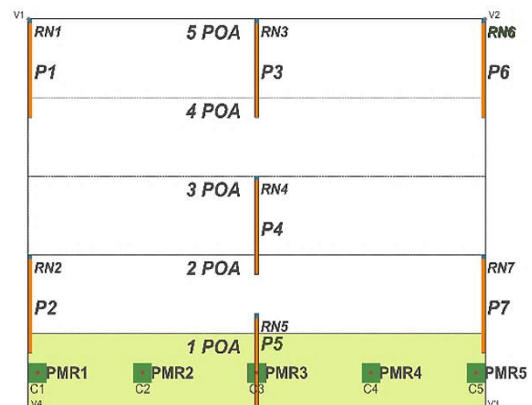


Figura 2: Distribución de unidades de muestreo.

Al momento de la cubicación la madera seca fue colocada cubriendo los espacios o ventilas reduciendo los errores de medición. Cabe precisar que el material empleado en el estudio quedó en el área evaluada.

a) Cuantificación de volumen de madera seca/hectárea (m³/ha)

Debido a que el material residual disperso naturalmente en el bosque no presenta uniformidad en su forma y estructura para su cubicación. Se determinó el volumen por hectárea aplicando el método del cubo. Es decir, técnicamente no es viable aplicar la fórmula del cilindro y su depreciación con el coeficiente mórfico o factor de forma. Se elaboró un cubo en cada centroide con material consistente en varas de 2 especies arbustivas: overo (*Cordia lutea*) y añalque (*Coccoloba ruiziana*), medidos simétricamente y se recolectó la madera seca en cada parcela (PMR) para ser apilada en cada cubo (Figura A2).

b) Cuantificación de peso/hectárea (kg/ha)

Las trozas apiladas en cada cubo fueron pesadas previamente usando 2 balanzas tipo reloj de 20 kg y 5 kg, y una romana de 10 kg. Corresponde indicar que el material residual fue pesado tal y conforme se recolectó; es decir, en estado natural (Figura 3).

c) Cuantificación de peso/metro cúbico (kg/m³)

Para cuantificar el peso de material residual existente en 1 m³, se aplicó la metodología del cubo. Se hizo el llenado de 2 cubos haciendo uso de la misma madera seca de palo santo recolectada en cada parcela (PMR). De igual modo se empleó los tres tipos de balanza para el pesado.

d) Inventario forestal

Para el inventario forestal se distribuyeron sistemáticamente 7 parcelas rectangulares, con dimensiones de 20 m x 500 m en las 500 ha que comprende el PGMF (Figura 2). En estas unidades de muestreo se evaluaron árboles en pie a partir de los 5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). Se utilizó fichas técnicas para consignar especie, y valores dasométricos; también, se georreferenciaron los individuos con el GPS. Para evaluar la regeneración natural, se distribuyeron 7 sub

parcelas rectangulares de 20 m x 20 m distribuidas sistemáticamente; estas se ubicaron al inicio de cada parcela del inventario forestal (Figura 2). Las tres brigadas de campo estuvieron conformadas por: 1 técnico forestal, 1 medidor de variables dasométricas, 1 anotador, 1 apoyo logístico y 1 ingeniero forestal responsable; además del regente forestal autorizado por SERFOR.



Figura 3. Método de pesado y cubicación.

e) Volumen maderable/hectárea (m³/ha)

Para determinar el volumen maderable en pie de los árboles inventariados, se hizo las medidas dasométricas del diámetro de fuste y ramas, altura de fuste y longitud de ramas. Con estos datos aplicamos la siguiente fórmula:

$$V = \pi * (Df^2/4) * Hc/L * f \quad (1)$$

Donde V = Volumen maderable en m³; $\pi = 3,1416$; Df = Diámetro del fuste o rama en m; Hc/L = Altura comercial o longitud rama en m; L = Longitud de rama en m; f = factor de forma.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Volumetría y peso

En la tabla 2 se presenta los valores de volumetría y peso de madera seca de *Bursera graveolens* recolectado en su estado natural. El valor promedio de material residual existente en las unidades de muestreo PMR1, PMR2, PMR3, PMR4 y PMR5 fue de 0,4 m³/ha. Es decir, se estima que en el 1 POA del PGMF que comprende 100 ha se puede llegar a recolectar 40 m³ de madera seca de palo santo. Este valor puede verse incrementado si se toma en cuenta la raíz de los árboles caídos de forma natural, dado que se ha evidenciado in situ su

potencial aromático en semejanza a la parte aérea maderable del árbol.

Tabla 2
Volumetría y peso por hectárea

Cubo	Volumen (m ³ /ha)	Peso (kg/ha)
1	0,42	112,50
2	0,40	115,36
3	0,48	135,93
4	0,38	118,22
5	0,32	102,61
\bar{x}	0,4	116,92

Estos 0,4 m³/ha son equivalentes a un valor promedio de peso de material residual de 116,92 kg/ha. Por tanto, se estima un valor bruto de 11,7 t para el 1 POA. No obstante, ante la carencia de información volumétrica y peso de este producto, consideramos que tanto el volumen y peso del material puede verse afectado por los factores climáticos que interactúan en el bosque seco, debiéndose considerar una reducción de peso debido a impurezas presentes en la madera al estado natural de 24% y un rendimiento promedio de 87,3% en su transformación a astilla, viruta o aserrín; valorando estos resultados podemos mencionar que es un volumen y peso importante en su aprovechamiento sostenible para extracción de aceite esencial (Puentes et al., 2022). Además se debe tener presente que esta especie posee una densidad media – baja (Vera, 2022; Rosero, 2011), y, por tanto, su peso está en función fundamentalmente a su duramen “corazón”, parte estructural del xilema, donde se concentra el aceite esencial haciéndola una especie peculiar del bosque seco en su uso.

Finalmente, después de pesar y apilar el material residual se obtuvo un valor promedio de 292,3 kg/m³ de madera seca de *Bursera graveolens*. Este valor difiere por 35,86 kg respecto al reportado por Zarate (2014) de 328,16 kg/m³ de trocitas entre 12 cm y 17 cm de dimensión de la especie palo santo utilizada como incienso; esto puede deberse a que al ser las trozas mucho más pequeñas pueden acomodarse mejor en el cubo, teniendo 3 787 trocitas ordenadas respecto de 57 del estudio las cuales no tuvieron ninguna transformación. De hecho el 52,6% de las trozas tuvieron que ser pesadas con la balanza de reloj de 20 kg.

Inventario forestal y evaluación de regeneración natural

En la tabla 3 se presenta la riqueza específica obtenida en razón al inventario forestal realizado en las 7 parcelas de evaluación (P1 – P7) en el área del PGMF consta de 11 especies. De las cuales 8 son árboles: (*Prosopis pallida*, *Capparis flexuosa*, *Caesalpineia paipai*, *Loxopterygium huasango*, *Bursera graveolens*, *Eriotheca ruizii*, *Cochlospermum vitifolium* y *Colicodendron scabridum*), 2 arbustos: (*Cordia lutea* y *Coccoloba ruiziana*) y 1 cactácea: (*Armatocereus*

cartwrightianus).

Asimismo, respecto a la especie palo santo, se tiene 10,43 árboles/ha; es decir, es la tercera especie más abundante y con una distribución relativamente homogénea en todo el PGMF, con alturas que van desde los 2,5 m hasta los 7 m; y un DAP de 0,05 m a 0,5 m. En relación con el volumen maderable se obtuvo 2,21 m³/ha; así pues, se cuenta con un volumen de madera que por acción de los procesos de la dinámica forestal puede incorporarse como material residual en el futuro. No obstante, estos valores nos deben conllevar a la reflexión y coadyuvar a promover el manejo y desarrollo forestal que nos garantiza mejoras para el presente y el futuro, con el propósito de incrementar la cobertura vegetal y equilibrar la dinámica sucesional del bosque y su sostenibilidad.

Adicionalmente, en la tabla 3 se observa que la especie palo santo presenta un mayor número de individuos de regeneración natural al obtener 153,6 brinzales/ha, con alturas que van de los 0,1 m hasta 1,50 m; aunque para especies como: *Prosopis pallida*, *Coccoloba ruiziana*, *Armatocereus cartwrightianus*, *Capparis flexuosa*, *Cochlospermum vitifolium* y *Colicodendron scabridum* los resultados son desalentadores generando preocupación puesto que no se reportó brinzales en la evaluación. Patiño et al. (2021) demostró que la instalación de cercas no altera los procesos ecológicos de *Bursera graveolens*; además, durante su evaluación sólo encontraron individuos juveniles al interior de las cercas. Por lo que se puede inferir que las cercas como una actividad silvicultural dentro del manejo forestal evitó la afectación de la regeneración natural a causa del pastoreo.

El resultado del inventario forestal prueba que se requiere de la gestión y manejo forestal sostenible para garantizar la provisión de los bienes y servicios ecosistémicos que nos oferta el bosque en beneficio de las poblaciones locales. Caso contrario el proceso de degradación del bosque seco y desertificación puede acelerarse en esta zona debido a la presión antrópica por actividad pecuaria extensiva principalmente.

Tabla 3

Número de árboles, volumen maderable y regeneración natural por hectárea

Especie	Nombre científico	Familia	Árboles/ha	Volumen m ³ /ha	Brinzales/ha
Algarrobo	<i>Prosopis pallida</i>	Fabáceae	0,86	0,12	0
Añalque	<i>Coccoloba ruiziana</i>	Poligonáceae	0,14	0,004	0
Cardo	<i>Armatocereus cartwrightianus</i>	Cactáceae	0,71	0,13	0
Charán negro	<i>Caesalpineia paipai</i>	Fabáceae	15,57	2,05	21,43
Hualtaco	<i>Loxopterygium huasango</i>	Anacardiaceae	18,43	7,52	3,58
Margarito	<i>Capparis mollis</i>	Capparáceae	0,71	0,03	0
Overo	<i>Cordia lutea</i>	Boragináceae	1,43	0,03	67,85
Palo santo	<i>Bursera graveolens</i>	Burseráceae	10,43	2,21	153,58
Pasallo	<i>Eriotheca ruizii</i>	Malváceae	6,00	2,06	3,58
Polo polo	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Cochlospermáceae	1,86	1,33	0
Zapote	<i>Colicodendron scabridum</i>	Capparáceae	1,71	0,21	0

CONCLUSIONES

El presente estudio ha generado información técnica sobre volumetría y peso del material residual (madera seca) de la especie forestal palo santo (*Bursera graveolens*) en el bosque seco ecuatorial, en la zona de vida matorral desértico, correspondiente al área de manejo forestal solicitada por la asociación de ganaderos de La Pampa, distrito de Casitas. Los resultados determinaron el total de material residual de la especie palo santo, encontrado en su estado natural expuesto a factores climáticos y antrópicos, que les resta valor. Los datos nos conllevan a proyectar el uso y manejo forestal sostenible y su valoración. Pudiendo cuantificar costes e ingresos, así como rentabilidad social, económica y ambiental; por tanto, al existir

material residual en el bosque natural, garantiza el aprovechamiento y, por ende, el desarrollo forestal sostenible. Finalmente, la relación entre árboles en pie y la regeneración natural (brinzales), no es muy alentadora dado que existen limitantes, por cuanto los valores de árboles en pie, reflejados en la regeneración natural, es de análisis objetivo. Es decir, se requiere promover acciones de manejo para garantizar a futuro mejora en cobertura forestal y número de árboles por hectárea. Ello debido al desarrollo de la actividad pecuaria, una de las actividades principales de las familias en el distrito Casitas, referido a la crianza de caprinos de forma extensiva. Planificar actividades del manejo contribuirá a garantizar mejoras en la producción forestal.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a:

la Universidad Nacional de Tumbes y el Instituto de Investigación en el marco del proyecto: *Microencapsulamiento de aceite esencial de Palo Santo (Bursera graveolens) obtenido por microondas en quitosano y colágeno derivados de biomasa residual para su aplicación sobre microorganismos que afectan especies de árboles del bosque seco en el norte del país.*

A la escuela de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente y al Laboratorio de Dendrología por las acciones que coadyuvo a la presente investigación.

Finalmente a la asociación de agricultores y ganaderos de la localidad La Pampa-Quebrada Seca, Casitas, presidido por el Sr. José Falla Merino y al Ing. Jaime Moraira Olaya (asesor), por el interés de promover el desarrollo forestal sostenible y el apoyo en los trabajos de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alzamora, L., Morales, L., Armas, L., & Fernández, G. (2001). Medicina Tradicional en el Perú: Actividad antimicrobiana in vitro de los aceites esenciales extraídos de algunas plantas aromáticas. *Anales de la Facultad de Medicina*, 62(2), 156-161.
- Blackie, R., Baldauf, C., Gautier, D., Gumbo, D., Kassa, H., Parthasarathy, N., . . . Sunderland, T. (2014). *Bosques tropicales secos. El estado del conocimiento global y recomendaciones*. Bogor, Indonesia: Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR). Obtenido de https://www.cifor.org/publications/pdf_files/WPapers/DPBlackie1401S.pdf
- Cueva Ortiz, J., Iván Espinosa, C., Quiroz Dahik, C., Aguirre Mendoza, Z., Cueva Ortiz, E., Guzmán, E., . . . Hildebrandt, P. (2019). Influence of Anthropogenic Factors on the Diversity and Structure of a Dry Forest in the Central Part of the Tumbesian Region (Ecuador-Perú). *Forests*, 10(1), 31-53. doi:10.3390/f10010031
- Durand, F. (2 de 10 de 2022). Piura: Intervienen tráiler que transportaba 11 toneladas de palo santo de manera ilegal. *Inforegión. Agencia de prensa ambiental*.
- Feijoo, C. (2006). *Estudios volumétricos, en madera rolliza (leña) de la especie Prosopis pallida (algarrobo), en las categorías segunda y tercera mediante método artesanal-Tumbes*. Tumbes: Universidad Nacional de Tumbes.
- Fernandez, F. (18 de 4 de 2018). Serfor decomisa 350 kilos de palo santo de procedencia ilegal en caserío de Piura. *Correo*. Obtenido de <https://diariocorreo.pe/edicion/piura/serfor-decomisa-350-kilos-de-palo-santo-de-procedencia-ilegal-en-caserio-de-piura-814152/?ref=dc>
- Fontenla, G. (2006). *Caracterización del aceite esencial de "Lanche" (Myrcianthes rhopaloides (H.B.K) Me Vaugh) proveniente del distrito de Chalaco, provincia de Morropón- Piura, obtenido por dos métodos de destilación*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Girmay, Z. (2020). Tropical dry forest dynamics in the context of climate change: syntheses of drivers, gaps, and management perspectives. *Ecological Processes*, 9(25), 1-16. doi:https://doi.org/10.1186/s13717-020-00229-6
- González, P., & Neri, L. (2015). El ecoturismo como alternativa sostenible para proteger el bosque seco tropical peruano: El caso de Proyecto Hualtaco, Tumbes. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 13(6), 1437-1449. doi:https://doi.org/10.25145/j.pasos.2015.13.100
- Hidalgo, G., & Romero, A. (2016). *Diseño de una planta piloto para la extracción de aceites esenciales mediante destilación por arrastre de vapor*. Piura: Universidad Nacional de Piura.
- Horna Oliva, M. D. (2022). *Modelo de gestión ecoeficiente para la sostenibilidad del bosque seco del norte del Perú ante el cambio climático, 2022-2024*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10828>
- Jumbo, L., Correa, M., Gomes, J., Armijos, M., Valarezo, E., Mantilla-Afanador, J., . . . Oliveira, E. (2022). Potential of *Bursera graveolens* essential oil for controlling bean weevil infestations: Toxicity, repellence, and action targets. *Industrial Crops & Products*, 178(1), 1-10. doi:10.1016/j.indcrop.2022.114611
- Luján-Hidalgo, M., Guitérrez-Miceli, F., Ventura-Canseco, L., Dendooven, L., Mendoza-López, M., Cruz-Sánchez, S., . . . Abud-Archila, M. (2012). Composición química y actividad antimicrobiana de los aceites esenciales de hojas de *Bursera graveolens* y *Taxodium mucronatum* de Chiapas, México. *Gayana Bot.*, 69(Número especial), 7-14.
- MINAG. (11 de Mayo de 2012). Términos de referencia de los Lineamientos y Formatos para la Formulación de los Planes de Manejo Forestal en Bosque Secos de la Costa Tipo 1 y Tipo 2. *Resolución Ministerial N° 0166-2012-AG*. Lima, Perú: Ministerio de agricultura.
- Mora, F. (2019). The use of ecological integrity indicators within the natural capital index framework: The ecological and economic value of the remnant natural capital of México. *Journal for Nature Conservation*, 47, 77-92. doi:https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.11.007
- Naritaa, D., Lemehh, M., Shimodac, Y., & Ayanad, A. (2018). Economic accounting of ethiopian forests: A natural capital approach. *Forest Policy and Economics*, 97, 189-200. doi:https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.10.002
- Patiño, J., Ramón, P., Guzmán-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(1), 1-12. doi:10.1016/j.foreco.2021.119592

- Puescas, M. (2002). *Estudio sobre el rendimiento en la producción de carbón vegetal - especie algarrobo método artesanal*. Tumbes: Administración técnica forestal y de fauna silvestre Piura - Tumbes.
- Puescas, M. (2012). *Evaluación del rendimiento en la producción de carbón vegetal de las especies frutales tamarindo y guaba, en el sector de Cieneguillo Centro y Marcavelica-Sullana Método Artesanal*. Piura: Administración técnica forestal y de fauna silvestre - sede Sullana.
- Puescas, M., Herrera, E., Moscol, J., & Solís, J. (2022). Rendimiento de aceite esencial a partir de madera de *Bursera graveolens*: Aprovechamiento de astillas, viruta y aserrín. *Revista Manglar*, 19(2), 131-136. doi:http://doi.org/10.17268/manglar.2022.016
- Rosero, J. (2011). *Análisis Dendrocronológico de tres especies forestales del Bosque seco Ecuatorial Estacional*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima: Facultad de Ciencias Forestales.
- Scharlemann, J., Brock, R., Balfour, N., Brown, C., Burgess, N., Guth, M., ... Kapos, V. (2020). Towards understanding interactions between Sustainable Development Goals: the role of environment-human linkages. *Sustainability Science*, 15, 1573-1584. doi:https://doi.org/10.1007/s11625-020-00799-6
- SERFOR. (2018). *Resolución administrativa N° 025-2018-MINAGRI-SERFOR-ATFFS-PIURA*. Piura: Administración técnica forestal y de fauna silvestre.
- SERFOR. (2018). *Resolución administrativa N° 278-2018-MINAGRI-SERFOR-ATFFS-PIURA*. Piura: Administración técnica forestal y de fauna silvestre.
- SERFOR. (2021). Guía Metodológica para la determinación del coeficiente de rendimiento de especies forestales maderables. *RESOLUCIÓN DE DIRECCIÓN EJECUTIVA N° D000091-2021-MIDAGRI-SERFOR-DE*. Lima, Perú: Servicio nacional forestal y de fauna silvestre.
- SERFOR. (16 de 6 de 2022). *Nota de prensa*. Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/serfor/noticias/622805-serfor-y-aduanas-decomisan-mas-de-14-toneladas-de-palo-santo-en-arequipa-y-puno
- Sotelo AH, Figueroa CG, Césare MF, & Alegría MC. (2017). Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities of the Essential Oil of *Bursera graveolens* (Burseraceae) From Perú. *Indian J of Pharmaceutical Education and Research*, 51(3), 439-436. doi:10.5530/ijper.51.3s.62
- Souza e Silva, J., Cruz-Neto, O., Peres, C., Tabarelli, M., & Lopes, A. (2019). Climate change will reduce suitable Caatinga dry forest habitat for endemic plants with disproportionate impact on specialized reproductive strategies. *PLoS ONE*, 14(5), 1-17. doi:https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217028
- Spechta, M., Almeida, B., Marshall, N., Lopes, F., Leal, I., Tabarelli, M., & Baldauf, C. (2019). Socioeconomic differences among resident, users and neighbour populations of a protected area in the Brazilian dry forest. *Journal of Environmental Management*, 232, 607-614. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.101
- Stan, K., & Sanchez-Azofeifa, A. (2019). Tropical Dry Forest Diversity, Climatic Response, and Resilience in a Changing Climate. *Forests*, 10(5), 443-462. doi:https://doi.org/10.3390/f10050443
- Vera, A. (2022). *Evaluación del comportamiento de la especie Bursera graveolens (Kunth) Triana & Planch al secado artificial en estufa*. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Manabí: Carrera de Ingeniería Forestal.
- Walle, Y., & Nayak, D. (2020). Analyzing Households' Dependency on Non-timber Forest Products, Poverty Alleviation Potential, and Socioeconomic Drivers: Evidence from Metema and Quara Districts in the Dry Forests of Amhara Region, Ethiopia. *Journal of Sustainable Forestry*, 41(8), 678-705. doi:https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1867185
- Whaley, O., Beresford-Jones, D., Milliken, W., Orellana, A., Smyk, A., & Leguía, J. (2010). An ecosystem approach to restoration and sustainable management of dry forest in southern Peru. *Kew Bulletin*, 65(4), 613-641.
- Zarate, L. (2014). *Volumetría en madera de la especie Bursera graveolens (Palo Santo) utilizada como sahumerio*. Tumbes: Universidad Nacional de Tumbes.

ANEXOS

Figuras metodológicas del estudio



Figura A1. Volumetría leña de algarrobo y trocitos de palo santo, a través del método del cubo.



Figura A2: Trabajo de campo en estudio de volumetría (m^3/ha) y peso (kg/ha) de material residual, especie forestal *Bursera graveolens*.