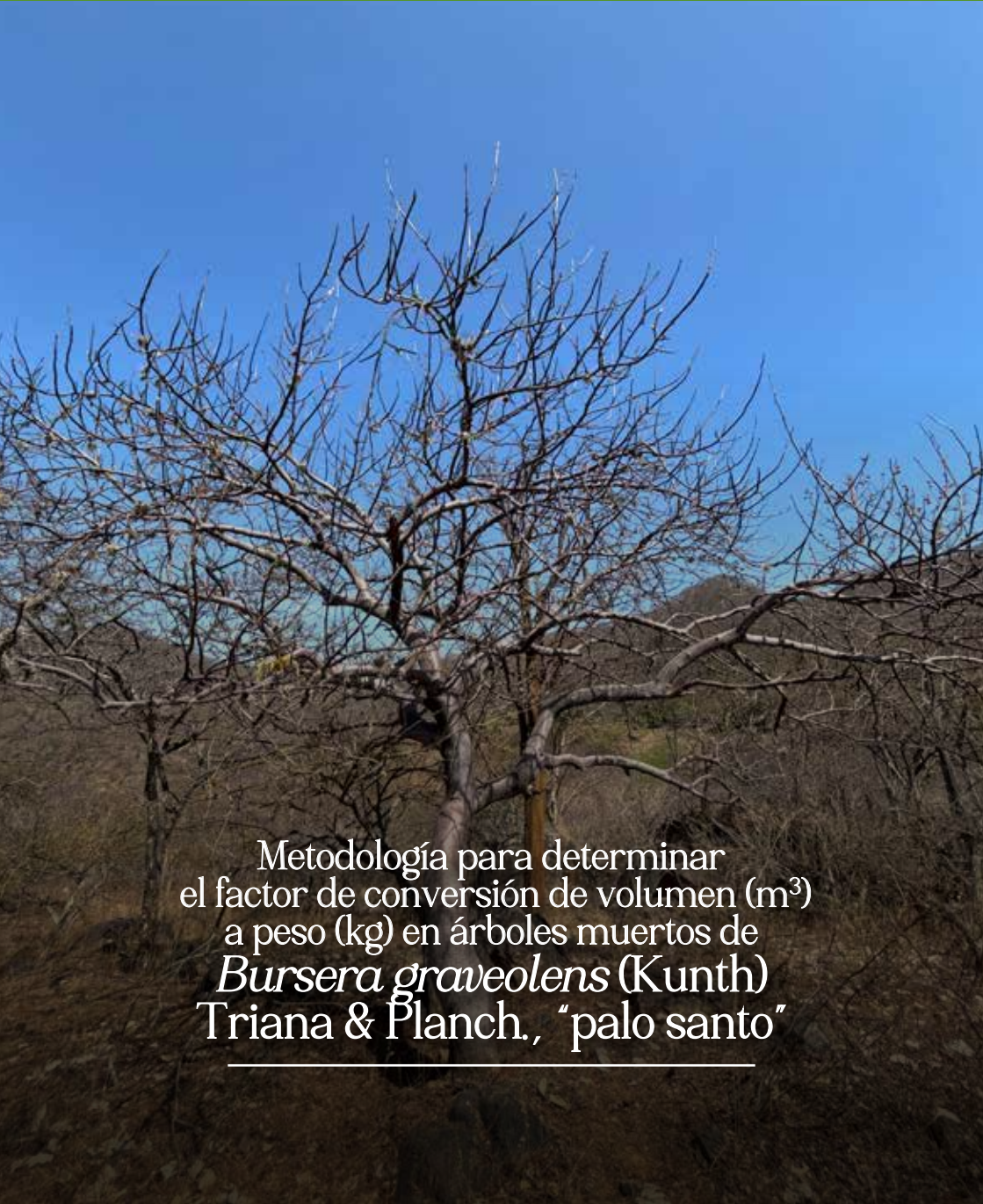




Metodología para determinar
el factor de conversión de volumen (m^3)
a peso (kg) en árboles muertos de
Bursera graveolens (Kunth)
Triana & Planch., “palo santo”



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

SERFOR

Servicio
Nacional
Forestal y
de Fauna
Silvestre

Metodología para determinar el factor de conversión de volumen (m³) a peso (kg) en árboles muertos de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch., “palo santo”

MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO

Ministro de Desarrollo Agrario y Riego Felipe
César Meza Millán

Viceministro de Políticas y Supervisión del
Desarrollo Agrario
Jorge Luis Sáenz Rabanal

Viceministro de Desarrollo de Agricultura
Familiar e Infraestructura Agraria y Riego
Orlando Hernán Chirinos Trujillo

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
(SERFOR)

Director Ejecutivo
Desiderio Erasmo Otárola Acevedo

Dirección General de Política y Competitividad
Forestal y de Fauna Silvestre (DGPCFFS)
Director General

Víctor Hugo Huaman Tarmeño

Dirección de Estudios e Investigación (DEI)
Directora

Fabiola Adela Carreño Villar

Dirección de Política y Regulación
Director

Elmer Medina Landa

Administración Técnica Forestal y de Fauna
Silvestre Piura (ATFFS) Piura
Administrador técnico

Roberto Félix Fernández Zavaleta

Especialista de la DEI
William Nauray Huari

Organismo de Supervisión de los Recursos
Forestales y de Fauna Silvestre (OSINFOR)
Jefe del OSINFOR

Williams Arellano Olano

Profonanpe

Equipo colaborador

Nelly Esther Pilco Díaz
Natan Melquisedec Aguilar Calderón
Winson Ramírez Lequernaque
Danny Oswald Peñaloza Macha
Fredy Iván Palas Yacila
Ronald Senin Chancasampa Medina
Wendy Jahaira Lomas Bustos
Boris Eduardo Villa Zegarra

Colaborador técnico

Ralph Brayans Callalli Crisanto

Fotografías

Ralph Brayans Callalli Crisanto

© Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
(SERFOR)

Av. Javier Prado Oeste N° 2442

Urb. Oarrantia, Magdalena del Mar, Lima - Perú.

Teléfono: (511) 225-9005

www.gob.pe/serfor

informes@serfor.gob.pe

Primera edición, junio 2026

Versión Digital

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional
del Perú N°: 2026-06278

ISBN: 978-612-5116-20-8

Agradecimientos

Comunidad Campesina Túpac Amaru de
Anchalay, distrito de Jilili, provincia de Ayabaca,
región de Piura

Comunidad Campesina San Juan de Mamayaco,
distrito de Salitral, provincia de Morropón, región
de Piura

Referencia sugerida

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre y
Organismo de Supervisión de los Recursos
Forestales y de Fauna Silvestre. (2026).
Metodología para determinar el factor de
conversión de volumen (m³) a peso (kg) en
árboles muertos de *Bursera graveolens* (Kunth)
Triana & Planch., “palo santo”.

GLOSARIO

ATFFS. Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre

Bes-cm. Bosque estacionalmente seco de colina y montaña

CR. En Peligro Crítico

EN. En peligro

EE. Estaciones de evaluación

V. Vulnerable

DEI. Dirección de Estudios e Investigación

DEMA. Declaración de manejo forestal

IGF. Instrumento de Gestión Forestal

FA. Factor aprovechable del árbol

FC. Factor de conversión de volumen (m³) a peso (kg)

MC. Condición del árbol muerto caído

MP. Condición del árbol muerto en pie

OSINFOR. Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre

PMFI. Plan de Manejo Forestal Intermedio

SERFOR. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre

Z. Valor de Z según el intervalo de confianza (IC)

CV. Coeficiente de variabilidad esperado

E_{rel}. Error relativo



"Comunidad Campesina Tupac Amaru de Anchalay"

Jilili, Ayabaca, Piura

Especie: *Bursera graveolens*

Nombre común: "palo santo"

1 INTRODUCCIÓN

La especie forestal nativa palo santo (*Bursera graveolens*) posee una alta importancia económica y social para las comunidades locales y otros actores vinculados a su cadena productiva, quienes aprovechan este recurso proveniente de los bosques secos del norte del Perú. A partir de esta se obtienen diversos productos, como sahumerios y aceites esenciales, repelentes de insectos, así como otros subproductos destinados a la aromaterapia (medicina natural) y a la industria cosmética (Suárez, 2025).

No obstante, el ecosistema en el que se desarrolla la especie enfrenta una fuerte presión antrópica asociada a la tala y extracción ilegal, así como a la pérdida, fragmentación y degradación de los bosques secos del norte del país. Estas amenazas están relacionadas principalmente con el cambio de uso de la tierra, los incendios forestales y el sobrepastoreo. En este contexto, según la geodata de la plataforma Geobosques se estima que entre los años 2019 y 2021 se perdieron 16 888 ha de bosque seco en Piura, 506 ha en Tumbes, 4280 ha en Lambayeque, 216 ha en La Libertad y 909 ha en Cajamarca, lo que representa una pérdida total de 22 799 ha para dicho periodo (Minam, 2026).

El manejo forestal de *Bursera graveolens* presenta condiciones particulares debido a su estado de amenaza. Actualmente, la especie se encuentra categorizada como En Peligro Crítico (CR) según la normativa nacional vigente¹. En consecuencia, su aprovechamiento se encuentra restringido y solo es permitido bajo esquemas de manejo forestal sostenible, mediante instrumentos de gestión como la Declaración de Manejo (DEMA) y el Plan de Manejo Forestal Intermedio (PMFI). Dichos instrumentos autorizan exclusivamente el aprovechamiento de individuos muertos de manera natural, ya sea en pie o caídos, así como la recolección de ramas y rastrojos². En este marco, uno de los principales desafíos técnicos radica en la determinación del factor de conversión de volumen (m³) a peso (kg) del material aprovechable, conocido como “factor de conversión”, considerando que comercialmente solo se utiliza el duramen de la madera.

Así mismo, los instrumentos de gestión actualmente vigentes (DEMA y PMFI) no contemplan valores referenciales ni procedimientos estandarizados para el cálculo del factor de conversión. Esta ausencia metodológica ha generado que titulares, regentes forestales y entidades responsables de la gestión del recurso empleen factores y métodos de cálculo heterogéneos, que no necesariamente reflejan las características reales del aprovechamiento del palo santo y que, en algunos casos, podrían conducir a la sobreestimación del material extraído de los bosques.

En respuesta a esta problemática, el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Serfor), a través de la Dirección de Estudios e Investigación (DEI) y la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre (ATFFS) Piura, en coordinación con el Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (Osinfor), y con el apoyo del Profonape elaboró la presente metodología, la cual comprende un conjunto de técnicas y procedimientos organizados para obtener un valor técnico confiable que permita transformar el volumen (m³) a peso (kg) de material aprovechable de la especie *Bursera graveolens*.

¹Decreto Supremo N° 043-2006-AG, se aprueba la Categorización de Especies Amenazadas de Flora Silvestre.

²Resolución de Dirección Ejecutiva N° D0061-2023-MIDAGRI-SERFOR-DE, se aprueba los “Lineamientos para la elaboración de la declaración de manejo para el aprovechamiento forestal maderable en bosques secos”.



"Comunidad Campesina Tupac Amaru de Anchalay"
Jilili, Ayabaca, Piura

2 OBJETIVO

Establecer las técnicas y procedimientos organizados para la determinación del factor de conversión de volumen a peso para el palo santo (*Bursera graveolens*).

3 ALCANCE

Ofrecer las herramientas técnicas a las instituciones de gestión e investigación a fin de que se aplique la metodología propuesta para determinar el factor de conversión de volumen a peso de *Bursera graveolens* “palo santo” en los bosques secos del norte del país, con el fin de contribuir en su aprovechamiento sostenible.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 GENERALIDADES DE LA ESPECIE

Bursera graveolens (Kunth) Triana & Planch., es una especie arbórea que pertenece a la familia Burseraceae y es propia de los bosques tropicales estacionalmente secos del Pacífico sudamericano. En el Perú es conocida comúnmente como palo santo, y su distribución natural comprende principalmente los departamentos de Piura, Tumbes y Lambayeque, con presencia además en áreas específicas de Cajamarca y La Libertad (Guerra, 2013; Puentes et al., 2023).

La especie muestra una marcada adaptación a condiciones semiáridas, suelos poco profundos, rocosos y pobres en nutrientes, en climas con alta estacionalidad, lo que la convierte en un componente estructural y funcional relevante dentro de los ecosistemas de bosque seco del norte del país, contribuyendo a la estabilidad ecológica y a la provisión de servicios ecosistémicos en estas zonas (Puentes et al., 2023; Guerra, 2013). Su rango de distribución altitudinal aproximado varía desde los 350 - 400 a 1350 - 2000 m s.n.m., sobre pendientes pronunciadas que fluctúan entre 25 y 50 % (Guerra, 2013; Minam, 2019).

Desde el punto de vista morfológico, *Bursera graveolens* es un árbol caducifolio de hojas compuestas que puede alcanzar entre 8 a 15 m de altura y un diámetro de hasta 50 cm (sin ser limitativo). Presenta un tallo de apariencia lisa y color grisáceo, el cual libera resinas aromáticas al sufrir cortes o abrasiones (Ramírez Céspedes, 2023).

La madera resinosa de *Bursera graveolens* es ampliamente utilizada para la obtención de aceites esenciales, debido a su aroma agradable de notas cítricas y su coloración dorada característica. Estos aceites son empleados principalmente en la industria farmacéutica y cosmética, así como en productos aromáticos y terapéuticos (Manzano, 2018). Diversos estudios han demostrado propiedades antioxidantes, antibacterianas, antivirales, antimicóticas, antiinflamatorias y anticancerígenas, asociadas a la presencia de compuestos en su composición química (Eugenio, 2014; Manzano, 2018).

Tradicionalmente el duramen seco ha sido aprovechado por sus características organolépticas como el olor dulce y balsámico (Sánchez et al. 2006; Yukawa et al. 2006 citado por Carrión, 2016), en tal sentido, el reconocimiento de los individuos aprovechables en campo se realiza principalmente a través de las características organolépticas del duramen como el olor y color.

Cuadro 1. Propiedades organolépticas de la madera de *Bursera graveolens*.

Propiedad organoléptica	Características	Fuente
Olor	El aroma que emiten los productos de impregnación es notablemente más fuerte en la madera verde que en la madera seca. Además, esta fragancia se intensifica en el duramen en comparación con la albura, y se hace más prominente en las superficies que han sido recién cortadas. Es fundamental tener cuidado al emplear el olor como un criterio de identificación, ya que resulta difícil definirlo con precisión	Maldonado, 2024
Color	El color es el rasgo más distintivo al observar la madera, y esto se debe a la presencia de sustancias xilócromas, como resinas, gomas y taninos, que se encuentran en el interior de las células. Al examinar las secciones transversales, es posible identificar dos áreas claramente diferenciadas por su color. La albura, que se sitúa en la parte exterior, es la más joven; mientras que el duramen, que posee una tonalidad más oscura, se encuentra en el centro. Es interesante destacar que el color del duramen recién cortado difiere del de la madera que ya ha sido secada	Maldonado, 2024

4.2 DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE

La especie *Bursera graveolens* se distribuye principalmente en el ecosistema de Bosque estacionalmente seco de colina y montaña (Bes-cm), el cual es un ecosistema semiárido, con precipitación estacional diferenciada [estación seca: mayo-octubre y estación húmeda: noviembre-abril; sin embargo, la estación seca puede tener una mayor extensión de meses desplazando la estación húmeda a solo 4 meses eventualmente], la altura máxima relativa de las colinas pueden estar entre 30 a 180 metros (pendientes entre 15 a 80%), mientras que las montañas con alturas máximas relativas de 300 metros (pendientes mayores a 50%), el rango altitudinal oscila entre 400 a 2000 metros y se encuentra en los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad (Minam, 2019); no obstante también se tienen registros en Cajamarca (Guerra, 2013; Puentes et al., 2023).

Las especies más representativas registradas en este ecosistema son: *Eriothea Ruizii* "Pasallo", *Bursera graveolens* "Palo santo", *Loxopterigium huasango* "Hualtaco", *Ceiba trichistandra* "Ceibo", *Terminalia valverdae* "Huarapo", *Cochlospermum titifolium* "Polo-polo", *Erythrina smithsiana* "Porotillo", entre otras especies caducifolias (Minam, 2019).

4.3 APROVECHAMIENTO DE LA ESPECIE Y NORMATIVA

En el contexto peruano, el aprovechamiento de la especie se encuentra regulado por el marco normativo forestal vigente. En ese sentido, la Ley N.º 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre, junto con sus reglamentos, dispone que el aprovechamiento de especies forestales (como *Bursera graveolens*) debe realizarse exclusivamente bajo planes de manejo forestal aprobados.

De acuerdo con los "Lineamientos para la elaboración de la declaración de manejo para el aprovechamiento forestal maderable en bosques secos³", en relación a *Bursera graveolens* "palo santo" se debe considerar lo siguiente:

³Resolución de Dirección Ejecutiva N.º D0061-2023-MIDAGRI-SERFOR-DE

• “Cuando se requiera el aprovechamiento de la especie *Bursera graveolens* (palo santo) se debe contar con los resultados del censo de árboles vivos y árboles muertos. Igualmente se debe tener en cuenta lo dispuesto en el Decreto Supremo N.º 043-2006-AG, que aprueba la Categorización de Especies Amenazadas de Flora Silvestre, que establece restricciones de aprovechamientos para ciertas especies de flora categorizadas como peligro crítico (CR), en peligro (EN) y vulnerable (V). En ese sentido, el aprovechamiento del palo santo se restringe a los especímenes muertos y a los desechos y/o rastrojos como resultado de las podas de formación, sanitarias y renovación de follaje”.

• Asimismo, en el lineamiento, se incluye un “Modelo de presentación de la relación de productos forestales maderables aprovechables: árboles en pie vivos; árboles en pie muertos, caídos naturalmente; ramas; rastrojos u otros”.

Cuadro 2. Modelo de presentación de la relación de productos forestales maderables aprovechables

Nombre común/científico (ejemplo)	N° de árboles en pie (vivos)	N° de árboles muertos caídos naturalmente (aprovechable)	N° de árboles en pie secos (aprovechable)	Tipo de producto a ser aprovechado (troncos, ramas, rastrojos)	Unidad de medida (*)	Total (m³) (kg) (m³, kg)
Ejemplo: Palo Santo <i>Bursera graveolens</i>						

(*) Se debe determinar la relación entre peso y volumen, teniendo en cuenta que un estéreo es igual a 0.65 m³, para fines de control

Por lo tanto, para el caso, de *Bursera graveolens*, se considera aprovechable a los:

- » Árboles muertos caídos naturalmente,
- » Árboles en pie secos,
- » Troncos, ramas, rastrojos.

4.4 INFORMACIÓN SOBRE PARÁMETROS DASOMÉTRICOS DE LA ESPECIE

Estudios realizados en Ecuador y Perú, muestran patrones variados en densidad, diámetro y altura de los individuos de *Bursera graveolens*, influenciados por factores ambientales y actividades humanas.

En Loja, Ecuador, Benítez et al. (2023) registraron una densidad promedio de 24 individuos por hectárea de *Bursera graveolens* y un diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio de 31.9 cm. La distribución diamétrica no presentó la típica curva en forma de “J” invertida, indicando un predominio de individuos de mayor tamaño y una posible disminución poblacional. Se indica que el patrón es atribuido principalmente al pastoreo caprino, que afecta la regeneración natural de la especie.

De manera similar, Aguirre y Cabrera (2021) reportaron que en el sector de Malvas, Ecuador, la mayoría de los individuos se concentraba en un rango de diámetro de 22.60 a 25.74 cm de DAP, predominando árboles adultos y con regeneración natural limitada. Se indica evidencia que las actividades antrópicas, como el pastoreo y la recolección de frutos, están afectando la supervivencia de los brinzales, comprometiendo así el incremento poblacional. La densidad estimada en este estudio fue de 119 individuos/ha, valor inferior al registrado por Guerra (2013) en el cerro “Garabo”, Morropón, Piura, donde se reportaron 358 árboles/ha, con predominancia de individuos jóvenes y medianos, DAP promedio de 20 cm y diámetro máximo de 75 cm. En este último caso, la distribución diamétrica mostró que los valores más frecuentes se concentran entre 10 y 25 cm, mientras que los individuos con diámetros mayores son escasos.

Respecto a las características de crecimiento, Aguirre (2012) señala que la especie puede alcanzar hasta 12 m de altura y 40 cm de DAP (sin ser limitativo), mientras que un estudio reciente de Tinoco (2024) en áreas de la Universidad Nacional de Tumbes describió la estructura por estratos: brinzales con altura promedio de 0.21 m y diámetro a la altura del cuello (DAC) de 1.54 cm; latizales bajos con altura de 0.63 m y DAC de 2.16 cm; latizales altos con altura promedio de 2.28 m y DAP de 7.79 cm; y fustales con un solo individuo registrado de 3.23 m de altura y 35.33 cm de DAP. El estudio evidenció que la ganadería y la deforestación impactan principalmente a los brinzales y latizales bajos, mientras que la tala ilegal afecta sobre todo a los latizales altos y, en menor medida, a los fustales.

4.5 FACTOR DE CONVERSIÓN EN CASOS EN PLANES DE MANEJO

Para obtener información de los métodos y/o valores de factor de conversión, se revisaron 22 instrumentos de gestión forestal, correspondiente a ocho DEMA y 14 PMFI. De la revisión se evidencia que no existe un valor estándar del factor de conversión registrado por cada uno de los planes de manejo. Por otro lado, la metodología para el cálculo del factor de conversión ha sido variable. Se ha reportado casos en los que solo se ha citado o colocado el valor específico, mostrándose una variabilidad amplia de valores en los planes de manejo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Antecedentes de factores de conversión utilizados en planes de manejo de *Bursera graveolens*.

N°	Nombre	IGF	Año	Total	MP	MC	Otros	Área (ha)	Vol (m³)	Peso (kg)	FC Calc.	FC Reg.	Método	Departamento	Provincia	Distrito
1	Persona Natural - Caserio San Carlos	DEMA	2020	279.55	NE	NE	NE	108.05	NE	20 239.44	NSPC	72.66	Pesaje directo	Cajamarca	Chota	Llama
2	Persona Natural - Caserio San Carlos	DEMA	2021	523.40	NE	NE	NE	89.50	NE	50 434.40	NSPC	96.36	Pesaje directo	Cajamarca	Chota	Llama
3	Persona Natural - Caserio San Carlos	DEMA	2022	98.00	NE	NE	NE	87.60	23.01	13 739.85	597.00	NE	NE	Cajamarca	Chota	Llama
4	Persona Natural - Caserio San Carlos	DEMA	2022	79.00	NE	NE	NE	89.53	NE	11 148.40	NSPC	141.12	Pesaje directo	Cajamarca	Chota	Llama
5	Comunidad Campesina Arrepipte-Pirigola	PMFI	2023	1 263.00	517.00	741.00	5.00	709.32	471.69	NE	NSPC	NE	NE	Piura	Ayabaca	Ayabaca
6	Comunidad Campesina Jorlas	PMFI	2024	301.00	NE	NE	NE	102.59	73.95	34 817.87	470.83	470.83	Muestreo	Piura	Ayabaca	Ayabaca
7	Comunidad Campesina Chocán	PMFI	2022	3 622.00	2538.00	NE	747.00	1588.00	431.91	219 004.91	507.06	478.50	NE	Piura	Ayabaca	Ayabaca
8	Comunidad Campesina Juan Alvarado de Chilique Alto	DEMA	2013	59.00	25.00	26.00	26.00	19.48	21.26	9 992.20	470.00	470.00	NE	Piura	Ayabaca	Chulucanas
9	Comunidad Campesina Tupac Anarú de Anchañay	PMFI	2023	1 747.00	586.00	174.00	642.00	1014.39	543.03	265 115.68	488.22	478.50	NE	Piura	Ayabaca	Jilili
10	Comunidad Campesina Tulumancito	PMFI	2023	833.00	NE	NE	NE	377.02	109.14	51 235.80	470.00	470.00	NE	Piura	Ayabaca	Pacajampa
11	Cooperativa Agraria de Usuarios San José del Quiroz	PMFI	2023	2 541.00	NE	NE	NE	5056.76	428.85	201 559.00	470.00	470.00	Muestreo	Piura	Ayabaca	Paimas
12	Comunidad Campesina Yacila de Zamba	DEMA	2024	394.00	301.00	93.00	0.00	99.01	72.67	34 516.96	475.00	475.00	NE	Piura	Ayabaca	Paimas
13	Comunidad Campesina Timbes - Pampas Verdes	DEMA	2023	96.00	NE	NE	NE	8.93	9.53	4 826.90	506.60	460.51	Muestreo	Piura	Ayabaca	Sapillica
14	Comunidad Campesina Timbes - Pampas Verdes	DEMA	2022	566.00	238.00	NE	328.00	92.67	60.05	28 551.40	475.50	475.70	Estereo rastrosjos	Piura	Ayabaca	Suyo
15	Comunidad Campesina Abad Bernu Gonzaga De San Pedro	PMFI	2024	341.00	NE	NE	NE	122.20	127.58	NE	NSPC	470.70	NE	Piura	Morropón	Chulucanas
16	Comunidad Campesina San Juan De Manayaco	PMFI	2024	486.00	99.00	352.00	35.00	1,656.18	162.57	NE	NSPC	470.70	NE	Piura	Morropón	Salitral
17	Comunidad Campesina San Santa Catalina De Moza	PMFI	2023	516.00	NE	NE	NE	353.20	133.55	60 996.29	456.73	456.73	NE	Piura	Morropón	Santa Catalina de Moza
18	Comunidad Campesina San Santa Catalina De Moza	PMFI	2022	513.00	NE	NE	NE	221.98	47.23	21 571.36	456.73	456.73	Muestreo	Piura	Morropón	Santa Catalina de Moza

N°	Nombre	IGF	Año	Total	MP	MC	Otros	Área (ha)	Vol (m³)	Peso (kg)	FC Calc.	FC Reg.	Método	Departamento	Provincia	Distrito
19	Comunidad Campesina Smiris	PMFI	2025	774.00	NE	NE	NE	662.29	351.56	NE	NSPC	470.00	NE	Piura	Morropón	Santo Domingo
20	Cooperativa de Servicios Especiales Ganadera Pichontes Las Lomas Ltda	PMFI	2024	553.00	289.00	264.00	Incluidos en MC	329.72	125.55	55 243.84	440.02	440.00	Muestreo	Piura	Piura	Las Lomas
21	Comunidad Campesina Romeros	PMFI	2022	1 174.00	NE	NE	NE	1 089.21	91.90	41 973.48	456.73	456.73	Muestreo	Piura	Sullana	Lancones
22	Comunidad Campesina Tunal - Zapallal	PMFI	2023	2 493.00	501.00	1992.00	Incluidos en MC	468.02	99.65	44 091.43	470.81	470.81	Muestreo	Piura	Tambogrande	Cartero - Zapallal

Leyenda:

IGF: Instrumento de Gestión Forestal

MP: Número de árboles en condición de Muerto en pie (seco)

MC: Número de árboles en condición de Muerto caído

Otros: Número de árboles en condición de Ramas y rastrojos

FC Calc.: Factor de conversión calculado

FC Reg. Factor de conversión registrado

NE: No específica

NSPC: No se puede calcular



"Comunidad Campesina San Juan de Mamayaco"

Salitral, Morropón, Piura

Especie: *Bursera graveolens*, *Caesalpinia paipai* y otras especies.

Nombre común: "palo santo", "charán" y otras especies.

5 ALCANCE METODOLÓGICO

5.1 CRITERIOS TÉCNICOS

Se consideran los siguientes criterios para el desarrollo de la metodología:

- a) Para determinar un árbol muerto, los indicadores iniciales a utilizar son:
 - Desprendimiento de la corteza externa por la pudrición natural del árbol.
 - Presencia de termitas conocidas localmente como “comegen”.

b) Material para mediciones (volumen/peso): La metodología se aplicará solo a individuos aprovechables en condiciones de: árboles muertos caídos (MC) y árboles muertos en pie (MP), en tal sentido, la condición aprovechable está determinada por la presencia del duramen con características organolépticas resaltantes como el olor y la coloración entre amarillo y marrón.

• Árboles muertos caídos (MC)

Son aquellos que por la propia descomposición del árbol y/o acción de los vientos fuertes se encuentran parcial o completamente caídos sobre el suelo. Estos pueden encontrar en diferentes etapas de descomposición; en consecuencia, la proporción aprovechable dependerá del estado del individuo (Figura 1 y 2).



Figura 1.
Árbol muerto caído en etapa temprana de descomposición.



Figura 2.
Árbol muerto caído en etapa avanzada de descomposición.

• Árboles muertos en pie (MP)

Son aquellos en los que se reconoce una descomposición avanzada notándose el desprendimiento de la corteza externa, caída de ramas, ausencia de copa y/o exposición del leño del individuo, estos mantienen aún la conexión de las raíces con el suelo (Figura 3 y 4).



Figura 3.
Árbol muerto pie en etapa temprana de descomposición.



Figura 4.
Árboles muertos pie en etapa avanzada de descomposición.

c) La medición de parámetros (longitud, diámetro, peso y contenido de humedad) estará condicionada al tipo de individuo encontrado:

- › Parcialmente aprovechable. Se realizará la medición de los parámetros a nivel de la albura y el duramen (Figura 5).
- › Totalmente aprovechable. Se realizará la medición de los parámetros a nivel del duramen (Figura 6).



Figura 5.
A. Sección transversal de árbol muerto con proporción de albura y duramen.
B. Acercamiento de la sección aprovechable (duramen).



Figura 6.
Variabilidad de color e intensidad de las secciones aprovechables de "palo santo", **A.** Coloración intensa; **B.** Coloración con menor intensidad

d) La metodología no contempla las mediciones de rastrojos, debido a aspectos como:

- › Inaplicabilidad de fórmulas volumétricas directas,
- › heterogeneidad en las formas del material.

Cabe señalar que, para el cálculo del volumen y la obtención de su factor de conversión de volumen a peso, se utiliza métodos de cálculo indirectos, como el método del estéreo (Puescas et al., 2023). Respecto a este punto, y debido a las características de aprovechamiento de la especie, se plantea recomendaciones técnicas para la evaluación de los rastrojos (Numeral 9 del presente documento).

5.2 MUESTREO

El diseño se enmarca en el muestreo aleatorio estratificado, donde la población de estudio se separa en grupos o estratos (ejemplo, por ecosistemas, ubicación de planes de manejo, agrupación de registros por departamentos) y luego se procede a través de un muestreo al azar simple (Mostacedo & Fredericksen, 2000).

Para la definición del tamaño de la muestra se utilizó la expresión de Cochran (1977):

$$n = \left(\frac{Z \cdot CV}{E_{rel}}\right)^2$$

n = Número de muestra requerido, Z = Valor de Z según el Intervalo de confianza (IC), CV = Coeficiente de variabilidad esperado y E_rel = Error relativo

Esta fórmula es recomendada para estimar parámetros poblacionales cuando las variables de interés presentan alta variabilidad (peso, volumen, variabilidad interespecífica de parámetros, entre otras) y no se dispone de información previa confiable sobre la varianza poblacional (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resumen de diseño muestral (estratos identificados) y unidades muestrales por estrato.

Categoría	Tipo	Muestra	Supuestos
Estrato	Cuadrículas	11	CV: 30%, E_{rel} : 15% y IC: 90% (Z=1.645)
Árboles totalmente aprovechables	Unidad muestral (árbol)	11	CV: 30%, E_{rel} : 15% y IC: 90% (Z=1.645)
Árboles parcialmente aprovechables	Unidad muestral (árbol)	11	CV: 30%, E_{rel} : 15% y IC: 90% (Z=1.645)

Siendo 11 unidades muestrales para cada categoría (totalmente aprovechable y parcialmente aprovechable), en 11 cuadrículas distribuidas en el norte del país. Por tanto, el número total de la muestra es de 242 árboles (121 por cada categoría resultado de 11*11).

5.3 UNIDAD MUESTRAL

La unidad de muestra corresponde a un árbol muerto aprovechable de *Bursera graveolens*. Esta unidad se define por sus características en dos categorías, de acuerdo al siguiente detalle (Cuadro 5).

Cuadro 5. Definición de unidad muestral.

Categoría	Definición	Figura referencial
Árboles totalmente aprovechables	Son individuos generalmente con una longitud mayor a un metro de longitud, principalmente se encuentran con un contenido de humedad a nivel de la humedad relativa ambiente, pues ha transcurrido tiempo suficiente para que la sección no aprovechable (albura) logre desprenderse o desintegrarse en su totalidad o mayoría. Alta probabilidad de que los individuos se encuentren con mayor frecuencia en estado muerto caído.	 Figura 7. Árbol totalmente aprovechable
Árboles parcialmente aprovechables	Son individuos generalmente con una longitud mayor a dos metros de longitud, principalmente se encuentran con un contenido de humedad mayor a los árboles totalmente aprovechables, pues su grado de descomposición es bajo y se logra distinguir la proporción aprovechable (duramen) y no aprovechable (albura). Alta probabilidad que los individuos se encuentren con mayor frecuencia en estado muerto en pie.	 Figura 8. Árbol parcialmente aprovechable

5.4 DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA

Se realizó a través del uso del software ArcMap teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

a) Títulos habilitantes donde se ubica la especie

Se realizó la espacialización de los títulos habilitantes con la ubicación de los planes de manejo proporcionados por la DEI del Serfor de *Bursera graveolens*. Esta información incluye 18 planes en la región de Piura y 4 planes en la región de Cajamarca.

Considerando que el rango de distribución natural de *Bursera graveolens* está vinculado a los Bosques Estacionalmente Secos de Colina y Montaña (Bes-cm), se incorporaron al análisis los departamentos de Tumbes y Lambayeque, para estos departamentos se emplearon dos estrategias complementarias: una revisión bibliográfica especializada y la delimitación de áreas potenciales mediante el mapeo de la cobertura de Bes-cm. Esta integración garantiza una representatividad geográfica total del recurso dentro del ecosistema de bosque seco.

Cuadro 6. Ubicación de planes de manejo de palo santo proporcionado por la DEI, Serfor (2025).

N°	Nombre de titular	Departamento	Provincia	Distrito
1	Comunidad Campesina Timbes - Pampas Verdes	Piura	Ayabaca	Sapillica
2	Comunidad Campesina Arreipite Pingola	Piura	Ayabaca	Ayabaca
3	Comunidad Campesina Túpac Amaru de Anchalay	Piura	Ayabaca	Jililí
4	Comunidad Campesina Tulumancito	Piura	Ayabaca	Pacaipampa
5	Cooperativa Agraria de Usuarios San José Del Quiroz	Piura	Ayabaca	Paimas
6	Comunidad Campesina Tunal - Zapallal	Piura	Tambogrande	Tambogrande
7	Cooperativa de Servicios Especiales Ganadera Pichones Las Lomas	Piura	Piura	Las Lomas
8	Comunidad Campesina Abad Berry Gonzaga de San Pedro	Piura	Morropón	Chulucanas
9	Comunidad Campesina Santa Catalina de Mosa	Piura	Morropón	Santa Catalina de Mosa
10	Comunidad Campesina San Juan de Mamayaco	Piura	Morropón	Salitral
11	Comunidad Campesina Joras	Piura	Ayabaca	Ayabaca
12	Comunidad Campesina Chocán	Piura	Ayabaca	Ayabaca
13	Comunidad Campesina Juan Velasco Alvarado de Chililique Alto	Piura	Ayabaca	Chulucanas
14	Comunidad Campesina Santa Catalina de Mosa	Piura	Morropón	Santa Catalina de Mosa
15	Comunidad Campesina Pampa Larga	Piura	Ayabaca	Suyo
16	Comunidad Campesina Romero	Piura	Sullana	Lancones
17	Comunidad Campesina Yacila de Zamba	Piura	Ayabaca	Paimas
18	Comunidad Campesina Simiris	Piura	Morropón	Santo Domingo
19	Persona Natural - Caserío San Carlos	Cajamarca	Chota	Llama
20	Persona Natural - Caserío San Carlos	Cajamarca	Chota	Llama
21	Persona Natural - Caserío San Carlos	Cajamarca	Chota	Llama
22	Persona Natural - Caserío San Carlos	Cajamarca	Chota	Llama

Fuente: Información sistematizada por la DEI (2025)

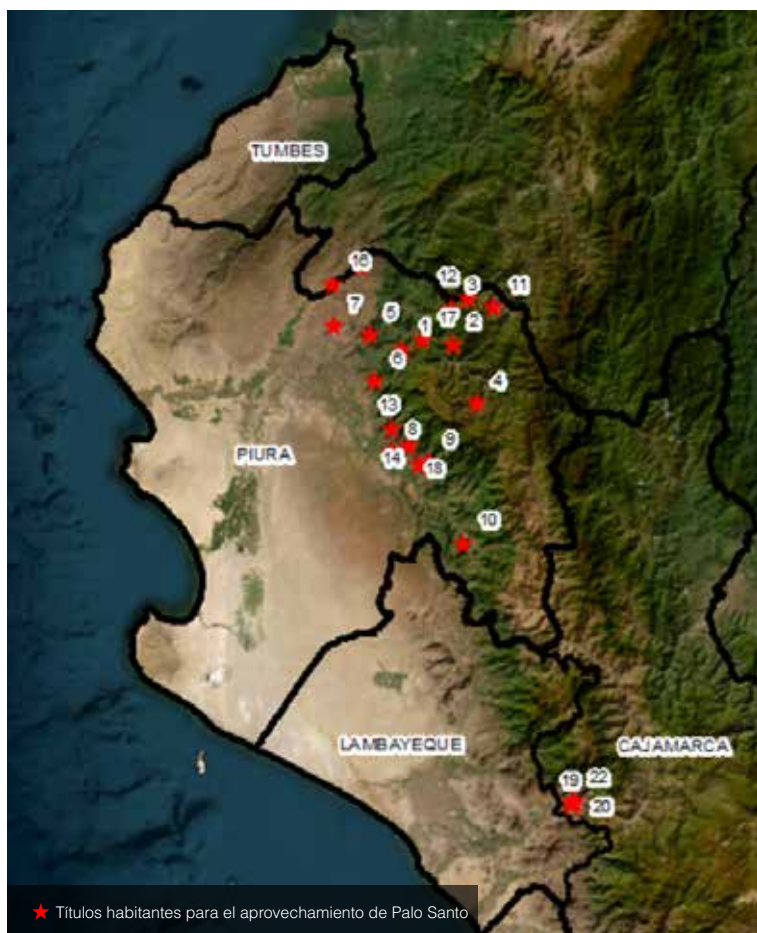


Figura 9.

Mapa de distribución de planes de manejo para el aprovechamiento de *Bursera graveolens*, Fuente (SERFOR – DEI, 2025).

b) Identificación de ecosistema asociado al recurso

Se procedió a superponer la capa de Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (Minam, 2019), con ello se logró identificar que los títulos habilitantes y sus respectivos planes de manejo para el aprovechamiento de *Bursera graveolens*, predominantemente (100%) se ubican en ecosistemas “Bosque estacionalmente seco de colina y montaña” (Figura 10).

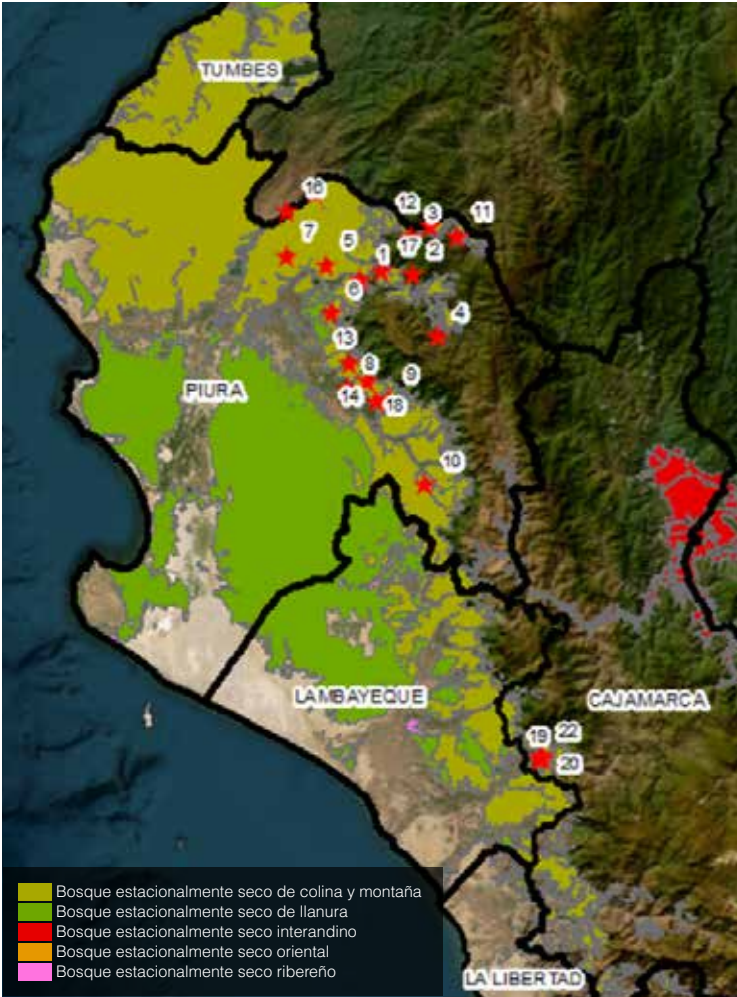


Figura 10. Mapa de distribución del Bosque estacionalmente seco en la región norte (Tumbes, Piura, Lambayeque y Cajamarca) y la ubicación de los planes de manejo de *Bursera graveolens*.

c) Definición de ámbitos de evaluación a nivel departamental

Se procedió a definir ámbitos departamentales, según el tamaño de la superficie del ecosistema Bosque estacionalmente seco de colina y montaña (Bes-cm) y la concentración de planes de manejo. En ese sentido, la mayor proporción de superficie de Bes-cm, y ubicación de planes de manejo se encuentran en la región de Piura. En el caso de las regiones de Cajamarca y Lambayeque, se agrupó a los mismos para tener una superficie suficiente de muestreo, considerando además que la ubicación de planes de manejo se encuentra cerca al límite de ambas regiones.

De esta manera se logró identificar tres ámbitos (estratos), donde se distribuyó la muestra: Estrato 1: Tumbes, Estrato 2: Piura y Estrato 3: Cajamarca y Lambayeque.

La estratificación de la muestra responde a la necesidad de capturar y controlar las variaciones intraespecíficas que puede presentar *Bursera graveolens* en los parámetros a evaluar. Estas variaciones están fuertemente influenciadas por las condiciones edafoclimáticas, las cuales pueden generar diferencias significativas en la expresión de dichos parámetros. En ausencia de una adecuada estratificación, estas variaciones podrían introducir sesgos y limitar la interpretación de los resultados. En este sentido, la estratificación permite evaluar individuos bajo condiciones ambientales más homogéneas, asegurando que los valores registrados dentro de cada estrato sean representativos y comparables, y que las diferencias observadas respondan a la especie y no a variaciones asociadas a las condiciones de sitio.

d) Cuadrículas para evaluaciones de campo

Considerando los estratos, se establecieron cuadrículas donde se realizarán las evaluaciones para cumplir con el tamaño de muestra. De esta manera, a un intervalo de confianza (IC) de 90%, se requieren en total 11 cuadrículas para alcanzar el esfuerzo necesario. El detalle del diseño de cuadrículas se indica en los Anexos 1, 2 y 3.

Cuadro 7. Distribución de estaciones de evaluación

Estrato	Departamento	Área de Bes-cm (*) (ha)	Representatividad (%)	Cuadrículas o estaciones de evaluación
1	Tumbes	356 700.62	27%	3
2	Piura	556 288.81	42%	5
3	Cajamarca y Lambayeque	416 470.72	31%	3
TOTAL		1 329 459.39	100%	11

(*) El área de Bes-cm de los departamentos pueden diferir respecto al total presente en el mismo, pues en este análisis ha considerado solo el área de interés con mayor presencia de títulos habilitantes y/o antecedentes para el aprovechamiento de *B. graveolens*.

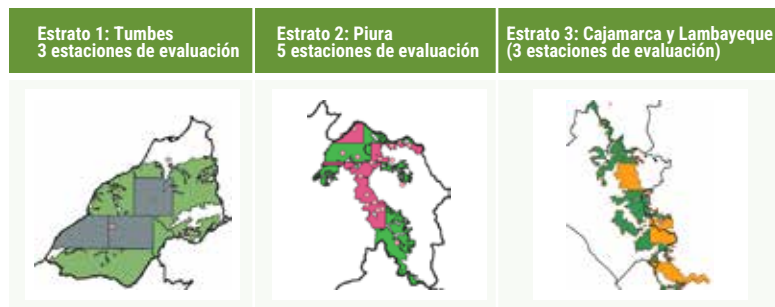
Dentro de cada cuadrícula, se ubicaron las Estaciones de Evaluación (EE) potenciales, de acuerdo a la información sistematizada de planes de manejo, estudios previos y/o áreas de comunidades campesinas con presencia de Bes-cm. Al respecto en el Cuadro 8 se detalla las EE potenciales para la evaluación del factor de conversión.

Cuadro 8. Estaciones de evaluación potenciales para el levantamiento de información

Est	Cuad.	Área de Cuad.(ha)	Estación de evaluación potenciales						Fuente
			Punto referencial	Distrito	Provincia	Zona	Este	Norte	
1	1	44 865	Locación en Canoas de Punta Sal	Canoas de Punta Sal	Contralmirante Villar	17S	517207	9561298	Centroide según ecosistema (Minam, 2019)
	2	44 865	Asociación de agricultores y ganaderos de la localidad de La Pampa –Quebrada Seca	Zorritos	Contralmirante Villar	17S	531742	9565627	PGMF (Puecas et al., 2023)
	3	44 865	Locación en San Jacinto	San Jacinto	Tumbes	17S	555628	9581179	Centroide según ecosistema (Minam, 2019)
2	1	51 800	A1. Comunidad Campesina Pampa Larga	Suyo	Ayabaca	17S	591244	9518958	DEMA
			A2. Comunidad Campesina Romero	Suyo	Ayabaca	17S	578212	9510786	PMFI
	2	54 808	A1. Comunidad Campesina Yacila de Zamba	Paimas	Ayabaca	17S	620160	9484933	DEMA
			A2. Comunidad Campesina Tupac Amaru de Anchalay	Jilili	Ayabaca	17S	633123	9499431	PMFI
			A3. Comunidad Campesina Joras	Ayabaca	Ayabaca	17S	653216	9499988	PMFI
	3	54 808	A1. Comunidad Campesina Timbes – Pampas Verdes	Sapillica	Ayabaca	17S	610727	9480659	PMFI
	4	54 808	A2. Comunidad Campesina Tunal - Zapallal	Tambogrande	Piura	17S	597991	9466030	PMFI
			A1. Comunidad Campesina Juan Velasco Alvarado de Chilique Alto	Chulucanas	Morropón	17S	605561	9444210	PMFI
	5	54 808	A2. Comunidad Campesina Simiris	Santo Domingo	Morropón	17S	613840	9436024	PMFI
			A1. Comunidad Campesina Abad Berru Gonzaga de San Pedro	Morropón	Morropón	17S	605338	9433148	PMFI
			A2. Comunidad Campesina Santa Catalina de Mosa	Morropón	Morropón	17S	617945	9427460	PMFI
3	1	57 586	A1. Comunidad Campesina San Mateo de Penachi	Salas	Lambayeque	17S	660883	9315240	Comunidad Campesina (Inei, 2017)
			A2. Comunidad Campesina Salas	Salas	Lambayeque	17S	661476	9309245	Comunidad Campesina (Inei, 2017)
			A3. Comunidad Campesina Chochope	Chochope	Lambayeque	17S	652008	9319399	Comunidad Campesina (Inei, 2017)
	2	57 666	A1. Caserio San Carlos (Persona a natural)	Llama	Chota	17S	690826	9260310	4 DEMA
			A2. Santa Catalina de Chongoyape	Oyotún	Chiclayo	17S	683459	9270658	Comunidad Campesina (Inei, 2017)
	3	57 586	A1. Comunidad Campesina San Gregorio	San Gregorio	San Miguel de Pallaques	17S	706441	9216970	Comunidad Campesina (Inei, 2017)

Legenda: Est: Estrato, Cuad: Cuadrilla, A(n): Alternativa de intervención, PGMF: Plan General de Manejo Forestal, PMFI: Plan de Manejo Forestal Intermedio y DEMA: Declaración de Manejo Forestal.

Por tanto, se identifica 20 EE potenciales, según la información previa de planes de manejo (DEMA y PMFI), estudios previos (Puecas et al., 2023), superposición con el ecosistema Bes-cm (Minam, 2019) e información del censo de comunidades campesinas (INEI, 2018). Para alcanzar el esfuerzo de muestreo, se evaluará 11 EE definitivas.

Cuadro 9. Resultado de la distribución de las estaciones de evaluación en los estratos.

6 MATERIALES E INSTRUMENTOS

Para el proceso de evaluación de los individuos se requerirá contar con instrumentos de medición e instrumentos de corte. Estos son detallados en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Materiales e instrumentos requeridos para la implementación de la metodología.

Tipo	Instrumento	Descripción
De medición	GPS	Para registro georreferenciado de la muestra.
	Cinta diamétrica	Necesaria para medir el diámetro de los individuos en estudio, en caso no se cuente con el mismo se puede hacer uso de un flexómetro o cinta métrica.
	Flexómetro	Necesario para medir la longitud de los individuos en estudio.
	Higrómetro de pines	Necesario para determinar la humedad relativa de los individuos en estudio.
	Balanza digital (Colgante)	Necesaria para realizar el pesaje en campo de las trozas o secciones respectivas.
De corte	Machete	Necesario para acceder a los individuos, así como, realizar la limpieza de las secciones aprovechables.
	Motosierra	Necesaria para trozar individuos muertos en pie que no son fáciles de seccionar.
	Lima circular y triangular	Necesaria para afilar los materiales de corte como machete y motosierra.
	Combustible, aceite de 2T y aceite lubricante	Necesario para el funcionamiento de la motosierra.



"Comunidad Campesina Tupac Amaru de Anchalay"

Jilili, Ayabaca, Piura

Nombre común: "palo santo"

Condición: Muerto aprovechable (ruma de tucos de duramen de palo santo)

7 APLICACIÓN METODOLÓGICA

La aplicación de la metodología sigue una secuencia lógica de procesos (Figura 11), que se resumen en 3 etapas: 1. Etapa de Planificación, 2. Etapa de Ejecución y 3. Etapa de Análisis, y que son presentadas en el siguiente flujograma:

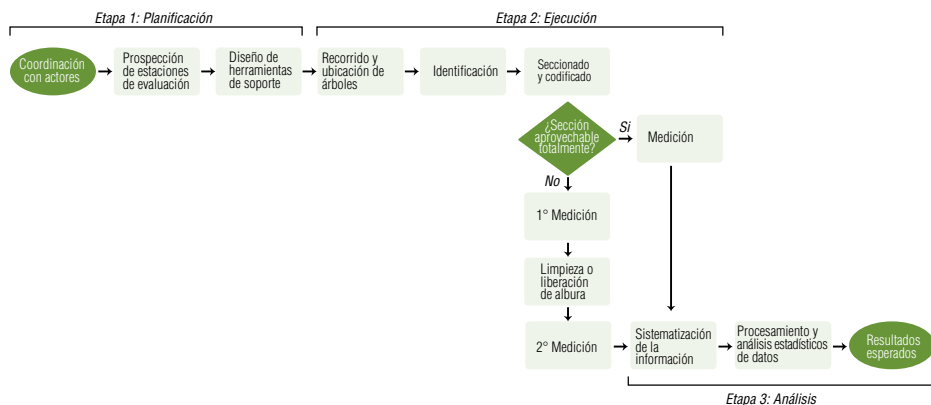


Figura 11.

Flujograma de aplicación técnicas y procedimientos en campo para la obtención del factor de conversión de *Bursera graveolens*.

7.1 ETAPA 1: PLANIFICACIÓN

a) Coordinación con actores

- Se realizará la coordinación con los titulares de títulos habilitantes o comunidades campesinas para acceder a las EE por cuadrícula.
- Se obtendrá la autorización con fines de investigación científica.

b) Delimitación de estaciones de evaluación finales

Una vez otorgado el acceso a las EE se deberá realizar una salida de campo previa para identificar las EE definitivas. El principal criterio para su delimitación será la presencia de árboles aprovechables de *Bursera graveolens*. Incluye también revisión de planes de manejo con coordenadas de árboles aun por aprovechar; y en caso sean fuera de áreas de manejo aprobadas o en otras áreas, se realizará las consultas respectivas a comunidades, caseríos y regentes de la zona.

c) Diseño de herramientas de soporte

Se deberá realizar la encuesta virtual en la app móvil KoboTool Box, con el objetivo de tener dos fuentes de información (doble trazabilidad). Esta app tendrá las celdas de los Anexos 4, 5 y 6 relacionados a los formatos de campo para el levantamiento de información. Asimismo, es necesario precisar que requiere de un sistema Android para su uso, así como de un ordenador de escritorio para la gestión de la información.

7.2 ETAPA 2: EJECUCIÓN

a) Recorrido y ubicación de árboles (muestra)

Debido a la dificultad de terreno, los recorridos para la ubicación de los árboles aprovechables serán a través de trochas y caminos en las EE, empezando en un punto aleatorio o georreferenciado según corresponda y evaluando los individuos hasta alcanzar el esfuerzo específico por cada EE.

- › En caso de árboles aprovechables georreferenciados (que cuentan con planes de manejo), la ubicación de las rutas se realizará teniendo las coordenadas de los individuos.
- › En caso de árboles sin georreferencia previa, se recomienda realizar recorridos en zigzag (entre 50 – 100 metros aproximadamente) para tener la mayor probabilidad de evaluar árboles aprovechables.

Es recomendable contar con personal de apoyo de campo, sobre todo de la comunidad respectiva para facilitar los trabajos de campo.

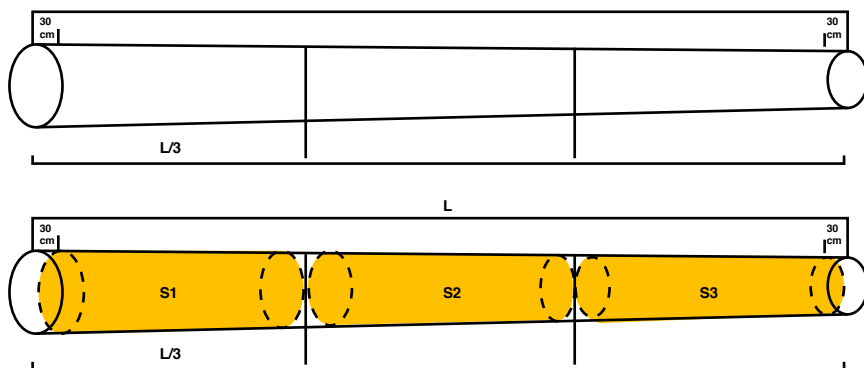
b) Identificación

Una vez encontrado un individuo y su condición de muerto, se distinguirá la condición de aprovechable, los cuales podrán ser: muerto en pie (MP) o muerto caído (MC). Asimismo, dentro de estas categorías se discernirá si el individuo es del tipo: 1. Totalmente aprovechables (TA) o 2. Parcialmente aprovechables (PA). Esta información será registrada en el formato de árboles aprovechables (Ver Anexo 4) y en la app móvil offline “Kobotool box”.

c) Seccionado y codificado

El seccionado de los individuos de la unidad muestral [árbol aprovechable], se realizará en tres partes: parte baja, parte media y parte alta, de tal manera que se pueda obtener la variabilidad interna por factores intrínsecos de la especie, de esta manera se adecúa a la Norma ISO 4471 – 1982 (Figura 12; “Madera – Muestreo de árboles y trozas para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas).

- Inicialmente para los individuos muertos en pie, se realizará un tumbado desde la parte más baja posible (a nivel del suelo), mientras que para los individuos muertos caídos de manera directa se realizará un despunte aproximado de 30 cm (aplica para muerto en pie y muerto caído).
- Posteriormente se realizará un descope a 30 cm por debajo del punto de copa, para el caso de los individuos muertos en pie, en caso no se logre distinguir el duramen o este no se extienda hasta el punto de descope, se realizarán seccionados cada 30 cm aproximadamente hasta lograr la diferenciación de la albura y duramen.
- Una vez obtenida la sección aprovechable completa, se realizará un seccionamiento en tres partes iguales S1: Sección Baja, S2: Sección Media y S3: Sección Alta (Ver Figura 12). Por otro lado, en caso la sección sea muy irregular y no permita realizar las mediciones de longitud y diámetro de manera adecuada, se deberá realizar un sub-seccionado adicional, extendiendo el código a S(n)-1 y S(n)-2 (n: sección 1, 2 o 3).

**Figura 12.**

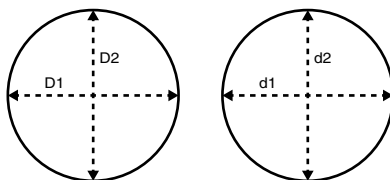
Método de seccionado del árbol aprovechable (derivado de Norma ISO 4471 – 1982).

d) Mediciones en campo

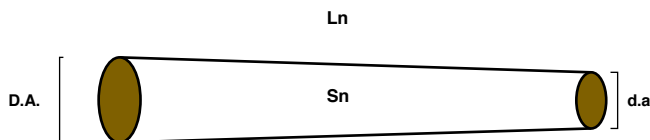
La medición de las secciones se distinguirá de acuerdo al tipo de árbol. Sin embargo, se trabajará con el mismo formato de secciones aprovechables (Ver Anexo 5).

• Árboles totalmente aprovechables

Se realizará la medición de la sección a nivel de diámetros, que será ejecutada en formato de Cruz para registrar el valor promedio para el diámetro mayor y menor respectivamente, longitudes, contenido de humedad y finalmente el pesaje respectivo (Figura 13 y 14).

**Figura 13.**

Medición de diámetros: A. Diámetro mayor: D1: Diámetro mayor 1, D2: Diámetro mayor 2 y B. Diámetro menor: d1: diámetro menor 1, d2: diámetro menor 2.

**Figura 14.**

Medición de secciones completamente aprovechables: D. A.: diámetro mayor promedio de la sección aprovechable ($\frac{D1+D2}{2}$), d. a.: diámetro menor promedio de la sección aprovechable ($\frac{d1+d2}{2}$), Ln: longitud de la sección aprovechable y Sn: sección (1, 2 o 3).

• Árboles parcialmente aprovechables

Se realizará dos mediciones, debido a las condiciones de la sección. La primera medición corresponde a la sección completa y la segunda medición corresponde a la sección aprovechable (Figura 15).

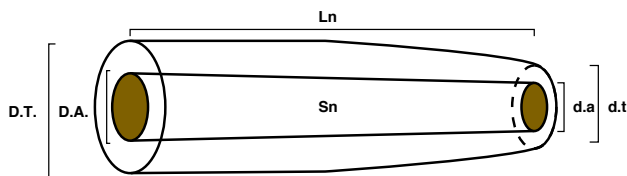


Figura 15.

Medición de secciones parcialmente aprovechables: D. T.: diámetro mayor promedio total (albura y duramen), D. A.: diámetro mayor promedio aprovechable (duramen), d. t.: diámetro menor promedio total (albura y duramen), d. a.: diámetro menor promedio aprovechable, Ln: longitud de la sección aprovechable (1,2 o 3) y Sn: sección (1, 2 o 3).

Las mediciones deberán ser realizadas en el siguiente orden:

- Primera medición

Consta en la medición de la sección completa. Esta incluye el D. T., d. t., longitud, peso y el contenido de humedad de la albura en la parte inferior y superior de la sección.

- Limpieza o liberación de albura

Consta en la limpieza de la albura o la proporción no aprovechable de la sección con debido cuidado y con herramientas de corte (machete y/o motosierra dependiendo de la dificultad o el grado de descomposición), de tal manera que solo se pueda tener la proporción aprovechable de la sección.

- Segunda medición

Consta en la medición de la sección aprovechable. Esta incluye D. A., d. a., peso y el contenido de humedad de la albura en la parte inferior y superior de la sección.

7.3 ETAPA 3: ANÁLISIS

a) Sistematización de la información

Se realizará la sistematización de la información registrada en los formatos de campo (Anexos 4, 5 y 6). Asimismo, se contará con la información registrada en el aplicativo “Kobotool box” en formato digital. Este servirá como back up complementario a la información en formato físico.

b) Procesamiento y análisis estadísticos de datos

• Control de calidad y limpieza de datos

Previo al análisis, se deberá realizar un control de calidad de la base de datos, orientado a identificar registros incompletos, errores de digitación y/o inconsistencias lógicas entre las variables medidas, esto a través de la revisión de los formatos físicos (Anexos 4, 5 y 6) y se corroborará los valores con la información de la app móvil KoboTool Box. A partir de ello se identificará errores para ser corregidos de manera oportuna, lo cual asegurará la confiabilidad de la información utilizada para el análisis.

• **Volumetría**

Con la información recopilada de campo se realizará el cálculo del volumen de las secciones obtenidas, a través de la fórmula de Smalian.

$$V = 0.7854 \times \left(\frac{Dx + dx}{2} \right)^2 \times L$$

Donde:

V: Volumen en metros cúbicos (m³)

dx: Diámetro menor promedio (m²)

Dx: Diámetro mayor promedio (m²)

L: Longitud diámetro mayor promedio (m)

• **Cálculo del factor de conversión**

El cálculo del factor de conversión se realizará a nivel de individuo, a través del promedio de las secciones de cada árbol, para posteriormente obtener por unidad muestral y por estrato geográfico.

$$FC = \frac{\text{Peso(kg)}}{\text{Vaprovechable(m}^3\text{)}}$$

• **Identificación y tratamiento de valores atípicos**

Se deberá realizar la evaluación de los valores atípicos a través de Boxplots (análisis del IQR) para las variables en estudio, como volumen, peso, contenido de humedad, entre otras. La identificación de los valores atípicos no implicará su exclusión automática, sino que deberán ser analizados de manera independiente para identificar su origen, ya sea por error de medición o por variabilidad natural de la especie. En cualquier caso, la decisión de mantener o excluir un valor deberá ser sustentada técnicamente.

En este proceso se podrá diferenciar la influencia del contenido de humedad en la variable peso, sobre todo para los individuos en condición de parcialmente aprovechable (muerto caído o muerto en pie) en que se deberá realizar una categorización por humedades para los valores de peso obtenidos, Poco húmedo, húmedo y muy húmedo, esto permitirá diferenciar los valores y reducir la dispersión de los mismos.

• **Aplicación de estadística descriptiva**

Se realizará un análisis descriptivo para la obtención de medias, desviación estándar y el coeficiente de variación, lo que permitirá caracterizar cada unidad muestral, los estratos y las subcategorías por humedad en caso se logren identificar.

• **Análisis del aprovechamiento parcial de individuos**

La información generada permitirá analizar la proporción de material efectivamente aprovechable para los individuos clasificados en condición de aprovechables parcialmente, considerando las restricciones del propio aprovechamiento de la especie, es decir, la condición de solo aprovecharse el duramen.

El Factor Aprovechable (FA) se define como la relación porcentual entre el volumen efectivamente aprovechable (Vaprov) y el volumen total del individuo (Vtotal), constituyendo un indicador cuantitativo del grado real de aprovechamiento del recurso forestal. Este factor se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$FA = \frac{V_{aprov}}{V_{total}} \times 100\%$$

Para el cálculo y análisis del "FA", los individuos muestreados serán agrupados en clases diamétricas, con el objetivo de evaluar la variación del factor aprovechable en función del tamaño del individuo, puesto que este podría influenciar. Asimismo, la definición del número de clases se realizará aplicando la regla de Sturges, la cual permite una estratificación objetiva y consistente de los datos, reduciendo sesgos asociados a la dispersión de la muestra.

El número de clases "k" se calculará mediante la siguiente expresión:

$$k = 1 + 3.322 \log_{10}(n)$$

Donde *n* corresponde al número total de individuos con la condición de parcialmente aprovechables. Una vez determinado el número de clases, el ancho de clase se calculará en función del rango diamétrico observado, permitiendo una distribución homogénea de los individuos dentro de cada categoría.

Para cada clase diamétrica se estimará el FA promedio, así como medidas descriptivas complementarias (mínimo, máximo y dispersión), lo que permitirá identificar tendencias asociadas al tamaño del individuo y evaluar si el grado de aprovechamiento parcial presenta patrones sistemáticos o responde a una variabilidad aleatoria.

• **Aplicación de estadística paramétrica o no paramétrica**

Con la finalidad de sustentar técnicamente los valores del factor de conversión (m^3/kg) y del factor aprovechable (FA) estimados para *Bursera graveolens*, se deberán aplicar pruebas estadísticas orientadas a evaluar la consistencia, representatividad y variabilidad de los datos generados. Previamente, se realizará una evaluación de la distribución de los datos mediante pruebas de normalidad, empleando la prueba de Shapiro–Wilk, considerando el tamaño de muestra y las características de las variables analizadas.

En función de los resultados obtenidos, se aplicarán pruebas de comparación de medias, utilizando ANOVA cuando se cumplan los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, o la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis en caso contrario, a fin de identificar diferencias estadísticamente significativas entre estratos definidos por departamento, tipo de sección o clases diamétricas. Adicionalmente, se podrá realizar análisis de correlación mediante los coeficientes de Pearson o Spearman, según corresponda, para evaluar la relación entre variables dasométricas (diámetro, longitud, volumen) y los factores estimados.

La aplicación de estas pruebas estará condicionada a la calidad y comportamiento de los datos obtenidos, garantizando en todos los casos el cumplimiento de los supuestos estadísticos requeridos para su correcta interpretación y asegurando la robustez técnica de los factores propuestos.

7.4 RESULTADOS ESPERADOS

- Valor referencial del Factor de Conversión de volumen a peso de *Bursera graveolens*.
- Factor aprovechable de palo santo, que implica la relación del volumen y peso aprovechable respecto al volumen y peso no aprovechable.



"Comunidad Campesina San Juan de Mamayaco"

Salitral, Morropón, Piura

Nombre común: "palo santo"

Condición: Vivo (vista de la corteza externa del árbol)

8 CRONOGRAMA DE TRABAJO

Teniendo en cuenta la influencia de la época de lluvia en la humedad de la madera, el acceso a las estaciones de evaluación, entre otras consideraciones, se propone que la ejecución de la metodología propuesta siga la siguiente estructura:

Cuadro 11. Cronograma tentativo de ejecución de la metodología planteada

Estrato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Set	Ago	Oct	Nov	Dic
1° Etapa Planificación (campo, delimitación de EE finales)												
2° Etapa Ejecución (campo, evaluaciones y mediciones)												
3° Etapa Análisis, incluyendo la elaboración del documento técnico con los resultados obtenidos												

9 OTROS APORTES

9.1 ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE PALO SANTO

Con base en el desarrollo de la metodología, el trabajo de prospección de campo realizado de manera conjunta por el Serfor y el Osinfor, con el apoyo de PROFONANPE en el marco del proyecto “Bosque Seco de la Costa Norte del Perú” (noviembre de 2025), así como en los resultados de las reuniones técnicas sostenidas entre los equipos de ambas instituciones, se formula las siguientes recomendaciones técnicas:

- Definición de rastrojo: Proporción irregular de madera de palo santo que se encuentra en el suelo por la propia descomposición natural del árbol muerto. Estas proporciones o secciones suelen ser amorfas y están compuesta en su mayor parte o en su totalidad de solo el duramen, es decir, la parte aprovechable comercialmente.
- Asimismo, por las condiciones del rastrojo mencionadas anteriormente, la aplicación de fórmulas volumétricas no permite un cálculo real del mismo, por lo que generalmente se da una tendencia a la sobrestimación cuando se realiza la aplicación de estas. En tal sentido, en los títulos habilitantes se plantea evaluar la posibilidad de implementar formatos de pesaje específicos para los rastrojos, siempre y cuando estos sean diferenciados claramente de los árboles muertos en pie y muertos caídos.



"Comunidad Campesina San Juan de Mamayaco"
Salitral, Morropón, Piura
Nombre común: "palo santo"
Condición: Vivo (exudación de resina por incisión)

10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, Z., y Cabrera, E. (2021). Parámetros poblacionales y regeneración natural de *Bursera graveolens* en Zapotillo, Ecuador. *Arnaldoa*, 28(2), 305–318.

Aguirre, Z. (2012). *Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrológica para su identificación y caracterización*. Finlandia – Quito, Ecuador: Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático.

Benítez, Á., Chalán, J., Tinitana, F., Morocho, V., Armijos, L., & Malagón, O. (2023). Estructura diamétrica de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch: Especie con potencial uso no maderable. *Bosques Latitud Cero*, 13(2), 70–79. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1658>

Carrión, H. (2016). *Gestión y participación local para el aprovechamiento sostenible de desechos orgánicos del palo santo (Bursera graveolens), en el bosque seco semideciduo del sur occidental de la provincia de Loja, Ecuador*. Universidad de Jaén. [Tesis Doctoral]. ISBN 978-84-16819-63-8

Cañarte, C., & Ponce, K. (2021). *Viabilidad técnica en la extracción de aceites esenciales en la hoja de palo santo (Bursera Graveolens)*. *Dominio de las Ciencias*, 7(1), 124-137

Eugenio, M. (2014). *La producción del aceite e incienso del palo santo o Bursera graveolens en el Cantón Puerto López, provincia de Manabí*. Universidad de Guayaquil. [Tesis de licenciatura]

International Organization for Standardization. (1982). *ISO 4471:1982 — Wood — Sampling of round timber*.

GEOBOSQUES. (2026). *Plataforma de monitoreo de los cambios sobre la cobertura de los bosques del Perú. Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático, Ministerio del Ambiente*. <https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/visor/>

Guerra, M. (2013). *Distribución de clases diamétricas de Bursera graveolens en bosques secos de la región Piura*. Universidad Nacional de Piura [Tesis de pregrado].

INEI. (2018). Resultados Definitivos de las Comunidades Nativas y Campesinas 2017. Instituto Nacional de estadística e Informática. <https://censo2017.inei.gob.pe/resultados-definitivos-de-las-comunidades-nativas-y-campesinas-2017/>

Maldonado, B. (2024) Estudio de características anatómicas y propiedades físicas de la especie *Senefeldera inclinata* Müll. Arg. Universidad Nacional del Centro del Perú. [Tesis de Grado] (Maestría) Satipo – Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/90e49f82-888d-451e-9043-9f3f2df1cae1/content>

Manzano, P. (2018). *Potencial fitofarmacológico de Bursera graveolens del bosque seco tropical*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. [Tesis de licenciatura]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/4729/7252.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MINAGRI. (2015). Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763 y sus reglamentos. Bosques productivos para la vida. <https://img.lpderecho.pe/wp-content/uploads/2023/04/Ley-forestal-y-de-fauna-silvestre-y-sus-reglamentos.pdf>

MINAM. (2019). Guía de evaluación del estado de ecosistemas de bosque seco: Bosque estacionalmente seco de llanura y bosque estacionalmente seco de colina y montaña. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/guia_bosque_seco.pdf

MINAM. (2019). *Memoria del Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú*. Ministerio del Ambiente. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/memoria_mapa_ecosistemas.pdf?utm_source=chatgpt.com

Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S. (2000). Manual de Métodos. Básicos de Muestreo y Análisis de Ecología Vegetal. BOLFOR.

OSINFOR. (2006). Resolución N.º 043-2006-AG: Aprueban la categorización de especies amenazadas de flora silvestre

Puescas, M; Herrera, E; Moscol, J & Solís, J. (2022). Rendimiento de aceite esencial a partir de madera seca de *Bursera graveolens*. *Revista Manglar*, 19(2), 45–55. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.016>

Puescas, M; Herrera, E; Moscol, J; Hidalgo, E & Huaman, W. (2023). *Bursera graveolens en matorral desértico para el desarrollo forestal sostenible*. *Revista Manglar*, 20(1), 45–56. <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.003>

Ramírez Céspedes, M. Y. (2023). *Rendimiento y caracterización del aceite esencial de palo santo (Bursera graveolens)* Universidad Nacional de Tumbes. [Tesis de licenciatura].

Suárez, D. (2025). Caracterización física y química de la madera de *Bursera graveolens* Triana & Planch. (palo santo) en la comuna San Marcos, provincia de Santa Elena. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Trabajo de titulación]. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/04ea0fd9-b328-4d91-9015-b5352ce82fcb>

Tinoco Medina, G. (2024). *Actividades que afectan la regeneración natural de Bursera graveolens, Prosopis pallida y Loxopterigium huasango, área de concesión forestal UNT tumbes, 2023* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Tumbes.



Nombre común: "palo santo"

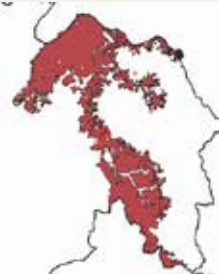
Condición: Muerto aprovechable (ruma de tucos de duramen de palo santo)

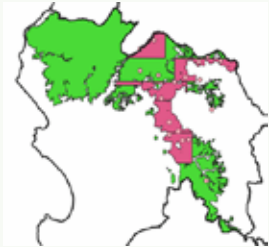
11 ANEXOS

ANEXO 1. Proceso de definición de cuadrillas para el estrato 1 Tumbes.

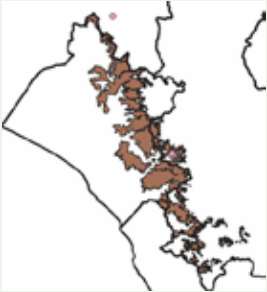
Secuencia lógica SIG	Figura referencial
Paso 1: Delimitación del ecosistema de interés “Bes-cm” en el estrato 1 (departamento de Tumbes)	
Paso 2: Buffer de 0,5 km para homogenizar el polígono de interés.	
Paso 3: División del polígono en al menos dos veces el número de cuadrillas requeridas. Es decir, se deberá obtener mínimo ocho cuadrillas potenciales para la división del estrato 1.	
Paso 4: Distribución de accesibilidad para las cuadrillas potenciales, es decir, la identificación del grado de acceso por la red vial nacional, departamental y/o vecinal.	
Paso 5: Selección de cuadrillas requeridas por consideraciones anteriores, según el requerimiento de IC.	

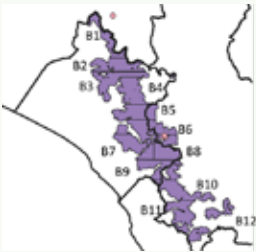
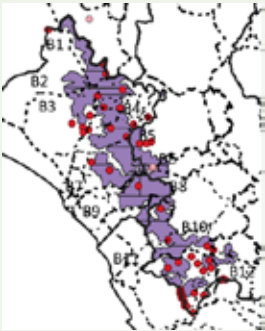
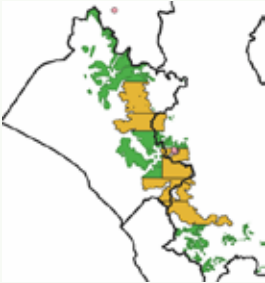
ANEXO 2. Proceso de definición de cuadrillas para el estrato 2 Piura.

Secuencia lógica SIG	Figura referencial
Paso 1: Delimitación del ecosistema de interés “Bes-cm” en el estrato 2 (departamento de Piura).	
Paso 2: Exclusión de polígonos distantes para homogenizar el polígono y evitar zonas de área reducida de Bes-cm o ausencia de antecedentes de aprovechamiento de la especie.	
Paso 3: Buffer de 1 km para homogenizar el polígono de interés.	

Secuencia lógica SIG	Figura referencial
Paso 4: División del polígono en al menos dos veces en cuadrillas requeridas. Es decir, se deberá obtener 14 cuadrillas potenciales para el estrato 2.	
Paso 5: Distribución de accesibilidad para las cuadrillas potenciales, es decir, la identificación del grado de acceso por la red vial nacional, departamental y/o vecinal.	
Paso 6: Selección de cuadrillas requeridas por consideraciones anteriores y la presencia de antecedentes de PMFI y/o DEMA en los bloques. Dado que Piura es el departamento con mayor presencia de PMFI y DEMA, las comunidades o cooperativas mencionadas anteriormente deberán ser seleccionadas solo 1 por bloque. Esto dependerá de la facilidad de acceso con los titulares del IGF.	

ANEXO 3. Proceso de definición de cuadrillas para el estrato 3 Cajamarca y Lambayeque.

Secuencia lógica SIG	Figura referencial
Paso 1: Delimitación del ecosistema de interés Bes-cm en el estrato 3 (departamentos de Cajamarca y Lambayeque).	
Paso 2: Exclusión de polígonos distantes para homogenizar el polígono y evitar zonas de área reducida de Bes-cm.	
Paso 3: Buffer de 1 km para homogenizar el polígono de interés.	

Secuencia lógica SIG	Figura referencial
Paso 4: División del polígono en al menos dos veces para obtener el número de cuadrillas requeridas, es decir, un mínimo de 10 cuadrillas potenciales para el estrato 2.	 Mapa de un polígono dividido en 12 cuadrillas numeradas B1 a B12. Las cuadrillas están distribuidas en una forma irregular, con algunas más grandes que otras.
Paso 5: Distribución de accesibilidad para los centroides de comunidades campesinas con presencia de Bes-cm, es decir, la identificación del grado de acceso por la red vial nacional, departamental y/o vecinal. Se utilizó los centroides de comunidades campesinas tituladas y/o reconocidas con presencia de Bes-cm, con el objetivo de facilitar el acceso a las unidades muestrales y tener soporte local para el recorrido.	 Mapa de un polígono dividido en 12 cuadrillas numeradas B1 a B12. Los puntos rojos representan los centroides de comunidades campesinas. Los puntos están distribuidos en varias cuadrillas, principalmente en las áreas centrales y superiores del polígono.
Paso 6: Selección de cuadrillas requeridas por consideraciones anteriores y la presencia de antecedentes de PMFI y/o DEMA en los bloques. Cajamarca solo contó con cuatro antecedentes de DEMA, solicitados por personas naturales. A esto se le está adicionando comunidades campesinas con presencia de Bes-cm, dentro de los cuales por cuadrilla se deberá seleccionar solo una comunidad campesina o DEMA.	 Mapa de un polígono dividido en 12 cuadrillas numeradas B1 a B12. Las cuadrillas están coloreadas en verde y amarillo. Las cuadrillas verdes están distribuidas en las áreas superiores y laterales, mientras que las cuadrillas amarillas están en las áreas centrales y inferiores.

ANEXO 4. Proceso de definición de cuadrillas para el estrato 2 Cajamarca y Lambayeque.

FORMATO DE ÁRBOLES APROVECHABLES Departamento Tumb. / Piu. / Caj+Lamb. Bloque Muestral									
N°	Nombre científico	Condición (MP/MC)	Tipo (TA/PA)	Código (Cond#_Tipo)	DAP (cm)	HC / LC (m)	Coord_X	Coord_Y	Observaciones
1	Bursera graveolens								
2	Bursera graveolens								
3	Bursera graveolens								
4	Bursera graveolens								
5	Bursera graveolens								
6	Bursera graveolens								
7	Bursera graveolens								
8	Bursera graveolens								
9	Bursera graveolens								
10	Bursera graveolens								
11	Bursera graveolens								
12	Bursera graveolens								
13	Bursera graveolens								
14	Bursera graveolens								
15	Bursera graveolens								
16	Bursera graveolens								
17	Bursera graveolens								
18	Bursera graveolens								
19	Bursera graveolens								
20	Bursera graveolens								

Leyenda: MP: Muerto en pie, MC: Muerto caído, TA: Totalmente aprovechable, PA: Parcialmente aprovechable, DAP: Diámetro a la altura del pecho, HC/LC: altura comercial/longitud comercial, Coord_X: Coordenada Este y Coord Y: Coordenada Norte.

ANEXO 5. Formato de secciones aprovechables parcialmente.

FORMATO DE SECCIONES APROVECHABLES Departamento Tumb. / Piu. / Caj+Lamb. U. Muestral

N°	Nombre científico	CÓD. (Cond#_Tipo)	S	D. T. 1 (cm)	D. T. 2 (cm)	D. A. 1 (cm)	D. A. 2 (cm)	CH (Alb.)	CH (Dur.)	d. t. 1 (cm)	d. t. 2 (cm)	d. a. 2 (cm)	ch (Alb.)	ch (Dur.)	L (m)	Peso T. (kg)	Peso A. (kg)	Observaciones
1	<i>Bursera graveolens</i>																	
2	<i>Bursera graveolens</i>																	
3	<i>Bursera graveolens</i>																	
4	<i>Bursera graveolens</i>																	
5	<i>Bursera graveolens</i>																	
6	<i>Bursera graveolens</i>																	
7	<i>Bursera graveolens</i>																	
8	<i>Bursera graveolens</i>																	
9	<i>Bursera graveolens</i>																	
10	<i>Bursera graveolens</i>																	
11	<i>Bursera graveolens</i>																	
12	<i>Bursera graveolens</i>																	
13	<i>Bursera graveolens</i>																	
14	<i>Bursera graveolens</i>																	
15	<i>Bursera graveolens</i>																	
16	<i>Bursera graveolens</i>																	
17	<i>Bursera graveolens</i>																	
18	<i>Bursera graveolens</i>																	
19	<i>Bursera graveolens</i>																	

Leyenda: CÓD: Código (condición: "Muerto en pie" MP/ "Muerto caído" MC y Tipo: "parcialmente aprovechable" PA/ "totalmente aprovechable" TA), S: Sección (1, 2 o 3), D. T.: Diámetro mayor total, Diámetro mayor aprovechable, CH: Contenido de humedad en el diámetro mayor, d. t.: diámetro menor total, d. a.: diámetro menor aprovechable, ch: contenido de humedad del diámetro menor, L: Longitud, Alb.: Albura de la madera y Dur.: Duramen de la madera

ANEXO 6. Formato de secciones aprovechables totalmente.

FORMATO DE SECCIONES APROVECHABLES Departamento Tumb. / Piu. / Caj+Lamb. U. Muestral

N°	Nombre científico	CÓD. (Cond#_Tipo)	S	D. A. 1 (cm)	D. A. 2 (cm)	CH (Dur)	d. a. 1 (cm)	d.1.2 (cm)	ch (Dur.)	L (m)	Peso A. (kg)	Observaciones
1	<i>Bursera graveolens</i>											
2	<i>Bursera graveolens</i>											
3	<i>Bursera graveolens</i>											
4	<i>Bursera graveolens</i>											
5	<i>Bursera graveolens</i>											
6	<i>Bursera graveolens</i>											
7	<i>Bursera graveolens</i>											
8	<i>Bursera graveolens</i>											
9	<i>Bursera graveolens</i>											
10	<i>Bursera graveolens</i>											
11	<i>Bursera graveolens</i>											
12	<i>Bursera graveolens</i>											
13	<i>Bursera graveolens</i>											
14	<i>Bursera graveolens</i>											
15	<i>Bursera graveolens</i>											
16	<i>Bursera graveolens</i>											
17	<i>Bursera graveolens</i>											
18	<i>Bursera graveolens</i>											
19	<i>Bursera graveolens</i>											

Leyenda: CÓD: Código (condición: "Muerto en pie" MP/ "Muerto caído" MC y Tipo: "parcialmente aprovechable" PA/ "totalmente aprovechable" TA), S: Sección (1, 2 o 3), D. T.: Diámetro mayor total, Diámetro mayor aprovechable, CH: Contenido de humedad en el diámetro mayor, d. t.: diámetro menor total, d. a.: diámetro menor aprovechable, ch: contenido de humedad del diámetro menor, L: Longitud y Dur.: Duramen de la madera



"Comunidad Campesina Tupac Amaru de Anchalay"
Jilili, Ayabaca, Piura
Nombre común: "palo santo"
Condición Vivo

Con el apoyo de:



Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
D.: Avenida Javier Prado Oeste 2442, Magdalena del Mar
T.: (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

SERFOR Servicio
Nacional
Forestal y
de Fauna
Silvestre