



# **UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**

Posicionamiento y caracterización de *Prosopis spp.* “algarrobo” árbol plus,  
en el bosque relicto estacionalmente seco de Túcume, Lambayeque – Perú

## **TESIS**

Para optar el Título profesional de Licenciada en Biología

### **AUTORA**

Alcántara Pizarro, Patricia Fiorella

0000-0002-6486-4487

### **ASESORA**

Lic. Madrid Ibarra de Mejía, Flor de María

0000-0002-4041-2718

Lima, Perú

2023

## **Metadatos complementarios**

### **Datos del autor(a)**

**Autor(a):** Alcántara Pizarro, Patricia Fiorella

**Tipo de documento de identidad:** DNI

**Numero de documento de identidad:** 45394218

### **Datos del(a) asesor(a)**

**Asesor(a):** Madrid Ibarra de Mejía, Flor de María

**Tipo de documento de identidad:** DNI

**Numero de documento de identidad:** 07222631

### **Datos de los Miembros del Jurado**

**Presidente:** Iannacone Oliver, José Alberto

**DNI:** 09413998

**ORCID:** 0000-0003-3699-4732

**Secretario:** Chavieri Salazar, Andrés Ricardo

**DNI:** 08014597

**ORCID:** 0000-0002-2644-959X

**Vocal:** Porras López, Graciela Marbetty

**DNI:** 43354966

**ORCID:** 0000-0003-2720-0750

### **Datos de la investigación**

**Campo del conocimiento OCDE:** 1.06.01

**Código del Programa:** 511206

*Los árboles han sido siempre para mí,  
los predicadores más eficaces.*

*Los respeto cuando viven en poblaciones y familias,  
en bosques y arboledas,  
y todavía los respeto más cuando están aislados.*

*Son los solitarios.  
No como ermitaños que se aislaron por alguna debilidad,  
sino como hombres grandes en su soledad.*

*En sus ramas más altas susurra el mundo,  
y sus raíces descansan en lo infinito;*

*pero no se abandonan ahí,  
sino que luchan con toda su fuerza vital por una sola cosa:  
cumplir con ellos mismos según sus propias leyes,  
y desarrollan su propia forma,  
representándose a sí mismos*

*Los árboles son santuarios.  
Quien sepa hablar con ellos,  
quien sepa escucharlos,  
aprende la verdad.*

*No predicán doctrinas ni recetas,  
predican, indiferentes al detalle,  
la originaria ley de la vida.*

*Hermann Hesse  
El caminante*

Para Alessandro:

*Ojalá decidas cumplir con el pulso de tu existencia,  
siguiendo las leyes nacidas de tu buen corazón,  
que elijas abrazar y desarrollar con amor tu singular forma de ser,  
representándote sólo a ti con el orgullo de tu propia historia,  
como un árbol, que dirige a su manera sus ramas al sol, porque es su sueño,  
y se sujeta a la tierra con sus raíces, que buscan la fuente hacia el núcleo de la vida.*

*Que optes por ser mejor que ayer, mi niño hermoso.*

...Esto es para ti y también para quienes comienzan o retoman con alegría, como ahora yo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi asesora, la Lic. Flor de María Madrid Ibarra de Mejía por la presteza, atención y consejos en cada proceso de la realización de esta tesis, así mismo al profesor Dr. José Iannacone Oliver por sus asesorías enriquecedoras. Agradezco también a la Dirección de Estudios e Investigación (DEI) del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) por la ayuda prestada en el diseño de esta investigación, especialmente al especialista en flora y fauna silvestre, el biólogo William Nauray Huari por el taller brindado a la Facultad de Ciencias Biológicas en favor de futuras investigaciones en el algarrobo.

A la arqueóloga Bernardita Delgado, directora del Museo de Sitio Túcume, le agradezco el tiempo que amablemente me brindó escuchando con interés la justificación, importancia y metodología para la realización de esta tesis; así como la agilidad en gestionar los permisos y la presteza al facilitar la ejecución del trabajo en campo; le agradezco a Walter Chozo, coordinador del vivero y biohuerto del museo, por apoyarme en la prospección para elegir el área de estudio, asimismo le agradezco a todos los colaboradores del Museo de Sitio Túcume, siempre fueron amables y cooperativos en cada ocasión.

Le agradezco a Criss Pizarro y Almendra Alcántara por la asistencia en el trabajo de campo, gracias a ustedes por el compromiso, compañía y aventuras vividas bajo el impetuoso sol del norte, junto a las pirámides de Túcume, los zorros costeros, lechuzas de desierto y leyendas de gentiles.

Con profundo sentimiento le agradezco a Dios por escucharme y por todas sus respuestas; gracias Alessandro, por tu hermosa y tierna luz mi niño, ¡eres mi maestro e inspiración!; también le agradezco a Alfredo, mi padre, por escucharme y por su paciencia en este proceso; a Flor, mi madre, por el apoyo cuando pudo y quiso con Alessito; a Yat Wong por su compromiso de siempre, por destinar un día entero en su agenda de visita a Perú, para revisar a detalle todo lo relacionado a R en esta investigación; gracias a Diego Barrera, por la ayuda de los últimos días con los scripts y mapas y gracias Mary Pizarro, por el último detalle con esta tesis... Gracias a todos, pues en sus formas tan singulares de existir y ser conmigo, han sido trascendentales desde la construcción al término de esta investigación.

## RESUMEN

El algarrobo es un árbol multipropósito de importancia cultural y ecológica. Lambayeque es de interés por albergar algarrobales milenarios, áreas de conservación de bosques estacionalmente secos con sus respectivas zonas de amortiguamiento y bosques relictos no estudiados. Esta investigación caracteriza y posiciona *Prosopis spp* plus, mediante prospecciones en el bosque relicto estacionalmente seco de Túcume. Se evaluó una parcela forestal en la única estación de muestreo seleccionada, con un esfuerzo de muestreo equivalente a 0,5 ha., se evaluaron datos dasométricos y fenotípicos categorizados de menor a mayor, en árboles sanos con DAP>10 cm en el área con algarrobos de mayor fructificación, todos los individuos sujetos de estudio (n=79) fueron calificados, medidos y georreferenciados, todos los árboles en el área presentaron un excelente estado sanitario. Se seleccionaron 12 árboles cuyos puntajes totales (sumatoria del desempeño en la calidad y producción de frutos principalmente) se situaron a partir del tercer cuartil superior, esta medida se usó como indicador de árboles sobresalientes, ya que estos individuos obtuvieron puntajes altos en todas las características de interés, mediante el análisis de componentes principales (ACP) se identificó 1 árbol plus (árbol N° 72) en 0.5 ha (5000 m<sup>2</sup>), cuyo desempeño fue visualizado frente a los árboles sobresalientes mediante el uso de un HeatMap.

**Palabras clave:** algarrobo, árbol plus, Lambayeque, *Prosopis spp*, Túcume.

## ABSTRACT

The carob tree is a multipurpose tree of cultural and ecological importance, Lambayeque is an area of interest in the study of this tree because it houses ancient carob trees, seasonally dry forest conservation areas with their respective buffer zones and relict forests not studied. This research characterizes and positions *Prosopis spp* plus, through surveys in the seasonally dry relict forest of Túcume. A forest plot was evaluated in the selected tested station, with a tested effort equivalent to 0.5 ha., dasometric and phenotypic data categorized from lowest to highest were evaluated, only in healthy trees with diameter at breast height (DBH) >10 cm in the area with the highest fruiting carob trees, all the individuals under study (n=79) were qualified, measured and georeferenced, all the trees in the area presented an excellent health status. 12 trees were selected whose total scores (mainly the sum of quality performance and fruit production) were located on the third upper quartile of the total data, this measure was used as an indicator of outstanding trees, since these individuals obtained outstanding scores in all the characteristics of interest, through principal component analysis (PCA) 1 plus tree (tree No. 72) was identified in 0.5 ha (5000 m<sup>2</sup>), whose performance was visualized against the outstanding trees using a HeatMap.

**Keywords:** carob tree, Lambayeque, plus tree, *Prosopis spp*., Túcume.

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>II.</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>10</b>
<b>III.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>IV.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
	4.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
	4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>V.</b>	<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
	<b>5.1. TIPOS DE ÁRBOL PARA SELECCIONAR.....</b>	<b>14</b>
	5.1.1. ÁRBOL CANDIDATO.....	14
	5.1.2. ÁRBOL SEMILLERO.....	14
	5.1.3. ÁRBOL PLUS.....	15
	5.1.4. ÁRBOL ÉLITE.....	15
	<b>5.2. BOSQUES ESTACIONALMENTE SECOS (BES).....</b>	<b>15</b>
	<b>5.3. LOS BES DE LA COSTA NORTE DE PERÚ.....</b>	<b>16</b>
	<b>5.4. EL ALGARROBO.....</b>	<b>17</b>
<b>VI.</b>	<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>20</b>
<b>VII.</b>	<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>35</b>
<b>VIII.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
	<b>8.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.....</b>	<b>35</b>
	<b>8.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>39</b>
	<b>8.3. VARIABLES.....</b>	<b>39</b>
	<b>8.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....</b>	<b>40</b>
	<b>8.5. MUESTREO.....</b>	<b>40</b>
	8.5.1. TIPO DE MUESTREO.....	40
	8.5.2. UNIDAD DE MUESTREO.....	41
	8.5.3. ESFUERZO DE MUESTREO.....	41
	8.5.4. EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y DASOMÉTRICA.....	42
	<b>8.6. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....</b>	<b>42</b>
<b>IX.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
<b>X.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>55</b>
<b>XI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>58</b>
<b>XII.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>XIII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>60</b>
<b>XIV.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>67</b>

## I. INTRODUCCIÓN

Túcume es un distrito ubicado en el norte de Perú, dentro de la región y provincia de Lambayeque; se sitúa a una altitud promedio de 45 msnm y presenta una extraordinaria muestra del Bosque Estacionalmente Seco (BES) de llanura y ribereño que forma parte de la extensión sur de la Ecorregión Bosque Seco Ecuatorial (EBSE) denominada región tumbesina de la EBSE. Los BES son el área de endemismo de aves más importante y amenazada en el mundo, así mismo es el hábitat de especies en peligro de extinción como el oso de anteojos y la pava aliblanca; en él viven especies vegetales que han sido categorizadas en amenazadas o vulnerables como *Prosopis pallida* “algarrobo”.

Los BES de la costa norte del Perú son caracterizados por su homogeneidad florística formada casi exclusivamente por árboles de algarrobo, pero debido a la existencia de estudios sobre la presencia de *Prosopis juliflora*, o de híbridos entre *P. pallida* y *P. limensis*, las investigaciones a nivel taxonómico en torno a este árbol son abordadas como un complejo (*P. pallida*-*P. juliflora*), como *Prosopis* spp. o como *P. pallida*. La presente investigación se plantea en torno a *Prosopis ssp.* siguiendo el formato de investigación del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR).

Los algarrobos se desarrollan en forma densa dando lugar a la unidad vegetal típica de los BES denominada “algarrobal”, pueden alcanzar hasta 12 m de alto, y están altamente especializados para el ecosistema desértico, poseen una excelente capacidad para retener agua de la escasa lluvia que les permite sobrevivir a los extensos periodos de sequía de esta zona, es el árbol clave de este ecosistema en el que predomina.

El algarrobo, forma parte de la identidad cultural de los pobladores locales que son herederos de los usos de los BES y las costumbres relacionadas al algarrobo y su entorno,

que datan de tiempos de la cultura Lambayeque o Sicán y Moche, quienes le dan importancia incluso mágica y religiosa; además de la evidente importancia ecológica que reconocen en sus servicios ecosistémicos como la protección frente al avance del desierto y dunas, como fuente de abono orgánico para las actividades agrícolas y como alimento para las comunidades y su ganado.

El distrito de Túcume posee 501 ha de BES, que representan el hábitat natural para la conservación “in situ” de su diversidad característica, donde sobreviven especies amenazadas y vulnerables de valor excepcional desde el punto de vista de la ciencia, la conservación y la cultura, que se ven amenazadas debido a la agresiva pérdida de la cobertura vegetal de los BES por tanto, del algarrobo y sus servicios ecosistémicos para los pobladores locales.

Debido al interés del estado en caracterizar y georreferenciar *Prosopis* spp. plus en Tumbes y Piura, este trabajo pretende extender su búsqueda en el bosque relicto estacionalmente seco de Túcume (Lambayeque), por ser un ambiente extremo donde podrían hallarse representantes de algarrobo más resistentes, siendo un bosque aún no estudiado para tal fin.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El principal problema de los BES en Perú es la pérdida de la cobertura vegetal ocasionada por la fuerte presión agrícola, la tala ilegal, el limitado cumplimiento de los planes de manejo forestal y la muerte masiva de *Prosopis* spp.

La pérdida de BES en Perú es 95% (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010), con esta disminución el país ha perdido tanto en diversidad como en patrimonio cultural y a su vez ha incrementado la desertificación que afecta directamente a los pobladores locales, en esta situación, el estado peruano (Resolución Ministerial N° 0080-MINAGRI, 2020) creó el Grupo de Trabajo Multisectorial cuyo objeto es evaluar la problemática de la reducción poblacional del género *Prosopis* “algarrobo” en la costa norte de Perú, el cual viene desarrollando la búsqueda, identificación y caracterización de árboles plus de algarrobo en Tumbes y Piura para la generación de germoplasma élite.

Lambayeque posee áreas de conservación privadas y estatales de BES, pero sus zonas de amortiguamiento y aledañas sufren una aguda presión antrópica, a pesar de esto en el distrito de Túcume existen relictos de bosque estacionalmente seco que son zonas de interés tanto ecológico como arqueológico, pero aún no han sido estudiadas con el fin del presente estudio.

Esta investigación pretende caracterizar y posicionar *Prosopis* spp “algarrobo” plus, mediante prospecciones en el bosque relicto estacionalmente seco de Túcume, Lambayeque.

### **III. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Entre todos los tipos de bosques del planeta los Bosques estacionalmente secos (BES) son los más amenazados (Hasnat & Hossain, 2020) y a la vez, son los más frágiles y menos protegidos (Sanchez-Azofeifa et al., 2003).

Un estudio del 2010 concluye que el porcentaje de pérdida de BES en Perú es de 95% (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010), con esta situación el país ha perdido diversidad como patrimonio cultural, pues estos bosques presentan un alto endemismo (Hasnat & Hossain, 2020; Leal-Pinedo & Linares-Palomino, 2005; Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010) que ha sido aprovechado de forma milenaria por culturas prehispánicas, además actúan como defensa natural de restos arqueológicos de centros ceremoniales de la cultura Sicán o Lambayeque que es demostrada especialmente durante las inundaciones por lluvias de El Niño (Díaz, 1995)

El algarrobo, es la especie dominante en el BES del norte peruano y debido a que este árbol captura abundante nitrógeno (Carrillo et al., 2020) nutre la tierra, al poseer raíces profundas que pueden llegar a los 80 m (Díaz, 1995; Dostert et al., 2013), capta aguas profundas y al ser extensas oxigena la tierra, permitiendo el flujo de agua volviéndola más productiva; a su vez, brinda forraje y sombra para pobladores, su ganado y cultivos. Dado que los BES se van degradando y fragmentando, los suelos pierden nutrientes y pierden fertilidad, cada vez se dificulta encontrar agua, incrementando la desertificación (FAO, 1998; Grados & Cruz, 1996).

Al fragmentarse el bosque estacionalmente seco, que por centurias ha resistido la presión de los eventos El Niño (IGP, 2018), va dejando desprotegidos tanto a ecosistemas colindantes como a los pobladores frente a las lluvias y vientos, esta difícil situación afecta directamente a las comunidades locales que se encuentran en extrema pobreza (Cuentas Romero & Salazar Toledo, 2011).

Existe un bajo conocimiento acerca del bosque tropical ecuatorial estacionalmente seco (Cuentas Romero & Salazar Toledo, 2011) aunque del 2015 al 2020 hubo un interés creciente (SERFOR, 2021a) en su especie dominante en la costa norte: El algarrobo (Linares, 2004). La mayor amenaza es antrópica: la expansión de la agricultura, deforestación con fines maderables (Leal-Pinedo & Linares-Palomino, 2005), incendios forestales antrópicos (MINAM & MINAG, 2011), sobrepastoreo (Sabogal, 2011), urbanización y minería (Cuentas Romero & Salazar Toledo, 2011).

Es, por tanto, interés del estado estudiar el algarrobo y como parte de las labores del Grupo de Trabajo Multisectorial que evalúa la problemática de la reducción poblacional del género *Prosopis* “algarrobo” en la costa norte de Perú, se está implementando la búsqueda y caracterización de árboles plus, pues serán base para el desarrollo de árboles elite que podrán ser utilizados en programas de conservación genética, reforestación o forestación. La etapa de selección de individuos plus que se incorporan a un programa de mejoramiento es fundamental pues las características que se buscan a heredar son de interés económico y ecológico y están directamente relacionadas a una correcta elección. Lambayeque, es una zona de interés por albergar algarrobales milenarios, áreas de conservación de bosques estacionalmente secos con sus respectivas zonas de amortiguamiento y bosques relictos estacionalmente secos aledaños a zonas arqueológicas que no han sido estudiados, por tanto, podría ser una zona donde pudieran encontrarse representantes plus de algarrobos, aunque aún no ha sido explorada para tal fin. Este proyecto apunta a obtener información actualizada sobre la localización y caracterización de algarrobos plus *Prosopis* spp. resultado de prospecciones en campo.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Posicionar y caracterizar árboles plus de *Prosopis* spp. “algarrobo” en el bosque relicto estacionalmente seco de Túcume, Lambayeque – Perú mediante prospecciones en campo.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Georreferenciar árboles plus de *Prosopis* spp. “algarrobo” en el bosque relicto estacionalmente seco de Túcume, Lambayeque – Perú.
- Evaluar la biología y dasometría de árboles plus de *Prosopis* spp. “algarrobo” en el bosque relicto estacionalmente seco de Túcume, Lambayeque – Perú.

## **V. MARCO TEÓRICO**

### **5.1. TIPOS DE ÁRBOL PARA SELECCIONAR**

#### **5.1.1. ÁRBOL CANDIDATO**

Árbol preseleccionado por sus buenas características fenotípicas características, no se ha valorado ni sometido a prueba genética (Bello D. & Navarrete T., 1997).

#### **5.1.2. ÁRBOL SEMILLERO**

Árbol seleccionado por sus características fenotípicas deseables no se reconoce su valor genético (Bello D. & Navarrete T., 1997).

### 5.1.3. ÁRBOL PLUS

Árbol que posee un fenotipo claramente superior, en una o varias características de interés económico (Ipinza, 1998) sin valor genético conocido (Bello D. & Navarrete T., 1997), las posibilidades de que posea un buen genotipo son altas para características con un alto grado de heredabilidad (Zobel & Talbert, 1984), serían clave como progenitores en poblaciones de mejoramiento y producción (Ipinza, 1998).

### 5.1.4. ÁRBOL ÉLITE

Individuo que ha demostrado su superioridad genética en pruebas genéticas (de progenie) (Ipinza, 1998). Representa al tipo de individuos deseable para producción masiva de semillas o propágulos vegetativos (Bello D. & Navarrete T., 1997).

## 5.2. BOSQUES ESTACIONALMENTE SECOS (BES)

Los principales biomas forestales del mundo son el bosque tropical, el bosque templado y el bosque boreal (Keith et al., 2009). A su vez, el bosque tropical (40% de la zona tropical y subtropical) es clasificado en: bosque lluvioso tropical (25%), bosque húmedo tropical (33%) y bosque seco tropical (42%) (Brown & Lugo, 1982; Holdridge, 1967; Murphy & Lugo, 1986). El bosque seco tropical se encuentra en América del Sur (54,2 %); Norteamérica, Centroamérica, África y Eurasia (42%); y Australia y el sudeste asiático (3,8%) (Miles et al., 2006).

Los bosques secos tropicales también se denominan bosque tropical estacionalmente seco (Linares, 2004; Mooney et al., 1995), bosque tropical seco (Miles et al., 2006), bosque tropical estacional (Holzman, 2008), bosque tropical latifoliado y bosque tropical estacional (Whittaker, 1975).

Se encuentran entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio, lugares con escasa precipitación con períodos secos prolongados que oscilan entre tres y siete meses (Holdridge, 1967; Janzen, 1988; Murphy & Lugo, 1986; Piperno, 2011).

En estos bosques comenzaron los primeros asentamientos humanos y en sus áreas boscosas se originaron las plantas de cultivo y la cría de animales (Piperno, 2011) dada las características de altitud y clima son lugares donde el ser humano pudo desarrollarse y asentarse.

Son los bosques más amenazados y sus ecosistemas son los más frágiles y menos protegidos (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010; Sanchez-Azofeifa et al., 2003), en el 2006, alrededor del 97% del bosque seco tropical estaba en peligro (Miles et al., 2006), y en la actualidad, estos bosques están amenazados y aún permanecen muy lejos de la preocupación de los ecologistas, científicos y ambientalistas. (Hasnat & Hossain, 2020).

### **5.3. LOS BES DE LA COSTA NORTE DE PERÚ**

Los bosques secos tropicales se encuentran fragmentados en parches (Dirzo & Dominguez, 1995), los de la costa del Pacífico del noroeste de América del Sur contienen las especies endémicas más singulares debido a su aislamiento (Bullock, 1995; Parker & Carr, 1992; WWF & IUCN, 1997).

Los BES se extienden a lo largo de la costa norte del Perú, por los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque y muy pequeñas porciones de Cajamarca y La Libertad. Al 2018, se ubicaban principalmente en Piura (65,1 %), Lambayeque (21,2 %) y Tumbes (13,5 %) (MINAM, 2021b) un total de 2 376 055 ha, que representan el 4.7% del total de

bosques en Perú, de las cuales 505.269 ha corresponden al departamento de Lambayeque y 501 ha a Túcume (MINAM, 2021a).

Crece en suelos generalmente arenosos, en relieves planos de la costa o en pendientes suaves de los andes occidentales. En ellos predominan árboles como el algarrobo y el palo santo en el norte y el hualtaco y el jacarandá hacia el sur-centro, en cuanto a animales el zorro andino, el gato de las pampas, el gavilán, el carpinterito, el canastero y el cortarrama (MINAM & MINAG, 2011).

El criterio para procesar las imágenes de satelitales de los bosques secos del norte de Perú a nivel departamental ha sido definirlo como un ecosistema conformado por árboles en asociación con arbustos, matorrales, cactáceas y herbazales efímeros; donde se considera que, en una hectárea, los árboles presentan una cobertura de copa igual o mayor al 10 %, y una altura igual o superior a 2 m. (MINAM, 2021a, 2021b).

#### **5.4. EL ALGARROBO**

El término “algarrobo” procedería del árabe en su variante andaluza (al-kharrūba), que en las antiguas civilizaciones de la cuenca del Mediterráneo era considerado símbolo de nutrimento y memoria colectiva (Cairati, 2013). En la costa norte de Perú, en lengua muchik se le llama “ong” que significa 'árbol', dejando entender que éste árbol es 'El Árbol' por excelencia en todo el bosque seco (Rostworowski\_en\_Diéz-Canseco, 2005), es parte importante de la identidad de las comunidades e individuos locales (Cairati, 2013).

Cuando llegaron a América, los españoles observaron densos bosques costeros llenos de árboles tan similares al algarrobo mediterráneo (*Ceratonia siliqua*) que los llamaron igual

(Cardich Briceño, 1997) es así que el término algarrobo contiene diferentes especies, de diferentes orígenes y distribuciones geográficas, que en común son los ejes fundamentales de la memoria cultural en aquellas sociedades desarrolladas a su alrededor (Cairati, 2013).

El algarrobo es el árbol más importante económica y ecológicamente en las zonas áridas y semiáridas de todo el mundo (Pasiiecznik et al., 2001). En la costa norte de Perú, el género *Prosopis* es dominante (Dostert et al., 2013), su presencia fue documentada en 13 departamentos desde Tacna a Tumbes, en las zonas costeras hasta 1500 msnm (Brako & J. L. Zarucchi, 1993), sin embargo, parece estar actualmente restringida al centro-norte, desde Áncash hasta Tumbes, incluido Amazonas (Burghardt et al., 2010; Mom et al., 2002), donde *Prosopis pallida* es la especie dominante y aunque existen estudios sobre la posible presencia de *Prosopis juliflora*, en las investigaciones, se aborda el algarrobo como un complejo de estas dos especies (Albán et al., 2002; Burghardt et al., 2010; Pasiiecznik et al., 2001), como género *Prosopis* spp. (Carrillo et al., 2020; Passera, 2000; SERFOR, 2021a; Whaley et al., 2010) o como *Prosopis pallida* (Cuentas Romero & Salazar Toledo, 2011; Grados & Cruz, 1996; Mimbela, 2018; Rivera Curi et al., 2020; Salazar et al., 2019; Silva-Barboza et al., 2021).

Estos árboles alcanzan una altura total de entre 12 a 18 m y hasta 80 cm de diámetro en el tronco que en edad avanzada pueden alcanzar 2 m. En terrenos infértiles con escasez de agua, se pueden hacer arbustivos midiendo hasta 4 metros (Galera, 2000; Málaga, 2018), sus raíces pueden llegar entre 80 m de profundidad (Díaz, 1995; Dostert et al., 2013), pudiendo absorber agua de diferentes profundidades; las laterales absorben agua de lluvia rápidamente pues tienen pelos absorbentes, crecen paralelos al suelo hasta 25 cm de profundidad, puede desarrollarse hasta 3 veces el diámetro de la copa del árbol

(Galera, 2000). Las ramas se bifurcan desde los 10 cm sobre el suelo hasta 150 cm. En plantas adultas, es frecuente encontrar hojas con 2 a 3 pares de pinnas, de 2 a 6 cm de longitud, su inflorescencia se dispone en racimos, amarillo-verdosas. En cada racimo existen alrededor de 200 a 280 flores pequeñas, amarillas-pálidas, bisexuales, actinomorfas, con cinco pétalos separados, de 2,5 a 3 cm de largo (Málaga, 2018). El fruto es carnoso dulce, amarillo, recto o algo curvado, hasta 28 cm de longitud, su semilla es parda ovoide de 6 a 7 mm longitud, 3 a 4 mm de ancho (Prokopiuk et al., 2000). Se encuentran en hábitats de evaporación muy fuerte, con sólo precipitaciones de verano, ocho horas diarias de sol y vientos de 17 km/h. Se desarrollan bien en suelos arenosos-alcalinos (A. E. Vilela, 1996; P. Vilela, 1985). La fructificación se produce durante los meses de octubre a abril (Galera, 2000).

En los BES del norte de Perú, el algarrobo es la especie emblemática y es denominado “Árbol mil usos”, se le considera místico para los pobladores locales herederos de la cultura Sicán, Moche y Chimú.

Este árbol tiene una relevancia desde épocas de las culturas precolombinas, su madera utilizada en la construcción es dura y resistente, existen vigas que han resistido miles de años (MINAM & MINAG, 2011), en la actualidad los pobladores continúan aplicándolo en construcciones rurales de casas, cercos y granjas que son heredados de generación en generación, se le emplea también como leña doméstica para cocinar y como alimento para ganado (Depenthal & Meitzner Yoder, 2018), de sus frutos se elaboran la tradicional algarrobina y la harina de algarroba, productos dulces y con muchas propiedades nutricionales y terapéuticas (MINAM & MINAG, 2011). Su papel ecológico en la

producción del oxígeno, la prevención de intrusión de dunas de arena a las comunidades y como patrimonio cultural es reconocido por los pobladores locales. (Depenthal & Meitzner Yoder, 2018).

Según la clasificación oficial de especies amenazadas de flora silvestre en Perú (Decreto Supremo N°043-2006-AG) *P. pallida* se encuentra clasificado como “Vulnerable” (VU), mientras que *P. chilensis* y *P. Juliflora* En Peligro (EN), para controlar su tala el estado tiene como instrumento a la Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763 (Gobierno\_de\_Perú, 2011) que considera “una infracción muy grave la adquisición, transformación, comercialización o posesión de productos forestales extraídos sin autorización.”

A pesar de los esfuerzos por controlar la tala del algarrobo, su excelente carbón y fuerte demanda de la industria gastronómica especialmente de las pollerías (pollo a la brasa) (Cuentas Romero & Salazar Toledo, 2011; Díaz, 1995) motiva a la tala ilegal selectiva, que altera los patrones normales de regeneración natural del bosque (Leal-Pinedo & Linares-Palomino, 2005). En tal sentido, los taladores ilegales son los responsables directos de su deforestación en el ejercicio de cubrir la demanda (Cuentas-Romero, 2011).

## **VI. ANTECEDENTES**

Los BES pueden ser definidos como bosques que se encuentran en regiones tropicales caracterizados por una marcada estacionalidad en la distribución de las lluvias seguidas con varios meses de sequía (Mooney et al., 1995), la estación seca debe estar entre 5 a 6 meses y experimentan funciones y procesos ecológicos fuertemente estacionales (Pennington et al., 2006).

Pueden ser definidos como bosques dominados por árboles caducifolios en al menos el 50% por sequía, de temperatura media anual de  $>25^{\circ}\text{C}$ , precipitación anual total entre 700 y 2000 mm, y 3 o más meses secos cada año  $<100$  mm (Sánchez-Azofeifa, 2005), por último, fueron descritos también como bosques xerofíticos en alta proporción, densos o ralos, sin follaje en periodos secos, relativamente pobres florísticamente, situados junto al cinturón de bosques húmedos deciduos hasta regiones áridas, donde son sustituidos por sabanas de arbustos espinosos, matorrales suculentos y semidesiertos (Lamprecht, 1990).

Los BES del norte de Perú se definen como un ecosistema conformado por árboles en asociación con arbustos, matorrales, cactáceas y herbazales efímeros; donde una hectárea los árboles presentan una cobertura de copa igual o mayor al 10 %, y una altura igual o superior a 2 m. (MINAM, 2021a, 2021b)

Los BES, son los más amenazados entre todos los bosques del planeta (Hasnat & Hossain, 2020), a la vez son los más frágiles, menos protegidos (Sanchez-Azofeifa et al., 2003) y menos estudiados del mundo (Blackie et al., 2014).

El 54% de los BES en la actualidad se encuentran en América (Miles et al., 2006) donde se encuentra distribuidos en fragmentos de lo que alguna vez fue un solo gran bosque que se extendía desde México hasta el norte de Argentina. Esta fragmentación y pérdida del BES ha sido cuantificada en América (66%), y en Sur América (60%) donde Perú tiene el mayor porcentaje de pérdida de BES (95%) (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010).

Que Perú haya perdido el 95% de su BES deja claro que, este ecosistema ha sido desprotegido en el tiempo frente amenazas que persisten hasta la actualidad cuyo

principal indicador es el actual grado de afectación que el algarrobo presenta en el norte de Perú. (Kometter, 2020).

La regeneración natural de los BES en Perú está regulada por los eventos El Niño (AIDER, 2015), cuyas fuertes precipitaciones cada 2-7 años promedio (IGP, 2018) provocan la germinación de semillas y el establecimiento de plantas jóvenes lo que es crucial en la propagación del algarrobo (Depenthal & Meitzner Yoder, 2018) como de su crecimiento, como ha sido documentado en otras investigaciones sobre El Niño y La Niña y sus anillos de crecimiento (IGP, 2018; Palacios Mc Cubbin et al., 2017).

La pérdida del BES pone en riesgo el patrimonio cultural, ya que las especies que viven en este ecosistema han sido aprovechadas de forma milenaria por culturas prehispánicas (MINAM & MINAG, 2011; SERNANP, 2019), que guardan una conexión profunda desde aquellos tiempos hasta la actualidad mediante mitos, leyendas orales y celebraciones sincréticas (la Cruz de Chalpón en Motupe, Pañalá en Mórrope y la Cruz de Pativilca en Batán Grande) (Maeda, 1987) relacionadas especialmente con el algarrobo, caracterizado como un árbol sagrado e infernal (Sevilla, 2005) cuyas cruces son temidas y veneradas, las que actúan como defensa contra duendes, 'malas sombras' (Cairati, 2013), 'malas horas' y gentiles.

La pérdida de los BES norteños de Perú amenazan la diversidad endémica que en ellos habita (Bullock, 1995; Parker & Carr, 1992; WWF & IUCN, 1997), afecta negativamente a los suelos que pierden nutrientes y fertilidad, incrementa la dificultad para encontrar agua subterránea, lo que conlleva a la desertificación (FAO, 1998) que deja desprotegidos tanto a los ecosistemas colindantes como a las comunidades locales que quedan sin sus

principales fuentes de subsistencia en condiciones de extrema de pobreza (Cuentas Romero & Salazar Toledo, 2011) y climática.

En el BES norteño de Perú el “algarrobo” es el árbol dominante, y pertenece al género *Prosopis*, forma unidades denominadas “algarrobales” donde *P. pallida* es la especie más abundante.

*Prosopis pallida* es un árbol leguminoso nativo del oeste de América del Sur que se encuentra principalmente en Perú y Ecuador (Depenthal & Meitzner Yoder, 2018), es “una de las dos especies arbóreas de mayor importancia económica y ecológica en las zonas áridas y semiáridas del mundo”(Pasiiecznik et al., 2001), es clave en lo ecológico, cultural y económico para el BES norteño del Perú (Depenthal & Meitzner Yoder, 2018), por ello se le considera emblemático (Rivera Curi et al., 2020) o “rey del desierto” y en lo productivo se le considera un árbol multipropósito, por los diversos beneficios directos e indirectos que brinda (Galera, 2000).

Tolera salinidades extremas, vive hasta 1000 años (Pasiiecznik et al., 2001; Whaley et al., 2010) y sobrevive en regiones que promedian alrededor de 5 mm de lluvia porque posee raíces profundas (Díaz, 1995; Dostert et al., 2013).

Las especies del género *Prosopis* mejoran la calidad del suelo en el que crecen (Aggarwal 1998), al fijar grandes sumas de nitrógeno (Rivera Curi et al., 2020) y contenido orgánico (Pasiiecznik et al., 2001; Whaley et al., 2010), al disminuir la salinidad y alcalinidad mientras que aumentan los niveles de fósforo y carbono en el suelo (Aggarwal, 1998; Aggarwal et al., 1976; Singh, 1996); oxigenan la tierra mediante el desarrollo de raíces

pivotantes que llegan a los 80 m de profundidad, las que permiten el flujo de agua subterránea (Díaz, 1995; Dostert et al., 2013), vuelven al suelo más nutrido y productivo (Salazar et al., 2019), Adicionalmente estos árboles capturan humedad y generan sombra produciendo un microclima que beneficia a plantas, animales (Pasiecznik et al., 2001) y poblaciones locales.

Al algarrobo se le aprovechan los frutos para la producción de algarrobina y harina de algarroba, este fruto funciona también como alimento para el ganado y pobladores, su porte sirve para la producción de miel, su madera es aprovechada para la construcción de casas y cercos rurales, es fuente de leña doméstica para la población local y de carbón vegetal demandado por la industria del “pollo a la brasa” (Depenthal & Meitzner Yoder, 2018).

En Perú, la declinación en los algarrobales alcanza el 54%, de este total 40% está muerto y 14% presenta afectación fitosanitaria (SERFOR, 2019). Superficialmente, el 95% de los bosques de algarrobo presentan afectación en rangos que según estimaciones de SERFOR, SENASA y encuestas (Kometter, 2020) se encuentran en Tumbes en el rango bajo-moderado (-30% y hasta 60% de árboles muertos por cada localidad evaluada), Piura presenta afectación en rango bajo-alto (donde los árboles muertos en cada localidad representan -30% a +60%), Lambayeque tiene sus algarrobos afectados en rango medio-alto (+30% a +60% de algarrobos muertos en cada localidad) y por último, La Libertad tiene algarroboales afectados en rango moderado-alto (+60% de algarrobos muertos en cada localidad evaluada), esta última región mencionada tiene la mayor pérdida de algarrobos donde la deforestación ha sido casi total (Depenthal & Meitzner Yoder, 2018).

En el 2006 los algarrobos *P. chilensis* y *P. juliflora* se encontraban En Peligro, mientras que *P. pallida* Vulnerable (MINAGRI, 2006).

La mayor amenaza del algarrobo norteño es antrópica: 1) Los incendios forestales (MINAM & MINAG, 2011); 2) el sobrepastoreo (Sabogal, 2011; SERFOR, 2019) que como amenaza determinante (SERFOR, 2020) es detractado debido a su naturaleza selectiva y a su función de dispersión de semillas (Roque, 2017); 3) el cambio en el uso del suelo, para convertir el BES en áreas urbanas o de minería (Cuentas Romero & Salazar Toledo, 2011), en trochas e infraestructura y (SERFOR, 2019) y para agricultura extensiva (Leal-Pinedo & Linares-Palomino, 2005) que deja áreas desprovistas de algarrobos semilleros, debilitando así la regeneración del BES durante eventos El Niño (Roque, 2017) y por último 4) la deforestación con fines maderables (Leal-Pinedo & Linares-Palomino, 2005) y la tala para la producción ilegal de carbón vegetal de fuerte demanda en el mercado nacional (MINAM & MINAG, 2011; SERFOR, 2020), siendo esta última actividad su principal amenaza junto a la expansión de la ganadería (Fajardo et al., 2005).

En cuanto a las perturbaciones naturales que recibe el algarrobo, se encuentran principalmente la intensidad y frecuencia de 1) sequías (SERFOR, 2019), y 2) El Niño ambos incrementados por el cambio climático, así como 3) la muerte masiva y debilitamiento de algarrobos en todo el BES del norte peruano, que aún no ha sido explicada del todo pero puede estar relacionada a hongos, insectos o virus (Kometter, 2020).

Los esfuerzos de Perú por manejar la extracción de algarrobo para la producción de carbón vegetal, se encuentra la Ley 26258 que hasta 2008, prohibía su tala y venta

(Bennett-Curry, A., Yadvinder & Menton, 2013), desde entonces se han realizado dos proyectos de ley pendientes de aprobación con esfuerzos contrarios entre sí: el Proyecto de Ley 3543 (2009) que prohibía la tala, venta y transporte de algarrobo y otras especies del BES por diez años a nivel nacional (Bos, 2015) y el Proyecto de Ley 1690 (2021) que declararía al algarrobo “maravilla natural” y de interés nacional su recuperación, protección y conservación, aunque también lo declararía “un producto de explotación económica regulable” (Congreso\_de\_la\_República\_del\_Perú, 2022). Pese a que el último Informe Nacional de Fauna y Flora Silvestre (SERFOR, 2019) concluye según sus resultados que los bosques costeros norteños “deben ser considerados como área de conservación y no como área de producción de madera comercial” debido a su grado de afectación.

Legalmente los algarrobos se consideran propiedad del estado, y su tala fuera de un plan de manejo aprobado se considera un delito contra el estado o contra los recursos naturales (Depenthal & Meitzner Yoder, 2018).

Ante la implicancia ambiental y socio-cultural del deterioro de los BES norteños, Perú creó por interés de las poblaciones locales afectadas el Grupo de Trabajo Multisectorial que evalúa la problemática de la reducción poblacional del género *Prosopis* “algarrobo” en la costa norte de Perú.

Parte de esta evaluación se centra en la búsqueda y caracterización de árboles plus de algarrobo *Prosopis* spp. Como base para el desarrollo de árboles élite que podrán ser utilizados en programas de conservación genética, reforestación o forestación.

Para que un árbol pueda ser considerado plus debe ser un individuo en general, alto, con tronco lo más recto posible, libre de bifurcaciones en la base y debe tener un estado fitosanitario bueno, caracteres elegidos debido a su alta heredabilidad, deben haber superado la edad de los 5 a 6 años (porque algunos defectos sólo se expresan a partir de esta edad y porque debe tenerse alguna garantía de la superioridad en su crecimiento), deben encontrarse en una posición sociológica dominante, con ramas delgadas (grosor menor a 4 cm de diámetro o  $<1/3$  del DAP), con un ángulo de rama entre 45° a 90°, excelente estado fitosanitario, así como de la sanidad de los vecinos en poblaciones naturales (Oliva & Rimachi, 2017), ausencia de gambas o aletones, ausencia de grano en espiral y con la mayor altura comercial posible (Vallejos et al., 2010). Otros estudios toman en cuenta caracteres de alto control genético (heredabilidad), alta variación genética y caracteres de fácil medición (Zobel & Talbert, 1984), debido a que es un ideal encontrar individuos con todos los caracteres de niveles superiores, se incluyen individuos con algún defecto leve que posean superioridad fenotípica evidente para cruzarlos en forma controlada con individuos de superioridad volumétrica, estos árboles son parte de la población de mejoramiento genético, además se incluyen individuos sobresalientes en un área de condiciones adversas, ya que es muy probable que tengan un genotipo de alto potencial y que logren alto desempeño en sitios fertilizados (Vallejos et al., 2010).

Los árboles plus, son fuente permanente de producción de semillas que garantizan la transmisión de las características seleccionadas a sus descendientes, por lo que son la alternativa de producción de semillas de calidad a corto plazo por excelencia (Mesén, 1995) y son un punto de partida para todo programa de mejoramiento genético forestal orientado al establecimiento de huertos semilleros y conservación del germoplasma

(Aguirre & Fassbender, 2012) para comercialización y/o establecimiento de plantaciones forestales.

La selección de un árbol plus, tiene como primer paso necesario identificar la especie en el campo; en donde las especies del *Prosopis* se reconocen por su forma, tamaño y morfología foliar, sin embargo, *Prosopis pallida* puede ser confundida con *P. juliflora* (Pasiiecznik et al., 2001) ambas especies se denominan “complejo *P. pallida*—*P. juliflora*”, debido a su hibridación y morfología, aunque la separación de estas especies puede realizarse (Dostert et al., 2013), *P. pallida* es morfológicamente versátil (Pasiiecznik et al., 2001), su alta variabilidad fenotípica se debe a procesos de selección humana, hibridación y translocación desde épocas precolombinas (Whaley et al., 2010), autoincompatibilidad, polinización cruzada obligada y diversos factores principalmente climáticos (Dostert et al., 2013), como la temperatura con la que tiene una relación directa a la tendencia del aumento del número de hojas pequeñas (Dostert et al., 2013), o la correlación positiva entre el adelanto de la estación de floración y su abundancia en relación a El Niño 1+2 o El Niño 3.4 (Mimbela, 2018). Estas variaciones, le dan a *P. pallida* una ventaja ecológica para el ambiente donde se ha especializado, pero hace difícil seleccionar representantes o semillas uniformes para ser destinadas a plantaciones comerciales (Fontana et al., 2018) que sirven como referencia para establecer programas de reforestación (Valladolid et al., 2017).

Mientras que *P. pallida* domina el ecosistema, sus rangos de distribución se encuentran traslapados con los de *P. juliflora* en la costa norte de Perú y sur de Ecuador (Pasiiecznik et al., 2001) pero, otros estudios señalan que *P. juliflora* no se encuentra en Perú y que ha sido confundida con *P. pallida* y *P. limensis* (Burghardt et al., 2010; Palacios et al., 2012), adicionalmente se han propuesto cinco nuevas especies de *Prosopis* para Perú

(Vásquez & Huamán, 2010) dónde *P. pallida* sólo se distribuye en Amazonas y Cajamarca y ya no en la costa norte de Perú, área donde se describe y propone la existencia de una distinta y nueva especie: *Prosopis piurensis*.

La nomenclatura y taxonomía del género *Prosopis* frecuentemente tiene descripciones contradictorias o conceptos sistemáticos distintos (Dostert et al., 2013) así, los estudios realizados en el norte de Perú enfocados en el algarrobo, suelen llevarse sobre el análisis de género *Prosopis* spp., *P. pallida* o de “complejo *P. pallida* -*P. juliflora*”.

La selección de árboles plus es registrada mediante la valoración individual a través de criterios basados en características fenotípicas y medidas dasométricas (García, 2019), donde se evalúan atributos morfológicos cuantitativos (Fontana et al., 2018), también se da mediante estudios por comparación con sus mejores 4 a 5 vecinos, en un radio entre 15 y 20 m de distancia (Zobel & Talbert, 1984), otros estudios en árboles tropicales señalan que estos, deben superar individualmente cada árbol vecino y no solamente su promedio (Vallejos et al., 2010).

El método de valoración individual se usa para bosques disetáneos, heterogéneos con árboles dispersos o de edades desconocidas y/o cuando la población está formada por árboles aislados, se fijan valores mínimos para las características cuantitativas (altura mínima de la primera bifurcación) (Ipinza, 1998).

La selección del árbol plus se realiza en base a características de interés que están en función al objetivo de la plantación forestal, (Vallejos et al., 2010) tipifica estos objetivos en tres junto a sus caracteres de interés:

- Arboricultura (para paisajismo, restauración, arborización, estabilización de suelos, restauración de ambientes) en la que las características privilegiadas son la capacidad de floración, forma de copa, capacidad de crecer en suelos marginales, tolerancia a ambientes contaminados, tolerancia al viento, sanidad y vigor (Torres y Magaña 2001);
- Plantaciones para la producción máxima de biomasa por unidad de área (producción de fibra, carbón o energía), donde los caracteres privilegiados son: alta sobrevivencia, mayor altura comercial, rectitud del fuste y capacidad de crecimiento bajo densidades altas y, por último,
- Plantaciones para la producción de madera sólida de alta calidad y mayor volumen por árbol individual, aquí se privilegian características como: el ideotipo (mayor inversión de la energía en el desarrollo del fuste y poco en ramas), Vallejos explica que una variante de estas plantaciones productivas son los sistemas agroforestales, donde se privilegian las características: menor tamaño de copa; menor cantidad de ramas por metro de fuste; menor conicidad del fuste en espacios abiertos y menor grosor de ramas.

Se seleccionan un máximo de dos o tres características pues, a más variables, menores son las ganancias genéticas, también en el proceso de selección de árboles plus, se definen características "descalificadoras" que eliminen el árbol inmediatamente, estas son: ataque de plagas, enfermedades y árboles bifurcados (Zobel & Talbert, 1984).

El método de selección de árboles plus no es tan importante frente a que se realice con un mismo método estandarizado, así los trabajos asociativos o cooperativos en la selección

del árbol plus pueden transformarse en una unidad monetaria o de intercambio (Ipinza, 1998). Todos aquellos individuos seleccionados se denominan candidatos y cuando superan la evaluación fenotípica, se denominan árboles plus (Vallejos et al., 2010).

Debido a que los caracteres elegidos en un árbol plus deben tener un grado fuerte de heredabilidad, la investigación presente se realiza en base a los resultados de varias investigaciones realizadas en el algarrobo (Albán et al., 2002; FAO, 2004; Roque, 2017; Vallejos et al., 2010)..

En plantaciones jóvenes de *P. alba*, *P. glandulosa*, *P. velutina*, *P. nigra* y *P. articulata* (Oduol et al., 1986) se determinó que es más heredable el contenido de proteína de azúcar en los frutos, por lo que el sabor dulce de sus frutos fue tomado en cuenta para su evaluación. otros estudios analizaron la heredabilidad de la altura y producción de vainas en *P. alba* para producir semillas y clones genéticamente mejorados (Felker *et al.*, 2001) la producción de las vainas fue evaluada también para la selección de árboles plus en este estudio debido al interés de mantener e incrementar la producción de los productos derivados de sus frutos.

En Perú, se han clonado árboles élite multipropósito del complejo *P. pallida*-*P. juliflora* a partir de plantaciones en la región Piura, los caracteres seleccionados fueron: DAP de más de 20 cm, forma erecta y 100% de ramas con vainas de sabor muy dulce, este estudio estuvo enfocado en la importancia forestal maderable y calidad de frutos (Albán et al., 2002), donde se indicó que la selección de árboles multipropósito es muy difícil ya que si bien el diámetro y la altura se pueden medir fácilmente en el campo, los caracteres cualitativos como la producción de vainas y su palatabilidad requieren mucho más tiempo de evaluación. En su trabajo midieron caracteres fácilmente cuantificables (altura y

diámetro) y una clasificación visual basada en criterios verificables (para la producción de vainas y palatabilidad).

En investigaciones realizadas sobre la copa del árbol, que representa la capacidad que tiene el árbol para crecer, desarrollarse y competir por ser lugar de colecta energética y de desarrollo de nuevos tejidos (Hasenauer, 1996; McIntosh y Garman, 2012; Sanquetta *et al.*, 2014 en Cisneros *et al.*, 2019), refieren que el DAP (cm) y la altura total (m) son las variables independientes que mejor estiman la biomasa aérea total del Algarrobo *Prosopis pallida*. (Llanos, 2010), estas dos medidas fueron tomadas en cuenta para la realización del presente estudio.

En condiciones naturales, la copa es normalmente abierta y más amplia que la altura del árbol (Pasiiecznik *et al.*, 2001), en cuanto a la altura total, en condiciones favorables para *P. pallida* puede alcanzar 20 m, pero en condiciones desfavorables pueden llegar a 3 m (Burkart, 1976), su forma de vida es, muy variable, determinada principalmente por la genética, su procedencia como por las condiciones ambientales: suelos poco profundos o vientos sostenidos llevan a formas bajas, la presión de pastoreo y daños llevan a formaciones de múltiples vástagos, la forma y el porte del árbol fueron variables que también se tomaron en cuenta para la investigación (Dostert *et al.*, 2013).

Para la evaluación en campo, el momento elegido debe también ser tomado en suma consideración pues se encuentra en función de la expresión de la característica específica puesta en valor, debido a que parte de los criterios para la selección de árboles plus era la palatabilidad, fue necesario realizar la evaluación en campo durante la época de cosecha.

La duración de la floración y fructificación de *P. pallida* en el norte de Perú es muy variable, aunque hay siempre un periodo con máximos, en el norte de Perú existen dos tiempos de floración: la floración máxima sucede entre diciembre a febrero, cuya fructificación se da entre junio a agosto (Díaz, 1995), mientras que existe otra floración durante julio y agosto cuyos frutos (vainas amarillas de 13 a 25 cm de largo) se producen entre diciembre y febrero (Pasiczek, 2001). En el sur, la floración se da de febrero a abril y la fructificación de octubre a noviembre (Dostert et al., 2013).

En la etapa de campo se ha descrito también el uso de fichas para la toma de datos (Puicón Carrillo, 2019; Silva-Barboza et al., 2021; Vallejos, 2007).

Plantar árboles constituye gran parte de los ambiciosos compromisos de restauración realizados por países de todo el mundo, por tanto es crítico poder seleccionar especies y fuentes de semillas que se adapten a las condiciones presentes y futuras del sitio de restauración y que cumplan con los objetivos de restauración (Fremout et al., 2022).

El gobierno de Perú, como parte de su política de investigación, viene desarrollando una serie de esfuerzos para el estudio del algarrobo, el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) a través del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), desarrolló el manual técnico para la conservación y propagación de especies de algarrobo (Carrillo et al., 2020), en este estudio se recomienda el método de comparación del árbol candidato con cinco mejores árboles vecinos que existen dentro de una vecindad en un radio de 10 a 20 metros con el árbol candidato como centro, recomiendan registrar las medidas y puntajes asignados a los árboles de comparación y al árbol candidato para obtener el diferencial de selección o el puntaje final del árbol candidato.

El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre en su informe de evaluación de implementación del plan operativo institucional (POI) 2021 (SERFOR, 2021b) menciona la realización del documento técnico “Avances sobre la investigación del Algarrobo *Prosopis* (Fabaceae) en la costa norte del Perú” (SERFOR, 2021a), que es una guía que resume todos los estudios realizados sobre el algarrobo en Perú, así como los vacíos de información y las líneas de interés que tiene el estado para desarrollar en los algarrobos, a su vez, la misma institución viene desarrollando el estudio denominado “Caracterización de árboles plus de algarrobo en cinco localidades de Tumbes” y “Estado del arte científico de las especies de algarrobo en el occidente del Perú”.

En Lambayeque los estudios sobre el algarrobo se han dado en relación al contenido proteínico y de carbohidratos en semillas provenientes de Túcume y Olmos (Colqui Ticlia & Domínguez Santoyo, 2018), también diagnósticos de plagas de dípteros en el bosque estacionalmente seco que afectan al algarrobo (Whaley et al., 2010).

El distrito de Túcume, es de interés en cuanto a la presencia del algarrobo, pues posee 501 ha de BES (MINAM, 2021a) y posee parte de la Zona de Amortiguamiento del Santuario Histórico Bosque de Pómac (SHBP), en su plan de desarrollo concertado para el 2019 – 2025, a pesar de la destrucción de los bosques secos, y de la pérdida global de los mismos considera como una oportunidad el posible escenario de regeneración natural y ampliación de áreas de bosque estacionalmente seco por efectos de eventos El Niño más frecuentes e intensos derivados del cambio climático y se interesa por el manejo y aprovechamiento sostenible del algarrobo en las comunidades, se expresa interés en Incrementar y densificar el bosque relicto de algarrobos, sobre todo en torno al patrimonio arqueológico a manera de protección y como cordón que relacione el centro urbano hacia

el cerro Purgatorio o La Raya (Puicón Carrillo, 2019). Sin embargo, aún no se realizó la búsqueda y determinación de árboles plus en esta zona de Perú.

## **VII. HIPÓTESIS**

- Al menos un individuo de *Prosopis* spp. “algarrobo” posee características fenotípicas de interés para ser seleccionado como plus en el área estudiada del bosque relicto estacionalmente seco de Túcume, Lambayeque – Perú.

## **VIII. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **8.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

El estudio se realizó en zona central del departamento de Lambayeque (Fig. 1), en el desierto súper árido premontano tropical (Pratolongo Angulo, 2002), que se corresponde con la zona de vida del bosque estacionalmente seco del norte peruano (FAO & SERFOR, 2017; MINAGRI, 2016; MINAM, 2016).

El distrito de Túcume presenta una temperatura promedio máxima que oscila entre 26,7°C a 33,1°C, la mínima fluctúa entre 14,9°C a 21,5°C. Las lluvias suelen incrementar de noviembre a mayo, siendo más intensas entre enero y marzo (119,1 mm), la precipitación promedio anual es 170,9 mm. y su temporada seca se da de junio a agosto (CENEPRED, 2018).

El área de estudio presentó una altura promedio de 50.92 msnm, siendo un polígono de 6 vértices (Figura 2), cuyas coordenadas UTM son:

627394.109318087 Este, 9278740.57231148 Norte, zona 17

627430.969693909 Este, 9278740.48806959 Norte, zona 17

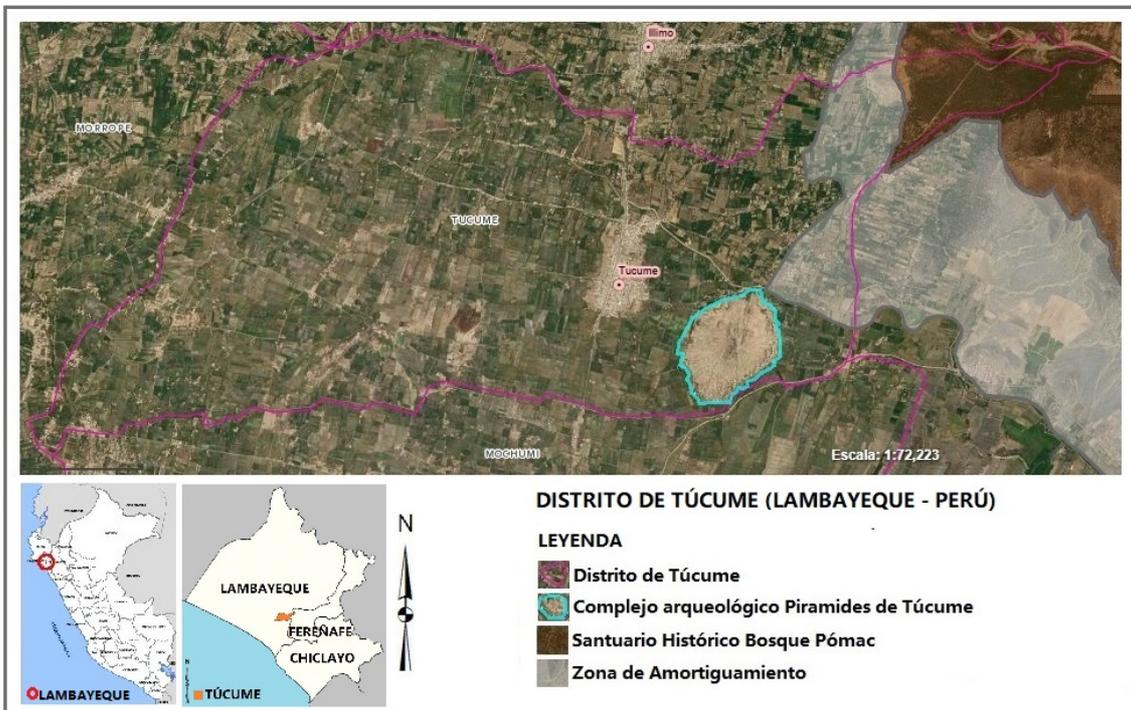
627433.936082566 Este, 9278694.41175072 Norte, zona 17

627418.577604678 Este, 9278694.44685753 Norte, zona 17

627393.667111781 Este, 9278547.08128069 Norte, zona 17

627418.233588391 Este, 9278543.95382079 Norte, zona 17

El bosque relictos estacionalmente seco del distrito de Túcume (Figura 3), es gestionado por el Museo de Sitio de Túcume (Ministerio de Cultura), dirigido por la arqueóloga Dulce María Bernarda Delgado Elías, que custodia y protege a su vez, 26 pirámides correspondientes a la última fase de la cultura Lambayeque, Chimú e Inca, las que habrían servido como refugio climático a consecuencia de la crisis que los habitantes del Bosque de Pómac habrían sufrido tras un Evento El Niño Extremo según investigaciones del director y fundador del museo, el arqueólogo Alfredo Narváez.



**Figura 1.** Contexto geográfico del distrito de Túcume



**Figura 2.** Ubicación geográfica del área de estudio: **a)** Complejo Arqueológico de Túcume administrado por el Museo de Sitio de Túcume, al centro se observa el Cerro La Raya o Purgatorio y en sus faldas las 26 pirámides o huacas rodeadas por el relicto de BES. **b)** Área de estudio frente a la Huaca Las Balsas.



**Figura 3.** Bosque relicto estacionalmente seco de Túcume. **Arriba:** Sección del área de estudio, **Abajo:** parte del área junto a zona arqueológica.

## 8.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo descriptivo, transversal y de diseño no experimental. Las mediciones fueron realizadas por única vez, observando y registrando árboles para ser posteriormente evaluados como plus de “algarrobo”. (Manterola & Otzen, 2014)

## 8.3. VARIABLES

- Altura total del árbol (m).
- Altura hasta la primera ramificación del tronco (m).
- Número de ramificaciones
- Diámetro a la altura del pecho (DAP) (cm).
- Diámetro de la copa (diagonal mayor y diagonal menor).
- Forma del árbol:
  - 1= Tallos debajo de 1.2 m de altura y ramas con ángulos  $> a 30^\circ$
  - 2= Intermedios (entre los valores de 1 y 3)
  - 3= Un tallo debajo de 1.2 m y ramas con ángulos  $< o = a 30^\circ$
- Calidad de tronco:
  - A= Bueno, sin defectos o defectos mínimos que no representan el 10 %.
  - B= Regular con defectos que representan entre el 10-40 % del fuste,
  - C= Defectuoso, defectos que representan más del 40 %,
- Bifurcación:
  - 1= Presencia de bifurcación por debajo del DAP
  - 2= Bifurcado a la altura del DAP
  - 3= No presentan bifurcación o se bifurcan por arriba del DAP.
- Producción de frutos:
  - 0= Sin frutos,
  - 1= Frutos hasta en el 25% de las ramas
  - 2= Frutos hasta en el 50 % de las ramas
  - 3= Frutos hasta en el 75% de las ramas
  - 4= Frutos hasta en el 100% de las ramas
- Calidad de los frutos:
  - 0= Muy amargo
  - 1= Amargo

2= Dulce

3= Muy dulce.

- Calidad del follaje

1: follaje hasta en 1/3 de las ramas,

2: follaje hasta en 2/3 de las ramas,

3: follaje hasta en 3/3 (total) de las ramas.

#### 8.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Objetivos específicos	Variable	Indicador	Escala de medida	Instrumento	Categorización de la variable
Georreferenciar la distribución geográfica de árboles plus de <i>Prosopis</i> spp. “algarrobo” en el bosque relicto estacionalmente seco de Túcume, Lambayeque – Perú.	Dependiente	Género	Nominal	GPS	Cuantitativa continua
Evaluar la biología y dasometría de árboles plus de <i>Prosopis</i> spp. “algarrobo” en el bosque relicto estacionalmente seco de Túcume, Lambayeque – Perú.	Independiente	Altura Diámetro Fruto Follaje	Metro Centímetro Porcentaje Porcentaje	Hipsómetro Centímetro Fichas SERFOR Fichas SERFOR	Cuantitativa continua Cuantitativa continua Cuantitativa nominal Cuantitativa nominal

#### 8.5. MUESTREO

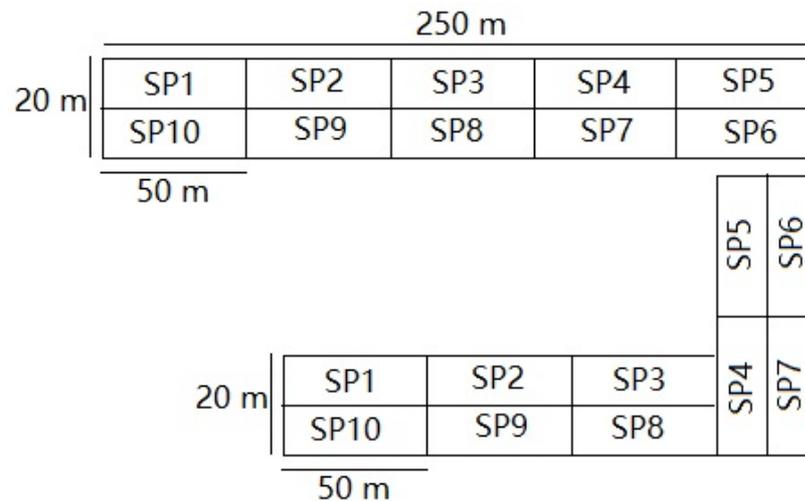
##### 8.5.1. TIPO DE MUESTREO

El muestreo fue aleatorio estratificado. Esta investigación es descriptiva pues se observó y describió los caracteres fenotípicos de los árboles evaluados. (Mostacedo & Fredericksen, 2000)

### 8.5.2. UNIDAD DE MUESTREO

La unidad fue la parcela forestal de 0.5 ha (5000 m<sup>2</sup>) diseñada para bosques de la costa (MINAM, 2015) e inventarios forestales (FAO, 2004). La parcela tuvo una extensión de 250 x 20 m (Carrera, 1996), para mantener la unidad de vegetación en lugares accidentados o con cobertura escasa puede adaptarse (Figura 4).

Se delimitaron 10 subparcelas de 50 x 10 m, donde fueron evaluados todos los árboles con un DAP  $\geq$  10 cm (metodología manejada por SERFOR.2022).



**Figura 4.** Parcela forestal de 250 x 20 m y su adaptación

### 8.5 3. ESFUERZO DE MUESTREO

Se evaluó una parcela forestal en la única estación de muestreo seleccionada dentro del bosque relicto de Túcume, con un esfuerzo de muestreo equivalente a 0,5 ha de bosques de *Prosopis* en la región Lambayeque.

#### 8.5.4. EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y DASOMÉTRICA

La evaluación estuvo centrada en la producción y sabor de los frutos de algarrobo y en menor grado al uso maderable o forraje. Los datos recopilados de cada árbol en cada subparcela son las variables anteriormente explicadas de acuerdo a SERFOR y otros estudios (Albán et al., 2002; FAO, 2004; Roque, 2017; Vallejos et al., 2010).

Las características fueron definidas en base a su heredabilidad (caracteres fenotípicos) y su fácil medición (caracteres dasométricos).

Se realizaron prospecciones en campo antes de seleccionar el área de estudio para identificar en su interior, árboles que visualmente exhiban menos de un 25% de enfermedad en comparación al promedio del entorno y se utilizó el método de valoración individual (Ipinza, 1998).

#### 8.5.5. GEORREFERENCIACIÓN

En la evaluación de campo, se realizó la georreferenciación (coordenadas UTM WGS 84) de los vértices de las subunidades de muestreo; asimismo se georreferenciaron todos los árboles con  $DAP \geq 10$  cm. que entraron en esta evaluación.

### 8.6. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

La valoración dasométrica se dio mediante la evaluación cuantitativa de la altura total del árbol (m), altura hasta la primera ramificación del tronco (m), número de ramificaciones,

diámetro a la altura del pecho (cm). diámetro de la copa (diagonal mayor y diagonal menor).

La selección de los caracteres fenotípicos tuvo como base seis características relacionadas con el porte del árbol y la producción/ calidad de sus frutos mediante la evaluación de la forma del árbol, calidad de tronco, bifurcación del tronco, producción de frutos, calidad de los frutos y calidad del follaje.

La selección partió de árboles que visualmente sanos, una población de 79 individuos identificados como *Prosopis* ssp, con diámetros (DAP) >10 cm

Para determinar árboles plus, se evaluaron los datos dasométricos y fenotípicos, estos últimos se organizaron en las fichas de campo según categorías que se correspondieron a puntajes en una escala de menor a mayor, donde se obtuvo más puntaje cuando la característica de interés fue sobresaliente, estos puntajes se sumaron para que cada individuo obtenga una nueva variable más: puntajes totales (Pt). Fueron seleccionados aquellos árboles cuyos puntajes totales se situaron a partir del tercer cuartil de los datos totales, con puntajes sobresalientes en todas las características de interés.

En el programa R versión 4.2.2 "Innocent and Trusting" (R Core Team, 2020), se calcularon los valores de la media, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación y valores máximos y mínimos en cada variable, tanto para la población base (79) como para los 12 árboles seleccionados como sobresalientes, así como también fue realizado el análisis multivariado.

Como indicador de árboles sobresalientes en base a todas las características buscadas en el estudio, se hizo uso de un análisis de componentes principales (ACP) (Farroñan Espinoza, 2019; Gutiérrez Vázquez et al., 2017) usando los paquetes FactoMineR versión 2.7 (Le et al., 2008), además se realizó un análisis de agrupación vía mapa de calor para los árboles seleccionados como sobresalientes mediante la función pheatmap versión 1.0.12 (Kolde, 2019).

Se estimó la intensidad de selección, que indica en qué medida son fenotípicamente mejores los árboles seleccionados con respecto a la población original de donde fueron tomados (Zobel & Talbert, 1988). El valor del diferencial de selección, se obtuvo restando la media de la población original a la media de los mejores árboles seleccionados en el estudio, por último, se calculó la intensidad de selección dividiendo el diferencial de selección entre la desviación estándar de cada característica evaluada en la población original (Falconer, 1990).

## **8.7. ASPECTO ÉTICO**

La investigación tuvo sumo cuidado con la biodiversidad existente y su protección, así mismo el área de estudio pertenece a un espacio declarado patrimonio histórico y de interés cultural administrado por el Museo de Sitio de Túcume del Ministerio de la Cultura, por lo cual se obtuvo el permiso para el desarrollo del estudio en campo respetando la normatividad existente y no representó amenaza alguna para el mantenimiento y conservación del patrimonio natural, material e inmaterial.

## IX. RESULTADOS

Se identificaron dos árboles plus (árboles N° 72 y N° 54) y tres candidatos (árboles N° 9, N° 12 y N° 77), en 0.5 ha (5000 m<sup>2</sup>) dentro del bosque relicto estacionalmente seco de Túcume situado en el Museo de sitio Túcume (Lambayeque); todos los individuos sujetos de estudio (n=79) fueron calificados, medidos (Anexo 1) y georreferenciados (Anexo 2).

Se evaluaron 79 árboles de DAP  $\geq$  10 cm en 0.5 ha (5000 m<sup>2</sup>), siendo esta medida el único factor de discriminación para la elección de árboles en campo debido a que todos los algarrobos se encontraron en un excelente estado de sanidad (Kometter, 2020; Málaga, 2018; Mormontoy del Pino, 2015).

En esta evaluación, la altura máxima encontrada fue 15.7 m y la mínima 4.40 m (D.E=2.54/ Var.=6.48); la altura máxima de la primera ramificación se encontró a los 2.3 m mientras que la mínima se encontró desde el nivel del suelo (D.E=0.5/ Var.=0.25), así mismo el número de ramificaciones mínima y máxima fue 1 y 6 respectivamente (D.E=0.95/ Var.=0.91), el DAP tuvo un promedio de 20.4 cm con valores máximos y mínimos de 46 cm y 10.4 cm respectivamente (D.E=8.69/ Var.=75.5), las copas de los árboles se midieron en diámetro mayor con 8.44 m en promedio (D.E=2.91/ Var.=8.48), y diámetro menor con un promedio de 6.67 m (D.E=2.77/ Var.=7.66) La forma de los árboles, es decir los árboles con único tallo debajo de 1.2m (h) + ramas/troncos con ángulos  $\leq$  30° representaron el 18.99% de los árboles evaluados, los árboles con múltiples tallos principales debajo de 1.2m (h) + ramas/troncos con ángulos  $>$  30° representaron el 46.8%, mientras que los árboles que se encontraron intermedios a estos criterios representaron el 34.17%. La calidad de los troncos, fue valorada en: bueno

(cuando se encontraron sin defectos o defectos mínimos que no representaron el 10% del tronco) que representó el 97.46% de los árboles evaluados mientras que, la calidad regular (cuando el tronco tuvo defectos entre 10-40% del fuste) representó el 2.53%. Todos los árboles en el área tuvieron calidad buena y regular, por tanto, se encontraban en buen estado. La bifurcación se valoró como máxima (valor 3) cuando fue nula o si se encontró arriba del DAP este grupo representó el 21.5% de los individuos evaluados, cuando se encontró debajo del DAP se valoró con un mínimo (valor 1) que representó el 56.9% y cuando estuvo a la altura del DAP que tuvo valoración intermedia (valor 2) representó el 21.5% de los árboles evaluados. La producción de frutos hasta el 100% del árbol representó el 1.26% de los árboles evaluados (árbol N° 9), mientras que la producción de frutos hasta el 75% representó el 2.53% (árboles N° 67 y N° 72), la producción hasta el 50% del árbol representó el 13.92%, la producción de menos del 25% del árbol fue representada por 39.24%, y los árboles sin frutos representaron el 43.03%; así mismo, en cuanto a la calidad del fruto medida en la dulzura del mismo, no se encontraron frutos muy amargos (de valoración 0), ni amargos (valoración 1), y entre los frutos encontrados, sólo se encontraron frutos de sabor muy dulce (valor 3) correspondiente al árbol N° 9, que representó 8.89% y frutos dulces (valor 2) el 91.11%, es decir casi la totalidad. La calidad del follaje fue valorada en la presencia de hojas: cuando estas se encontraron en hasta 3/3 de las ramas tuvieron el valor 3 que representó el 35.44% de árboles evaluados, cuando se encontraron en hasta 2/3 de las ramas tuvieron valor el 2 representó el 46.83% y cuando se encontraron en hasta 1/3 de las ramas se valoraron como 1 que representó el 17.72%. La forma de árbol, calidad de tronco, bifurcación de fuste, producción de fruto, calidad de fruto y calidad de follaje se evaluaron por categorías con puntajes que se sumaron (Pt) (**Tabla 1 y 2, Anexo 1**) para hallar puntajes totales en cada árbol evaluado.

**Tabla. 1.** Dónde: n= número de observaciones;  $\bar{x}$ = media aritmética, D.E.= desviación estándar; Var= varianza; Min. = mínimo valor; Max= máximo valor; Me= mediana; Q1= primer cuartil; Q3= tercer cuartil; DAP= diámetro a la altura del pecho.

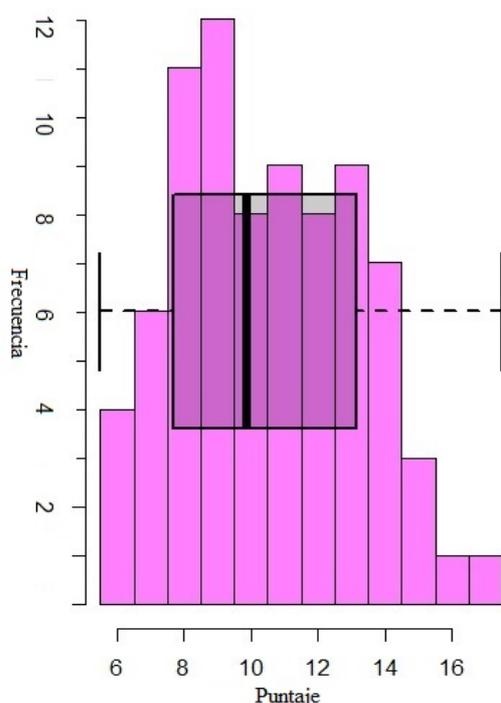
<i>Prosopis ssp. evaluados (n=79)</i>								
Variables	$\bar{x}$	D.E	Var.	Min.	Max.	Me.	Q1	Q3
Altura total (m)	8.66	2.54	6.48	4.4	15.7	7.8	6.7	10.7
Altura de 1° ramificación (m)	0.93	0.5	0.25	0	2.3	0.9	0.55	1.28
Ramificación número	1.7	0.95	0.91	1	6	1	1	2
DAP	20.6	8.69	75.5	10.4	46	17.4	14.2	25
Copa diámetro mayor (m)	8.44	2.91	8.48	2.8	16.7	8.2	6.23	10.6
Copa diámetro menor (m)	6.67	2.77	7.66	2.3	14.7	6.44	4.5	8.37
Forma de árbol	1.72	0.77	0.59	1	3	2	1	2
Calidad de tronco	2.98	0.16	0.02	2	3	3	3	3
Bifurcación de fuste	1.65	0.82	0.67	1	3	1	1	2
Fruto (producción)	0.8	0.87	0.75	0	4	1	0	1
Follaje (calidad)	2.18	0.71	0.51	1	3	2	2	3
Puntajes totales	10.5	2.65	7.02	6	17	10	8	13

**Tabla. 2.** Características de los árboles sobresalientes: En negrita los 2 árboles con mayores puntajes totales y en asterisco los 3 árboles con DAP y alturas totales sobresalientes. Dónde: C= cuadrante, A= árbol evaluado, Ht= altura total del árbol, DAP=diámetro a la altura del pecho, DC=diámetro de copa, FA=forma de árbol, CT=calidad de tronco, BF=bifurcación de fuste, PF= producción de frutos, CF= calidad de frutos, CFo=calidad de follaje.

Características de <i>Prosopis ssp. sobresalientes (n=12)</i>												
C	A	Ht (m)	DAP (cm)	Mayor (m)	Menor (m)	FA	CT	BF	PF	CF	CFo	Pt
9	<b>72</b>	<b>13.1*</b>	<b>39.4</b>	<b>12.4</b>	<b>14.65</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>17</b>
8	<b>54</b>	<b>11*</b>	<b>23.6</b>	<b>16.7</b>	<b>12.82</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>16</b>
4	6	10.5	21.6	6.25	4.75	2	3	3	2	2	3	15
9	66	10.1	22.4	6.18	4.56	2	3	3	2	2	3	15
9	65	9.8	17.4	9.81	7.63	3	3	3	2	2	2	15
4	9	<b>13.1*</b>	34.1	9.1	6.9	1	3	1	4	3	2	14
3	12	<b>10.8*</b>	46	12.6	9.53	3	3	3	1	2	2	14
5	30	6.4	15.2	7.19	6.85	3	3	3	1	2	2	14
9	67	10	15.9	15.83	13.42	2	3	1	3	2	3	14
9	68	4.4	13.9	7.25	6.44	2	3	2	2	2	3	14
10	75	7.4	13.4	7.1	6	3	3	3	1	2	2	14
10	77	<b>11.6*</b>	29.4	11.83	9.66	3	3	3	1	2	2	14

## 9.1. IDENTIFICACIÓN DE *Prosopis* spp PLUS

Se realizó una tabulación de los puntajes que mostraron los individuos para cada variable cualitativa que se sumaron, así se generó un cuadro en donde se representaron los individuos con sus puntajes totales (**Anexo 1**). Se seleccionaron doce árboles sobresalientes (**Tabla 2**) a partir del cuartil superior de los datos encontrados en los puntajes totales, es decir se seleccionaron los árboles que obtuvieron puntajes totales mayores o iguales a 14, estos representaron el 13.92% de los árboles evaluados (**Tabla 1, Figura 5**).



**Figura 5.** Histograma y diagrama de caja de los puntajes totales (Pt) obtenidos y sus frecuencias absolutas para la selección de los árboles sobresalientes (n=79).

En una primera instancia, se seleccionaron dos árboles N° 72 y N° 54 por presentar puntajes sobresalientes (Pt): 17 y 16 respectivamente, que fueron resultantes de su superioridad en cada característica evaluada respecto de su dasometría y fenotipo, sus alturas totales (Ht) estuvieron por encima del tercer cuartil (n=79) (**Tabla 1 y 2**). Fueron

seleccionados, además, diez árboles de mejor puntaje (**Tabla 2**) situados sobre el tercer cuartil con puntajes 14 y 15 (**Figura 5**) que podrían servir para investigaciones posteriores debido a que presentan elevados puntajes en caracteres específicos. El puntaje a partir de 14 podría utilizarse como un indicador de superioridad en futuras investigaciones de la misma línea.

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) (**Figura 6**), en el que se consideraron seis variables o descriptores: número de ramificaciones, altura hasta la primera ramificación del tronco, altura total del árbol, diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro de la copa (diagonal mayor y menor), y el puntaje total (Pt), que fue resultado de la calificación que cada árbol obtuvo tanto de la calidad y producción de frutos como de su porte.

El resultado apoyó la sustentación de la elección del árbol 72 como árbol plus (**Figura 6 y 7; Tabla1**), que se situó de rojo en el margen superior derecho (**Figura 6**).

El análisis de componentes principales dio como resultado que el DAP, diámetro de copa y la altura total del árbol, conducen mejor a la selección de árboles plus representando 42.24% de la varianza total con el primer componente principal (CP).

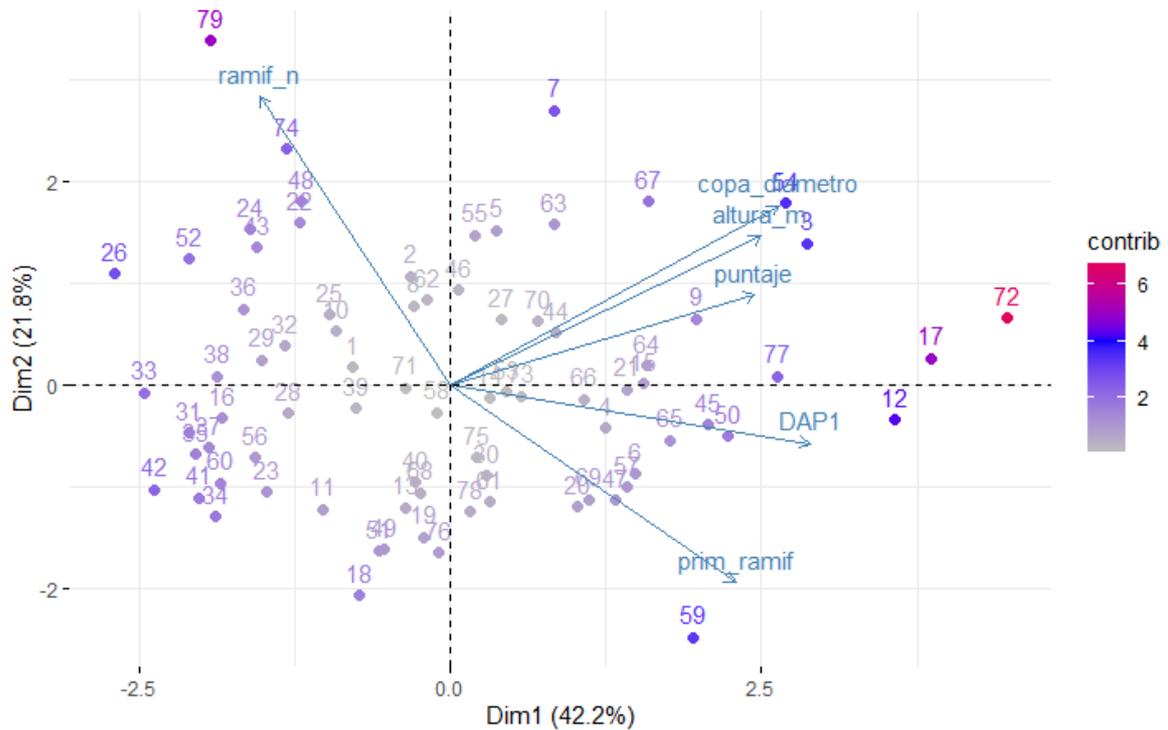
Se observó también, la importancia de tres individuos más: los árboles N°54, N° 17 y N° 12, que se correspondió con los resultados en la tabla 2, donde destacan los mismos árboles y que presentaron diámetros a la altura del pecho (DAP) y alturas totales (Ht) superiores al tercer cuartil, así mismo se hace notar el árbol N° 9 que presentó el mayor puntaje tanto para la producción y como para la calidad de frutos de algarrobo frente a todos los individuos evaluados (**Tabla 2**).

Se realizó un HeatMap o mapa de calor (**Figura 7**) para entender las relaciones entre los doce árboles seleccionados, en el que se consideraron seis variables o descriptores: número de ramificaciones, altura hasta la primera ramificación del tronco, altura total del árbol, diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro de la copa (diagonal mayor y menor), y el puntaje total (Pt), que fue resultado de la calificación que cada árbol obtuvo tanto de la calidad y producción de frutos como de su porte.

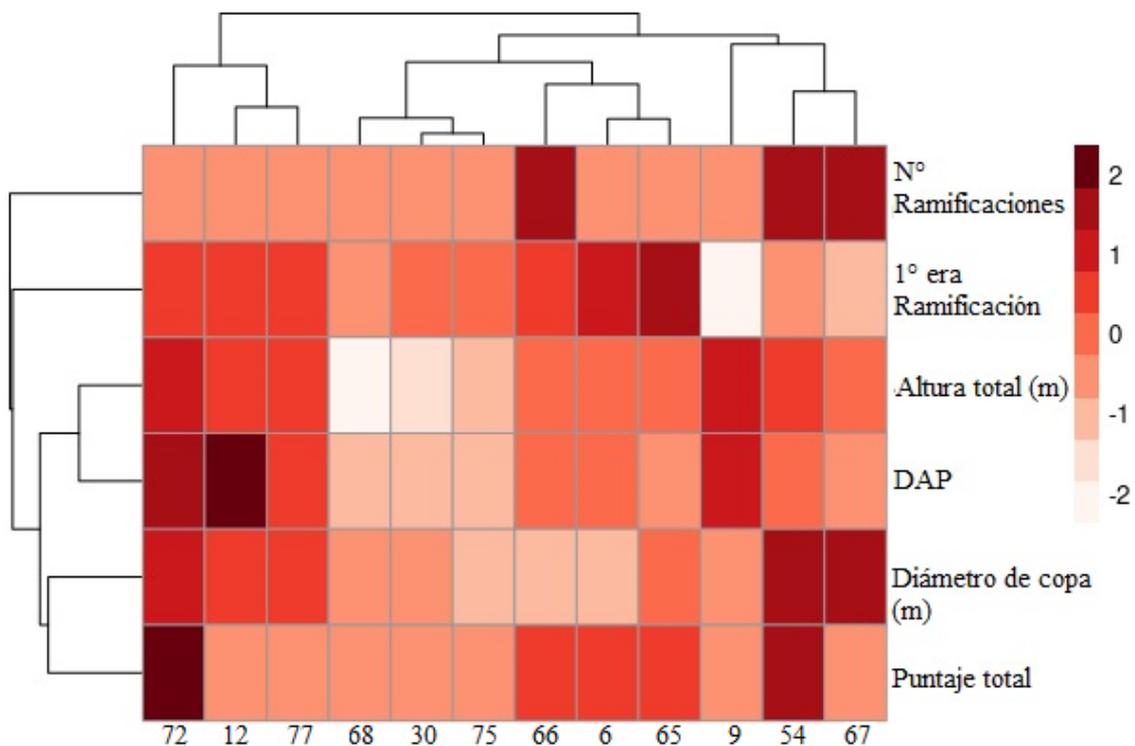
Se observaron principalmente dos grandes grupos (**Figura 7**): el primero, conformado por los árboles 72, 12, 77 con caracteres sobresalientes en la 1era ramificación, altura total, DAP y diámetro de copa simultáneamente, en el que el árbol 72 destaca con su superioridad en la variable Puntaje total (Pt), que representa los mejores caracteres en cuanto a producción y calidad de frutos como al porte del árbol, se relacionó en mejor medida con los árboles 12 y 77, que presentaron los mejores caracteres fenotípicos relacionados al porte. El árbol 12 presentó un DAP sobresaliente.

Un segundo grupo observado fue formado por nueve árboles, donde de acuerdo al número de ramificaciones sobresalieron los árboles 66, 54 y 67; por la altura de su primera ramificación sobresale el árbol 65, de acuerdo al diámetro de copa sobresalieron los árboles 54 y 67, en puntaje total (Pt), en este segundo grupo destacó el árbol 54.

El puntaje total (Pt), aparece más relacionado con el diámetro de copa, lo que es coherente con lo encontrado en campo pues el área de la copa y la calidad del follaje fueron las mejores cuando se encontró mayor producción de frutos. La altura total del árbol y el DAP, naturalmente están mejor relacionadas entre sí en el proceso del crecimiento de los árboles, estas cuatro medidas estuvieron menos relacionadas con el N° de ramificaciones y la altura de la primera ramificación.



**Figura 6.** Biplot del Análisis de componentes principales (ACP). Los árboles (n=79) se encuentran agrupados en función a las variables. Dónde el árbol 72 sobresale en el plano superior derecho al contribuir en mejor medida a la explicación de la variabilidad de CP1 y CP2.



**Figura 7.** HeatMap o mapa de calor. Los árboles sobresalientes (n=12) se encuentran agrupados en función a las variables. Dónde el árbol 72 se muestra sobresaliente en todas las variables a excepción del N° de ramificaciones.

## 9.2. INTENSIDAD DE SELECCIÓN

La mayor intensidad de selección estimada fue para la producción de frutos (1.4) y puntajes totales (1.3), además forma de árbol (1) y bifurcación del fuste (1); mientras que el menor valor se encontró en el número de ramificaciones (-0.5) (**Tabla3**).

**Tabla. 3.** Intensidad de selección de las variables evaluadas. Dónde: n= número de observaciones;  $\bar{x}$ = media aritmética,  $\Delta(\bar{x})$  = diferencia entre medias, S =diferencial de selección, D.E.= desviación estándar; CV= coeficiente de variación; I= Intensidad de selección

Intensidad de selección de las variables evaluadas							
Variables	$\bar{x}$ (n=79)	$\bar{x}$ (n=12)	delta ( $\bar{x}$ )	S (%)	D.E	CV (%)	I
Altura total (m)	8.7	9.9	1.2	13.8	2.5	29.3	0.5
Altura de 1° ramificación (m)	0.9	1.3	0.4	42.7	0.5	54.2	0.8
Ramificación número	1.7	1.3	-0.4	-26.3	1.0	56.1	-0.5
DAP	20.6	24.4	3.8	18.5	8.7	42.3	0.4
Copa diámetro mayor (m)	8.4	10.2	1.8	20.7	2.9	34.5	0.6
Copa diámetro menor (m)	6.7	8.6	1.9	28.9	2.8	41.5	0.7
Forma de árbol*	1.7	2.5	0.8	45.2	0.8	44.5	*1.0
Calidad de tronco	3.0	3.0	0.0	0.8	0.2	5.3	0.2
Bifurcación de fuste*	1.6	2.5	0.9	51.9	0.8	49.6	*1.0
Fruto (producción)*	0.8	2.0	1.2	150.8	0.9	108.8	*1.4
Follaje (calidad)	2.2	2.5	0.3	14.8	0.7	32.7	0.5
Puntajes totales*	10.5	14.0	3.5	33.2	2.6	25.2	*1.3

## 9.3 POSICIONAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE *Prosopis* spp PLUS

Sólo un individuo fue seleccionado como árbol plus: el árbol N° 72, cuyas coordenadas UTM son: 627399.8035 Este, 9278543.996 Norte, zona 17.

El árbol N° 72 (**Tabla 4**), presentó una altura total de 13.1 m, la altura de su primera ramificación se situó al 1.56 m, su DAP fue de 39.4 cm, con un diámetro de copa mayor de 14.65 m y menor de 12.4 m. En cuanto a la forma del árbol, presentó un tallo debajo

de 1.2 m y ramas con ángulos  $\leq 30^\circ$ , la calidad de su tronco fue buena, sin defectos o defectos mínimos que no representan el 10 %, así mismo la bifurcación de su fuste se situó por arriba del DAP, presentó frutos hasta en el 75% de las ramas cuya calidad fue muy dulce, la calidad del follaje fue hasta en 3/3 de las ramas. Su puntaje total fue 17 (Tabla 4).

**Tabla. 4.** Características del árbol plus seleccionado (árbol 72)

<b>Características de <i>Prosopis ssp. plus</i></b>	<b>N° 72</b>
<b>Altura total (m)</b>	13.1
<b>Altura de 1° ramificación (m)</b>	1.56
<b>Ramificación número</b>	1
<b>DAP</b>	39.4
<b>Copa diámetro mayor (m)</b>	14.65
<b>Copa diámetro menor (m)</b>	12.4
<b>Forma de árbol</b>	3
<b>Calidad de tronco</b>	3
<b>Bifurcación de fuste</b>	3
<b>Fruto (producción)</b>	3
<b>Fruto (calidad)</b>	2
<b>Follaje (calidad)</b>	3
<b>Puntaje total (Pt)</b>	17

En el mapa (**Figura 8**), se puede observar la posición del árbol N°72 *Prosopis ssp. plus* (en rojo) así como la de los árboles sobresalientes (en azul), ubicados hacia la zona sur oeste en el área que el Museo de Túcume administra.



**Figura 8.** Mapa georreferenciado de *Prosopis* spp. Plus (árbol N°72) en rojo, así como de los 11 árboles sobresalientes (en azul) encontrados en este estudio. Elaboración: Diego Barrera (Qgis - febrero, 2023).

## X. DISCUSIÓN

En el presente estudio, sólo un árbol (N° 72) *Prosopis* spp. “algarrobo” demostró poseer características fenotípicas de interés para ser seleccionado como plus en 0.5 hectáreas dentro del bosque relicto estacionalmente seco de Túcume en Lambayeque, Perú; en relación al número de árboles plus encontrados, previos estudios (Gutiérrez Vázquez et al., 2017) concluyen que cuando el número de árboles seleccionados es bajo, estos conducen a problemas de endogamia en los programas de reforestación, asimismo, la cantidad mínima para establecer huertos semilleros es seleccionar al menos 20 árboles superiores (Zobel & Talbert, 1988), y en este sentido, Gutierrez en el 2017, seleccionó 30 árboles sobresalientes en 50 hectáreas, mientras que en este estudio fueron seleccionados 12 árboles (11 sobresalientes, 1 plus) para 0.5. hectáreas, así mismo, Vallejos reporta encontrar en su estudio metodológico para la selección de árboles plus, 1 individuo cada 15 a 20 hectáreas; esto se debería a que es una investigación producto de un programa de mejoramiento genético forestal cooperativo entre Costa Rica y Colombia en un periodo de 10 años, tiempo que habría dado oportunidad para ser más selectivos en áreas más extensas para diferentes especies, aquella situación es distinta a esta tesis que es un estudio hecho por primera vez en Lambayeque para *Prosopis* spp. “algarrobo” siguiendo una metodología estandarizada utilizada por SERFOR en Tumbes y Piura (norte de Perú).

Los 11 árboles sobresalientes seleccionados según la variable Puntaje total (que calificó el mejor desempeño en la producción y calidad de frutos), permitieron elaborar un ranking fenotípico de superioridad a modo de tabla en el cual se observó la característica o características que tuvieron desempeños sobresalientes, estos árboles podrían ser

cruzados en forma controlada con individuos de superioridad volumétrica para formar parte de un grupo de mejoramiento genético (Vallejos et al., 2010).

La valoración dasométrica se realizó mediante la evaluación cuantitativa de la altura total del árbol (m), altura hasta la primera ramificación del tronco (m), número de ramificaciones, diámetro a la altura del pecho (cm), diámetro de la copa (diagonal mayor y diagonal menor); así mismo, la selección de los caracteres fenotípicos se basó en seis características relacionadas con el porte del árbol y la producción/ calidad de sus frutos mediante la evaluación de la forma del árbol, calidad de tronco, bifurcación del tronco, producción de frutos, calidad de los frutos y calidad del follaje; tomando en cuenta otras investigaciones (FAO, 2004; Fontana et al., 2018; García, 2019; Ipinza, 1998; Mom et al., 2002; Roque, 2017; Vallejos et al., 2010) siguiendo la metodología que el grupo de investigaciones del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2022) recomienda y utiliza para la selección de árboles plus en investigaciones realizadas en el norte del Perú para árboles de algarrobo, No obstante las características buscadas para la selección de un árbol plus persiguen el objetivo del manejo buscado, de tal manera que mientras se dio más peso a al mejor desempeño en la calidad y producción de frutos en esta tesis, pudiera habersele dado más peso a otra variable, si el fin del manejo así lo requiriera.

El método de selección de árboles plus no es tan relevante como al hecho de que éste sea realizado con un mismo método estandarizado (Ipinza, 1998), en esta tesis se siguieron las directrices que el Servicio Nacional de Servicio Forestal y Fauna Silvestre (SERFOR) utiliza para sus prospecciones en campo y selección de árboles plus de algarrobos en Tumbes y Piura por lo que se ha realizado mediante un método estándar y los resultados podrán formar parte de las evaluaciones en el norte de Perú.

La selección de árboles plus se basa principalmente en la evaluación de características de mayor heredabilidad (Prado, 2005), a su vez *P. pallida* tiene una forma de vida muy variable, determinada principalmente por la genética y condiciones ambientales determinantes (Dostert et al., 2013) especialmente la disponibilidad de agua. En ese sentido, la selección de *Prosopis* plus se han enfocado en el contenido de compuestos nutricionales y metabolitos secundarios de su fruto (Córdoba, 2009), en Piura, fueron seleccionados árboles élite del complejo *P. pallida*-*P. juliflora* en base al DAP  $\geq 20$  cm, forma erecta y 100% de ramas con vainas de sabor muy dulce, este estudio estuvo enfocado en la importancia forestal maderable y en segundo grado a la calidad de frutos (Albán et al., 2002); en investigaciones realizadas sobre la copa del árbol, refieren que el DAP (cm) y la altura total (m) son las variables independientes que mejor estiman la biomasa aérea total del Algarrobo *Prosopis pallida*. (Llanos, 2010), estas dos medidas también fueron tomadas en cuenta en esta tesis.

En los últimos estudios, además de las evaluaciones analíticas para la determinación de árboles plus (Vallejos et al., 2010), se recomienda el uso de análisis multivariados en áreas naturales de especies tropicales (Gutiérrez Vázquez et al., 2017), esto se corresponde con la elaboración de esta tesis en que se usaron ambas metodologías, la selección de árboles plus mediante métodos analíticos como el uso de los puntajes totales y su selección sobre el tercer cuartil resultó efectiva y se sustentó en el árbol detectado por el ACP y observado en el análisis de agrupamiento (HeatMap, tal como se observó en otros trabajos realizados en la selección de árboles plus en eucalipto y caoba donde utilizaron Análisis de componentes principales como indicadores de árboles plus debido a que se suelen tener abundantes variables en este tipo de estudios. (Farroñan Espinoza, 2019; Gutiérrez Vázquez et al., 2017)

La intensidad de selección estimada en la producción de frutos (1.4) y puntajes totales (1.3), además forma de árbol (1) y bifurcación del fuste (1); evidenció que se encontró ganancia genética en el grupo seleccionado de árboles, siendo la más fuerte la producción de frutos, el número de ramificaciones fue la única variable que mostró valores negativos, por lo que no se tendría una ganancia significativa para esta variable en el grupo de árboles seleccionados. Vallejos señala en su estudio del 2010 que utilizar los árboles seleccionados organizados en rankings fenotípicos podría generar una tendencia a subestimar los verdaderos valores de selección, pero este registro es fundamental para la interpretación de ensayos genéticos posteriores.

## **XI. CONCLUSIONES**

En esta evaluación, un árbol (N° 72) *Prosopis* spp. “algarrobo” demostró poseer características fenotípicas de interés para ser seleccionado como plus, mediante métodos multivariados, con la técnica de análisis de componentes principales (ACP) y la de agrupamiento usando un HeatMap, sustentados con el análisis analítico previo basado en los puntajes totales que eran indicador de productividad y calidad de frutos. Se georreferenció y caracterizó el árbol plus.

El estudio se efectuó en un algarrobal del bosque relicto estacionalmente seco de Túcume de 0.5 ha dentro del Museo de Sitio de Túcume, Lambayeque – Perú, donde se definió una población base de 79 árboles en 0.5 ha, así mismo se seleccionaron 11 árboles de interés. Todos los árboles fueron georreferenciados.

La altura total del árbol, diámetro de copa y DAP, fueron las que mejor identificaron las características fenotípicas de los ejemplares superiores en el primer componente, al explicar 42.2% de la varianza total en el análisis multivariado ACP.

El diferencial de selección destaca la producción de frutos (1.4) por tanto los árboles seleccionados cumplen con el criterio de SERFOR de darle más peso a la producción y calidad de fruto que a otras variables relacionadas con el porte del árbol.

## **XII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda ampliar el estudio con más estaciones en Túcume - Lambayeque para robustecer variabilidad en la selección de los árboles plus en el norte de Perú.

Se recomienda, evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de estudio tanto como de la flora y fauna acompañante de los algarrobos, para así entender el tipo de interacciones existentes entre los elementos del BES en torno al algarrobo.

Teniendo en cuenta la muerte masiva de algarrobos en el norte de Perú, sería interesante ampliar estudios en este relicto de bosque en el que los árboles se encontraron en muy buen estado de salud, tanto como en más áreas del BES en Lambayeque.

### XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aggarwal, R. (1998). Effect of *Prosopis* species on properties of arid zone soils. pp. 27-29. In: *Prosopis Species in the Arid and Semi-Arid Zones of India*. (Eds.) J. C. Tewari, N. M. Pasiecznik, L. N. Harsh and P. J. C. Harris. *Prosopis Society of India and the Henry Doubleda*.
- Aggarwal, R., Gupta, S. K., Saxena, & Muthana, K. D. (1976). Studies on soil physico-chemical and ecological changes under twelve years old five desert tree species of western Rajasthan. *Indian Forester* 102:863-872.
- Aguirre, A., & Fassbender, D. (2012). Árboles Semilleros Árboles Plus - Consideraciones básicas para la selección y manejo de árboles semilleros. In *Boletín de Difusión Técnica*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Albán, L., Matorel, M., Romero, J., Grados, N., Cruz, G., & Felker, P. (2002). Cloning of elite, multipurpose trees of the *Prosopis juliflora/pallida* complex in Piura, Peru. *Agroforestry Systems*, 54(3), 173–182.
- Bello D., A., & Navarrete T., M. (1997). Procedimiento de selección de árboles plus de roble y raulí. *Ciencia & Investigación Forestal*, 11(1–2), 29–36. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.1997.253>
- Bennett-Curry, A., Yadvinder, M., & Menton, M. (2013). Leakage Effects in Natural Resource Supply Chains: A Case Study from the Peruvian Commercial Charcoal Market. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 20(4), 336–348. <https://doi.org/10.1080/13504509.2013.804892>
- Blackie, R., Baldauf, C., Gautier, D., Gumbo, D., Kassa, H., & Parthasarathy, N. Sunderland, T. (2014). *Tropical dry forests: The state of global knowledge and recommendations for future research. Discussion Paper. CIFOR. Bogor, Indonesia. Recovered from [http://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/WPapers/DPBlackie1401.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/WPapers/DPBlackie1401.pdf)*.
- Bos, T. (2015). *Trees in the desert: A suitability assessment for a future community forestry and reforestation project in the department of La Libertad, Peru*. University of Applied Sciences Van Hall-Larenstein, The Netherlands.
- Brako, L., & J. L. Zarucchi. (1993). Catalogue of the Flowering Plants and Gymnosperms of Peru. *Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard.*, 45(i–xl), 1–1286.
- Brown, S., & Lugo, A. (1982). The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*, 14(3), 161–187.
- Bullock, S. H. (1995). Plant reproduction in neotropical dry forests. In H. A. Mooney, S. H. Bullock, & Medina (Eds.), *Seasonally Tropical Forests* (pp. 277–303). Cambridge University Press.
- Burghardt, A. D., Brizuela, M., Mom, M. P., Albán, L., & Palacios, R. A. (2010). Análisis numérico de las especies de *Prosopis* L. (Fabaceae) de las costas de Perú y Ecuador. *Revista Peruana de Biología*, 17(3), 317–323. <https://doi.org/10.15381/rpb.v17i3.6>

- Cairati, E. (2013). Historia cultural del algarrobo, desde la cuenca del Mediterráneo hasta la Costa Norte de Perú. *Altre Modernità - Università Degli Studi Di Milano*, 10(11), 186–204.
- Cardich Briceño. (1997). *Una historia sobre los quilates y los algarrobos. Aspector naturales, culturales e históricos del algarrobo*, en *Plural. Revista del Programa de Estudios Generales de la Universidad de Lima*, n. 4-5, pp. 103-111, <<http://blog.pucp.edu.pe/item/157929/los-al>>.
- Carrera, F. (1996). Guía para la planificación de inventarios forestales en la zona de usos múltiples de la reserva de la biosfera Maya, Petén, Guatemala. In *Serie Técnica: Vol. Informe Té* (p. 44 p.).
- Carrillo, F., García, J., Cabrera, R. M., Vásquez, J., Tuisima, L. L., Escobar, H. A., Aguirre, O. J., Quintana, C., & Amasifuen, C. A. (2020). *Manual técnico para la conservación y propagación de especies de algarrobo (Prosopis spp.)*.
- Colqui Ticlia, A., & Domínguez Santoyo, E. (2018). *Comparación del porcentaje de proteínas, carbohidratos y lípidos de Prosopis pallida “algarrobo” proveniente de los distritos de Tucúme y Olmos, departamento de Lambayeque*. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.
- Congreso de la República del Perú. (2022). *Proyecto de ley 1690/2021-CR que “propone declarar de interés nacional la recuperación, protección y conservación del árbol algarrobo o huarango.”*
- Cuentas Romero, M. A., & Salazar Toledo, A. Í. (2011). *De la especie al ecosistema; del ecosistema a la sociedad: revalorizando el algarrobo (Prosopis Pallida) y el reto de su conservación en Lambayeque y en la costa norte del Perú* (S. G. de Lima, Ed.). <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201702.006>
- Depenthal, J., & Meitzner Yoder, L. S. (2018). Community use and knowledge of algarrobo (*Prosopis pallida*) and implications for Peruvian dry forest conservation. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(1), 49. <https://doi.org/10.15359/rca.52-1.3>
- Díaz, A. (1995). *Los “Algarrobos.”* Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONCYTEC.
- Dirzo, R., & Dominguez, C. A. (1995). Plant-herbivore interactions in Mesoamerican tropical dry forests. In S. H. Bullock, Mooney, & E. Medina (Eds.), *Seasonally dry tropical forests* (pp. 277–303). Cambridge University Press.
- Dostert, N., Cano, A., Torre, M. I. La, Weigend, M., Flores, D., Giz, C., & Perubiodiverso, P. (2013). Siete especies de plantas vasculares de importancia económica en el Perú : Fichas botánicas Seven vascular plants species used in Peru : Factsheet botanical. *Arnaldoa*, 20(2), 359–432.
- Fajardo, L., González, V., Nassar, J., Lacabana, P., Portillo, Q., Carrasquel, F., & Rodríguez, J. P. (2005). *Tropical dry forests of Venezuela: characterization and current conservation status*. *Biotropica* 37 (4), 531–546.
- FAO. (1998). *Red latinoamericana de cooperación técnica en sistemas agroforestales*.

- FAO. (2004). *Inventario forestal nacional - Manual de campo. Programa de Evaluación de los Recursos Forestales. Documento de trabajo.*
- Fontana, M., Pérez, V., & Luna, C. (2018). Efecto del origen geográfico en la calidad Biología, morfológica de plantas de *Prosopis alba* (Fabaceae). *Revista de Tropical*, 66(2), 593–604.
- Galera, F. (2000). *Los algarrobos: Las especies del género Prosopis (algarrobos) de América Latina con especial énfasis en aquellas de interés económico.* Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO.
- García, D. (2019). *Identificación y selección de árboles semilleros de Cinchona Officinalis L. (Quina) en el distrito de Querocoto, Chota – Cajamarca.* Universidad Nacional de Cajamarca.
- Gobierno\_de\_Perú. (2011). *Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763.* 159.
- Grados, N., & Cruz, G. (1996). New approaches to industrialization of algarrobo (*Prosopis pallida*) pods in Peru. *Faculty of Engineering University of Piura*, 3(December 2015), 25–42.
- Hasnat, G. N. T., & Hossain, M. K. (2020). Global Overview of Tropical Dry Forests. In *Handbook of Research on the Conservation and Restoration of Tropical Dry Forests* (1st ed., Issue May, p. (1-23) 491). Engineering Science Reference, IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0014-9.ch001>
- Holdridge, L. R. (1967). Life zone ecology. *Tropical Science Center*, 206.
- Holzman, B. A. (2008). *Tropical forest & woodland biomes.* In S. L. Woodward (General Ed.), *Green- wood guide to biomes of the world.* Greenwood Press.
- IGP. (2018). El Niño registrado en especies arbóreas del bosque seco de la costa norte del Perú. *Estudios Para La Estimación Del Riesgo de Desastres - Boletín Técnico PPR/ El Niño*, 5(4), 5–9.
- Ipinza, R. (1998). Métodos de selección de árboles plus. In *Ipinza, R.; Gutiérrez, B. & Emhart, Curso mejora genética forestal operativa* (5th ed., p. 23). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales.
- Janzen, D. H. (1988). *Tropical dry forests: The most endangered major tropical ecosystem.* In E. O. Wilson (Ed.), *Biodiversity* (pp. 130-137). Washington: National Academic Press.
- Keith, H., Mackey, B. G., & Lindenmayer, D. B. (2009). Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(28), 11635–11640. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901970106>
- Lamprecht, H. (n.d.). *Silvicultura en los Trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas – posibilidades y método para un aprovechamiento sostenido.* Eschborn- Alemania. 335p. 1990.

- Leal-Pinedo, J. M., & Linares-Palomino, R. (2005). Los bosques secos de la reserva de biosfera del noroeste (Perú): Diversidad arbórea y estado de conservación. *Caldasia : Boletín Del Instituto de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias de La Universidad Nacional de Colombia*, 27(2), 195–211.
- Linares, R. (2004). Los bosques tropicales estacionalmente secos: I. El concepto de los bosques secos en el Perú. *Arnaldoa*, 11(1), 85–102.
- Maeda, J. (1987). *El Bosque de Pomac en Batán Grande y el Algarrobo Milenario (Prosopis sp)*. Centro de Investigación de Zonas Áridas, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, pp. 83-88.
- Málaga, M. A. V. (2018). *Evaluación de la población de Prosopis pallida var. armata (“huarango”) para conservación y manejo en cuatro quebradas del distrito de yarabamba (Arequipa, 2015)*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Manterola, C., & Otzen, T. (2014). Estudios Observacionales: Los Diseños Utilizados con Mayor Frecuencia en Investigación Clínica. *International Journal of Morphology*, 32(2), 634–645.
- Mesén, F. (1995). *Establecimiento y manejo de rodales semilleros. Identificación selección y manejo de fuentes semilleras* (CONIF & Ministerio De Agricultura y Desarrollo Rural, Eds.).
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., & Gordon, J. E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3), 491–505. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>
- Mimbela, N. D. (2018). Influencia de la Temperatura en la Floración del Algarrobo (*Prosopis pallida*) en los valles: Bajo Piura, Chira. Región Piura-Perú. *Revista ECIPeru*, 59–68. <https://doi.org/10.33017/reveciperu2017.0006/>
- MINAGRI. (2006). Decreto Supremo N° 043-2006 AG: Categorización de especies amenazadas de Flora Silvestre. In *Diario Oficial El Peruano* (Vol. 2, p. 36).
- MINAM. (2015). *Guía de Inventario de la Flora y Vegetación. Dirección General de Evaluación y Valoración y Financiamiento del Patrimonio Forestal, Ministerio del Ambiente*.
- MINAM. (2021a). *Línea de base de los bosques secos de la costa norte del Perú al 2018 - Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático*. 49.
- MINAM. (2021b). *MINAM inicia el primer mapeo de bosques secos en la costa norte del Perú para asegurar su conservación*. Programa Nacional de Conservación de Bosques Para La Mitigación Del Cambio Climático - PNCBMCC. <http://www.bosques.gob.pe/notasdeprensa/Minam-inicia-el-primer-mapeo-de-bosques-secos-en-la-costa-norte-del-Perú-para-asegurar-su-conservación>
- MINAM, & MINAG. (2011). *El Perú de los bosques*.
- Mom, M. P., Burghardt, A. D., Palacios, R. A., & Albán, L. (2002). Los “algarrobos” peruanos: *Prosopis pallida* y su delimitación. *Arnaldoa*, 9(1), 39–48.

- Mooney, H. A., Bullock, S. H., & Medina, E. (1995). *Introduction*. In S. H. Bullock, H. A. Mooney, & E. Medina (Eds.), *Seasonally dry tropical forests* (S. H. Bullock, H. A. Mooney, & E. Medina, Eds.). Cambridge University Press.
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR)* (D. Nash, Ed.). USAID, MDSP.
- Murphy, P., & Lugo, A. (1986). Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol. 17, December, 67–88.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.es.17.110186.000435>
- Oduol, P. A., Felker, P., Mckinley, C. R., & Meier, C. E. (1986). Variation among selected *Prosopis* Families for pod sugar and pod protein contents. *Forest Ecology and Management*, 16, 423–431.
- Oliva, M., & Rimachi, Y. (2017). Selección fenotípica de árboles plus de tres especies Molinopampa, forestales maderables en poblaciones naturales en el Distrito de (Amazonas). *Rev. de Investig. Agroproducción Sustentable*, 1(2), 36–43.
- Palacios Mc Cubbin, E., Navarro-Cerrillo, R., Ghezzi, I., Horna, V., Rodriguez, R., Cruz, G., Mabres, A., & Salazar Zarzosa, P. C. (2017). *Annual variation and climatic influence of ENSO and no- ENSO rainfall on tree ring formation of Prosopis pallida* (Issue March 2018). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33106.66245>
- Parker, T., & Carr, J. (1992). *Status of Forest Remnants in the Cordillera de la Costa and Adjacent Areas of Southwestern Ecuador* (I. Parker, T.A. & J. L. Carr, Eds.; 1st ed., Issue October). Conservation International.
- Pasiecznik, N., Felker, P., Harris, P., Harsh, L., G, C., Tewari, J., Cadoret, K., & Maldonado, L. (2001). The *Prosopis juliflora–Prosopis pallida* Complex: A Monograph. In P. Harris & N. Pasiecznik (Eds.), *Forest Ecology and Management* (Vol. 172, Issues 1–3). HIDRA.
- Passera, C. (Instituto A. de I. de las Z. Á. (IADIZA-C. (2000). Fisiología de *Prosopis* spp. *MULTEQUINA*, 9(2), 53–80.
- Pennington, T., Lewis, G., & Ratter, J. (2006). *Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests: Plant Diversity, Biogeography and Conservation*. CRC Press, FL, USA. Prado,.
- Piperno, D. (2011). The origins of plant cultivation and domestication in the New World Tropics patterns, process, and new developments. *Current Anthropology*, 52(SUPPL. 4). <https://doi.org/10.1086/659998>
- Portillo-Quintero, C. A., & Sánchez-Azofeifa, G. A. (2010). Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation*, 143(1), 144–155.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.09.020>
- Pratolongo Angulo, F. (Ed.). (2002). *Área de conservación privada Chaparri*.
- Prokopiuk, D., Cruz, G., Grados, N., Garro, O., & Chiralt, A. (2000). Estudio comparativo entre frutos de *Prosopis alba* y *Prosopis pallida*. *Multequina*, 9(1), 35–45.

- Puicón Carrillo, J. (2019). *Plan de Desarrollo Concertado del Distrito de Túcume. 2019 - 2025*. Municipalidad Distrital de Túcume, Lambayeque - Perú.
- Resolución Ministerial N° 0080-MINAGRI, (2020).
- Rivera Curi, J. C., Cabrera Pintado, R. M., & Bulnes Soriano, C. F. (2020). Micropropagación de *Prosopis pallida* (Humb & Bonpl. Ex Willd.) Kunth a partir de yemas apicales. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 22(1), 18–26. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v22n1.70949>
- Roque, E. (2017). *Optimización del tamaño de la parcela en un inventario forestal de un bosque seco*.
- Rostworowski\_en\_Diéz-Canseco. (2005). *Recursos Naturales Renovables y Pesca, Siglos XVI y XVII: Curacas y sucesiones, Costa Norte, Instituto de Estudios Peruanos, Lima*.
- Sabogal, A. (2011). *Estudio de la vegetación y el pastoreo en los bosques secos del norte del Perú con énfasis en la distribución de Ipomoea carnea Jacq.*
- Salazar, P. C., Navarro-Cerrillo, R. M., Grados, N., Cruz, G., Barrón, V., & Villar, R. (2019). Tree size and leaf traits determine the fertility island effect in *Prosopis pallida* dryland forest in Northern Peru. *Plant and Soil*, 437(1–2), 117–135. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-03965-7>
- Sanchez-Azofeifa, A., Kalacska, M. E., Quesada, M., Stoner, K. E., Lobo, J. A., & Arroyo-Mora, P. (2003). Tropical Dry Climates. In *Phenology: an integrative environmental science* (Issue 1995, pp. 121–137). [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0632-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0632-3_9)
- Sánchez-Azofeifa, G. A. et al. (2005). Research priorities for Neotropical dry forests. *Biotropica*, 37(4), 477–485.
- SERFOR. (2019). *Informe del inventario nacional forestal y de fauna silvestre del Perú - Primer panel. 1*, 1–342.
- SERFOR. (2020). *Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Informe de resultados del Panel 1. Lima, Perú*. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1973.tb28269.x>
- SERFOR. (2021a). *Avances sobre la investigación de “algarrobo” Prosopis (Fabaceae) en la costa norte del Perú*.
- SERFOR. (2021b). *Informe de evaluación de implementación del plan operativo institucional (POI) del primer semestre 2021*.
- SERNANP. (2019). *Centros ceremoniales y Bosques en el Valle de la Leche*. 1–20.
- Sevilla, J. (2005). *Campesino: agua, plantas y aves, UMBRAL. Revista de Educación, Cultura y Sociedad, FACHSE- Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Año V, 8, 34-42*.
- Silva-Barboza, L. F., Huayama, H., & Manuel, J. (2021). *Determinación del porcentaje de árboles de algarrobo (Prosopis pallida (Hum. & Bonpl. ex Willd.) Kunth), que cumplen con los criterios de selección para su conservación genética en los bosques estacionalmente secos del Marañón. (Proyecto)*. Universidad Nacional de Jaen.

- Singh, G. (1996). *The role of Prosopis in reclaiming high-pH soils and in meeting firewood and forage needs of small farmers. 1.3-1.27. In P. Felker and J. Moss (Eds.), Prosopis: Semiarid Fuelwood and Forage Tree; Building Consensus for the Disenfranchised.* Kingsville, T.
- Valladolid, J., León, Á., & Paredes, D. (2017). Selección de árboles semilleros en revista, plantaciones forestales de la península de Santa Elena - Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 4(2), 105–110.
- Vallejos, J. (2007). *Contribuciones al programa de mejoramiento genético de BARCA S.A.* Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Vallejos, J., Badilla, Y., Picado, F., & Murillo, O. (2010). Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense*, 34(1), 105–119. <https://doi.org/10.15517/rac.v34i1.6704>
- Vilela, P. (1985). *Ensayos Experimentales con Prosopis e introducción de especies y Procedencias de la zona árida de Sechura.*
- Whaley, O. Q., Borda, C., Moat, J., Wilkinson, T., Sánchez, A. B., & Gagné, R. J. (2010). Ecology and diagnosis of *Enallodiplosis discordis* (Diptera:Cecidomyiidae): A fierce new defoliator with direct repercussions for loss of *Prosopis* dry forest and livelihoods in Peru. In *Revista Peruana de Biología* (Vol. 27, Issue 4). <https://doi.org/10.15381/RPB.V27I4.19200>
- Whittaker, R. H. (1975). *Communities and ecosystems* (2nd ed.). Macmillan Publishing Co.
- WWF & IUCN. (1997). *Centres of plant diversity: a guide and strategy for their conservation, v.3. Americas* (D. Stephen & H. Vernon, Eds.; Vol. 3).
- Zobel, B., & Talbert, J. (1984). *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales.* Limusa.

#### XIV. ANEXOS

**ANEXO1.** Características de los árboles evaluados, dónde: C= cuadrante, A= árbol evaluado, Ht= altura total del árbol, PR= primera ramificación, NR= número de ramificaciones, DAP= diámetro a la altura del pecho, DC= diámetro de copa, FA= forma de árbol, CT= calidad de tronco, BF= bifurcación de fuste, PF= producción de frutos, CF= calidad de frutos, CFo= calidad de follaje, Pt= puntajes totales.

A	Ht (m)	PR (m)	NR	DAP (cm)	DC (mayor)	DC (menor)	FA	CT	BF	PF	CF	CFo	Pt
1	7.5	0.7	2	17	6.74	5.9	1	3	1	1	2	3	11
2	8.3	0.4	2	17	11.2	8.22	1	3	1	1	2	3	11
3	12.7	0.9	2	43.5	14.74	13.6	1	3	1	1	2	2	10
4	10.1	1.19	1	25.9	8.18	7.89	3	3	1	1	2	2	12
5	13.3	1.22	3	11	8.5	5.2	2	3	1	2	2	3	13
6	10.5	1.66	1	21.6	6.25	4.75	2	3	3	2	2	3	15
7	12.7	0.4	3	21.8	13.3	11.4	1	3	1	1	2	3	11
8	10.5	0.65	2	17.1	10	6.74	1	3	1	1	2	1	9
9	13.1	0.49	1	34.1	9.1	6.9	1	3	1	4	3	2	14
10	9.4	0	1	13.1	7.55	7.4	3	3	3	0	-	1	10
11	5.7	0.7	1	25.5	8.21	5.43	1	2	1	0	-	2	6
12	10.8	1.54	1	46	12.6	9.53	3	3	3	1	2	2	14
13	5.9	1.1	1	22.8	8.03	7.64	2	3	1	0	-	2	8
14	11.9	0.84	1	16.8	5.8	4.9	2	3	1	1	3	2	12
15	12.6	1.2	1	25.7	12	8.56	1	3	1	1	2	1	9
16	7.7	0	1	15.5	4.8	4.55	1	3	1	0	-	3	8
17	15.7	1.61	1	41	12.98	11.3	3	3	3	0	-	2	11
18	5	1.6	1	20.6	6.3	7.2	1	2	1	0	-	2	6
19	6.2	0.8	1	37	5.4	6.3	1	3	1	0	-	2	7
20	7.7	1.3	1	31.4	6.2	5.3	2	3	2	1	3	2	13
21	11.3	0.7	1	37	9.6	8.8	1	3	1	1	2	1	9
22	9.3	0	3	20.5	6.9	4.3	1	3	1	1	2	3	11
23	6.8	0.7	1	13.8	4.94	3.4	1	3	1	1	2	1	9
24	7.8	0.3	3	10.4	8.2	7.33	1	3	1	1	2	2	10
25	11.8	0.4	2	13.9	5.3	3.2	1	3	1	1	2	2	10
26	8.2	0	3	10.9	5.4	2.3	1	3	1	0	-	3	8
27	11.2	1.15	2	13.6	9.2	6.6	2	3	1	1	2	3	12
28	8.8	0.4	1	14.3	8.9	5.67	1	3	1	0	-	1	6
29	7.8	0.59	2	12.5	8.12	6.8	1	3	1	0	-	2	7
30	6.4	1.34	1	15.2	7.19	6.85	3	3	3	1	2	2	14
31	7.2	0.7	2	12.4	4.7	3.2	1	3	1	0	-	2	7
32	7.8	0.8	3	22.9	8.2	5	1	3	1	0	-	1	6
33	5.6	0.2	2	14.2	6.2	4.1	1	3	1	0	-	2	7
34	6.2	0.56	1	16.1	3.4	2.7	2	3	2	0	-	1	8
35	7	0.74	2	14.5	2.8	2.5	2	3	1	0	-	2	8
36	7.3	0.55	3	17.2	7.2	5.4	2	3	1	0	-	2	8

37	5.8	0.9	2	10.5	4.7	3.7	2	3	1	0	-	3	9
38	6.7	0.99	3	12.6	4.5	3.8	1	3	2	0	-	3	9
39	6.3	0.9	2	19.8	7.3	6.2	2	3	2	0	-	3	10
40	10.1	1.25	1	14.6	6.3	4.2	1	3	2	0	-	3	9
41	5.5	0.45	1	14.43	4.6	3.5	1	3	2	0	-	2	8
42	5.5	0.9	2	12.5	3.5	2.5	1	3	2	0	-	1	7
43	7.2	0.25	3	17	9.5	7.6	2	3	1	0	-	2	8
44	10.2	1.1	2	22	10.79	5.24	2	3	2	2	2	2	13
45	11.1	1.51	1	27.8	9.45	8.5	1	3	3	2	2	2	13
46	11	0.65	2	16.7	7.53	7.12	3	3	1	1	2	2	12
47	6.5	1.76	1	24.8	11.22	8.57	1	3	3	1	2	2	12
48	6.3	0.84	4	10.5	8.83	7.16	1	3	2	2	2	3	13
49	7.3	1.44	1	17	5.4	4.2	1	3	3	0	-	2	9
50	11.7	1.36	1	35.9	10.7	5.6	1	3	3	1	2	2	12
51	5.8	1.4	1	16.1	5.27	4.12	1	3	3	1	2	1	11
52	7.6	0.23	3	10.7	7.52	4.8	3	3	1	0	-	2	9
53	5.8	1.23	2	25.1	10.86	9.62	2	3	1	1	2	2	11
54	11	1.17	2	23.6	16.7	12.82	3	3	2	2	3	3	16
55	8.6	0.95	3	18.1	11.41	9.27	2	3	1	1	2	3	12
56	6.3	1.15	2	11.9	7.45	3.1	2	3	1	0	-	2	8
57	9.2	1.76	1	26.4	11.1	9	1	3	2	0	-	3	9
58	7.3	0.5	1	24.4	10.4	6.17	2	3	2	0	-	3	10
59	7	2.3	1	43	10.44	4.03	2	3	2	0	-	2	9
60	7	0.6	1	10.6	4.9	3.5	1	3	1	0	-	3	8
61	7.7	1.2	1	28.2	8.74	6.82	1	3	1	0	-	3	8
62	10	0.72	2	18.1	11.4	10.14	2	3	1	0	-	1	7
63	13.6	0.46	2	22.5	10.5	7.93	2	3	1	1	2	2	11
64	8.5	0.96	1	26.5	11.83	11.5	2	3	2	1	2	3	13
65	9.8	1.8	1	17.4	9.81	7.63	3	3	3	2	2	2	15
66	10.1	1.53	2	22.4	6.18	4.56	2	3	3	2	2	3	15
67	10	0.95	2	15.9	15.83	13.42	2	3	1	3	2	3	14
68	4.4	1.22	1	13.9	7.25	6.44	2	3	2	2	2	3	14
69	11.3	1.84	1	17.6	5.27	4.45	1	3	2	2	2	3	13
70	12	0.54	1	18.2	9.82	7.21	1	3	2	1	2	3	12
71	8.8	0.49	1	18.3	8.52	8.23	3	3	1	0	-	2	9
72	13.1	1.56	1	39.4	12.4	14.65	3	3	3	3	2	3	17
73	7.7	0.62	1	28.4	10.87	9.41	2	3	1	1	2	1	10
74	4.8	0.35	4	13.5	11.39	8.85	2	3	1	2	2	3	13
75	7.4	1.25	1	13.4	7.1	6	3	3	3	1	2	2	14
76	5.2	1.62	1	15.7	6.74	4	3	3	3	1	2	1	13
77	11.6	1.42	1	29.4	11.83	9.66	3	3	3	1	2	2	14
78	6.7	1.4	1	21.1	8.74	6.13	3	3	3	0	-	1	10
79	6.8	0.55	6	14.2	7.8	8.93	2	3	1	1	2	2	11

**ANEXO 2. .** Georreferenciación de los árboles evaluados, dónde: A= árbol evaluado, Alt= altitud (msnm), Lat = latitud, Lat.H= latitud hemisferio, Long= longitud, Long.H= longitud hemisferio, UTM.E= grados UTM wgs84 este, UTM.N= grados UTM wgs84 norte, UTM.Z= UTM wgs84 zona.

<b>A</b>	<b>Alt</b>	<b>Lat</b>	<b>Lat.H</b>	<b>Long</b>	<b>Long. H</b>	<b>UTM.E</b>	<b>UTM.N</b>	<b>UTM.Z</b>
1	52	-6.52383333	S	-79.8477778	O	627397.188	9278743.64	17
2	53	-6.52386111	S	-79.8477778	O	627397.181	9278740.57	17
3	53	-6.52394444	S	-79.8478056	O	627394.088	9278731.36	17
4	52	-6.52397222	S	-79.8478333	O	627391.01	9278728.29	17
5	52	-6.52405556	S	-79.8478056	O	627394.06	9278719.07	17
6	52	-6.52405556	S	-79.8477778	O	627397.132	9278719.07	17
7	52	-6.52408333	S	-79.8477222	O	627403.268	9278715.98	17
8	52	-6.52413889	S	-79.8477222	O	627403.254	9278709.84	17
9	51	-6.52419444	S	-79.8477778	O	627397.097	9278703.71	17
10	52	-6.52380556	S	-79.8477222	O	627403.338	9278746.69	17
11	53	-6.52383333	S	-79.8477222	O	627403.331	9278743.62	17
12	54	-6.52386111	S	-79.8476667	O	627409.468	9278740.54	17
13	56	-6.52397222	S	-79.8476667	O	627409.44	9278728.25	17
14	59	-6.52383333	S	-79.8476389	O	627412.547	9278743.6	17
15	58	-6.52391667	S	-79.8476389	O	627412.525	9278734.39	17
16	53	-6.52405556	S	-79.8476389	O	627412.49	9278719.03	17
17	50	-6.52413889	S	-79.8475833	O	627418.613	9278709.8	17
18	56	-6.52391667	S	-79.8475278	O	627424.812	9278734.36	17
19	57	-6.52405556	S	-79.8474722	O	627430.921	9278718.99	17
20	54	-6.52413889	S	-79.8474444	O	627433.971	9278709.77	17
21	57	-6.52427778	S	-79.8474722	O	627430.864	9278694.42	17
22	60	-6.52430556	S	-79.8477222	O	627403.212	9278691.41	17
23	59	-6.52433333	S	-79.8477778	O	627397.062	9278688.35	17
24	58	-6.52436111	S	-79.8477222	O	627403.198	9278685.27	17
25	58	-6.52436111	S	-79.84775	O	627400.126	9278685.28	17
26	57	-6.52438889	S	-79.8477222	O	627403.191	9278682.2	17
27	54	-6.52447222	S	-79.8477222	O	627403.17	9278672.98	17
28	57	-6.5245	S	-79.8476944	O	627406.586	9278823.47	17
29	55	-6.52458333	S	-79.8476944	O	627406.214	9278660.69	17
30	55	-6.52463889	S	-79.8477222	O	627403.128	9278654.56	17
31	57	-6.52430556	S	-79.8475	O	627427.786	9278691.35	17
32	55	-6.52430556	S	-79.8475	O	627427.786	9278691.35	17
33	53	-6.52430556	S	-79.8475556	O	627421.642	9278691.37	17
34	50	-6.52444444	S	-79.8476389	O	627412.392	9278676.03	17
35	52	-6.52447222	S	-79.8476667	O	627409.313	9278672.97	17
36	54	-6.5245	S	-79.8475833	O	627418.521	9278669.88	17
37	55	-6.5245	S	-79.8475	O	627427.737	9278669.86	17
38	51	-6.52458333	S	-79.8475556	O	627421.572	9278660.66	17

39	53	-6.52455556	S	-79.8475833	O	627418.507	9278663.73	17
40	50	-6.52452778	S	-79.8475833	O	627418.514	9278666.81	17
41	53	-6.52463889	S	-79.8475833	O	627418.486	9278654.52	17
42	54	-6.52461111	S	-79.8476111	O	627415.422	9278657.6	17
43	54	-6.52463889	S	-79.8476111	O	627415.415	9278654.53	17
44	40	-6.52477778	S	-79.8476667	O	627409.236	9278639.18	17
45	47	-6.52477778	S	-79.8477222	O	627403.093	9278639.2	17
46	51	-6.52483333	S	-79.8477222	O	627403.079	9278633.06	17
47	52	-6.52488889	S	-79.8476389	O	627412.28	9278626.89	17
48	50	-6.52502778	S	-79.8476667	O	627409.173	9278611.54	17
49	53	-6.52472222	S	-79.8475833	O	627418.465	9278645.31	17
50	50	-6.52477778	S	-79.8476389	O	627412.308	9278639.18	17
51	45	-6.52483333	S	-79.8475833	O	627418.437	9278633.02	17
52	45	-6.52480556	S	-79.8475833	O	627418.444	9278636.09	17
53	52	-6.52477778	S	-79.8475833	O	627418.451	9278639.16	17
54	65	-6.525	S	-79.8475278	O	627424.538	9278614.58	17
55	45	-6.52505556	S	-79.8475556	O	627421.453	9278608.44	17
56	52	-6.52505554	S	-79.8475555	O	627421.451	9278608.43	17
57	54	-6.52505556	S	-79.8475833	O	627418.381	9278608.45	17
58	37	-6.52525	S	-79.8477222	O	627402.973	9278586.99	17
59	37	-6.52525	S	-79.8477222	O	627402.973	9278586.99	17
60	42	-6.52527778	S	-79.8477222	O	627402.966	9278583.92	17
61	45	-6.52533333	S	-79.8476944	O	627406.024	9278577.77	17
62	43	-6.52541667	S	-79.8476944	O	627406.003	9278568.55	17
63	44	-6.5255	S	-79.8476667	O	627409.054	9278559.33	17
64	45	-6.52547222	S	-79.8476944	O	627405.989	9278562.41	17
65	45	-6.5255	S	-79.8476389	O	627412.125	9278559.32	17
66	45	-6.52552778	S	-79.8476944	O	627405.975	9278556.27	17
67	44	-6.52555556	S	-79.8476944	O	627405.968	9278553.2	17
68	45	-6.52558333	S	-79.8476389	O	627412.104	9278550.11	17
69	46	-6.52563889	S	-79.8477222	O	627402.875	9278543.99	17
70	48	-6.52563889	S	-79.8476944	O	627405.947	9278543.98	17
71	47	-6.52566667	S	-79.8476389	O	627412.083	9278540.9	17
72	49	-6.52563889	S	-79.84775	O	627399.803	9278544	17
73	47	-6.52563889	S	-79.8475833	O	627418.234	9278543.95	17
74	47	-6.52558333	S	-79.8475556	O	627421.319	9278550.09	17
75	49	-6.52552778	S	-79.8475833	O	627418.262	9278556.24	17
76	47	-6.5255	S	-79.8475833	O	627418.269	9278559.31	17
77	47	-6.52547222	S	-79.8475556	O	627421.347	9278562.37	17
78	47	-6.52547222	S	-79.8475	O	627427.491	9278562.36	17
79	44	-6.52538889	S	-79.8475833	O	627418.297	9278571.6	17