



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



Universidad Nacional "San Luis Gonzaga"
Facultad de Agronomía
Dirección Unidad de Investigación
"Fundo Arrabales" Altura Km 299 Panam. Sur
Teléf.: 056-257444 Anexo 25
Ica – Perú



CONSTANCIA DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD 2026

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

Producción de plantones en sustrato orgánico más Bentonita con semilla procedente de árbol longevo de huarango (*Prosopis sp.*) en condiciones de vivero en el distrito de Ocucaje-Ica.

Presentado por:

ATOCCSA CABANA JUAN ANTHONY

Graduado del nivel Pregrado de la Facultad de Agronomía. El resultado obtenido es 01% de similitud (Uno por ciento de similitud) por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO

Según Reglamento para la evaluación de la originalidad de los documentos de investigación, aprobado con Resolución Rectoral N° 1668-R-UNICA-2020 – (18.1 La Universidad considera como original al documento de investigación que presenta un porcentaje de similitud menor o igual al veinte por ciento (20%) con textos de otros autores, según el informe automatizado de originalidad del programa informático adoptado por la Universidad.)

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

- Se analizó la **TESIS** mediante el programa informático iThenticate.
- Se consideró la exclusión de cadenas sintácticas de **40 palabras**, se adjunta pantallazo de la exclusión.

(15.5 La exclusión de cadenas sintácticas cortas procede para evitar que, frases habituales o de conexión, sean reportadas como similitudes. La longitud de las cadenas excluidas no debe superar las cuarenta (40) palabras y debe adecuarse a las características de la disciplina a la que corresponde el documento evaluado, además debe constar en el informe los criterios de exclusión utilizados).

Ica, 25 de marzo del 2026.

Dr. FELIX GUILLERMO FUENTES QUIJANDRIA
Director de la Unidad de Investigación
Facultad de Agronomía

CARMINA PAOLA DONAYRE ESPINOZA
Operador del Programa Informático iThenticate

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Producción de plantones en sustrato orgánico más Bentonita con semilla procedente de árbol longevo de huarango (*Prosopis sp*) en condiciones de vivero en el Distrito de Ocucaje - Ica

Línea de Investigación: Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

INFORME FINAL DE TESIS

PRESENTADO POR:

JUAN ANTHONY ATOCCSA CABANA

Ica, Perú

2026

DEDICATORIA

A DIOS

Fuente de toda sabiduría, por guiarme en cada paso de este camino académico. En los momentos de incertidumbre me brindó luz, aliento

y fortaleza.

A Él le debo la perseverancia, la claridad y la convicción que hicieron posible alcanzar esta meta.

A MI MADRE IRENE

Por estar siempre a mi lado, animándome con cada palabra y cada gesto.

Gracias por enseñarme, con tu ejemplo, que los sueños se alcanzan con esfuerzo, que los tropiezos son parte del camino y que nunca debo dejar de creer en mí.

A MIS HERMANOS

por el apoyo brindado a lo largo de mi carrera. Su presencia, en cada etapa, fue un respaldo valioso que me dio fuerza para continuar.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía y a todos los docentes que formaron parte de mi formación profesional, por haber compartido sus conocimientos, experiencias y valores, contribuyendo de manera significativa a mi desarrollo académico y personal.

A mi madre Irene, quien me apoyó y luchó conmigo en cada paso de este camino, haciendo posible que hoy pueda alcanzar esta meta.

A el Dr. Jorge Magallanes Magallanes, asesor del presente trabajo de investigación, por su valioso acompañamiento, orientación académica y apoyo constante durante cada una de las etapas del desarrollo de esta investigación.

A mis docentes que fueron mi guía durante este camino universitario

A mis amistades y compañeros que juntos nos esforzamos y apoyamos para seguir adelante.

A todos los que hicieron posible cumplir mis objetivos, estoy profundamente agradecido con ellos.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág.
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice general	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	viii
Resumen	ix
Abstract	x
I : INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Antecedentes	4
1.3 Marco teórico	7
1.4 Formulación del problema	17
1.5 Delimitación del problema	18
1.6 Justificación e importancia de la investigación	19
1.7 Hipótesis	20
1.8 Variables	21
1.9 Objetivos.	21
II : ESTRATEGIA METODOLOGICA	22
2.1 Ubicación del experimento	22
2.2 Tipo, nivel y diseño de la investigación	23
2.3 Tratamientos en estudio	23
2.4 Población y muestra	24
2.5 Características del campo experimental	25
2.6 Metodología de aplicación de los tratamientos	27
2.7 conducción de la investigación	28
2.8 Técnicas, recolección y procesamiento de los datos	29
2.9 Instrumentos de recolección de datos	29
2.10 Variables de la investigación	30
2.11 Técnicas de procesamiento de datos	32
III : RESULTADOS	33
IV : DISCUSIÓN	43
V : CONCLUSIONES	48
VI : RECOMENDACIONES	49
VII : REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	50
VIII : ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tratamientos en estudio	23
Tabla 2. Fuentes de variabilidad para el análisis estadístico	24
Tabla 3. Croquis experimental	26
Tabla 4. Datos de observaciones meteorológicas	33
Tabla 5. Análisis de varianza del porcentaje de emergencia a los 20 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica	34
Tabla 6. Pruebas de rango múltiple de Duncan del porcentaje de emergencia a los 20 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica	34
Tabla 7. Análisis de varianza del porcentaje de germinación a los 90 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica	35
Tabla 8. Pruebas de rango múltiple de Duncan del porcentaje de germinación a los 90 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica	35
Tabla 9. Análisis de varianza de la altura de planta a los 20 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	36
Tabla 10. Prueba de rango múltiple de Duncan de la altura de planta a los 20 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	36
Tabla 11. Análisis de varianza de la altura de planta a los 90 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	37

Tabla 12.	Prueba de rango múltiple de Duncan de la altura de planta a los 90 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	37
Tabla 13.	Análisis de varianza del número de hojas en las plantas a los 20 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	38
Tabla 14.	Prueba de rango múltiple de Duncan del número de hojas en las plantas a los 20 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	38
Tabla 15.	Análisis de varianza del número de hojas en las plantas a los 90 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	39
Tabla 16.	Prueba de rango múltiple de Duncan del número de hojas en las plantas a los 90 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	39
Tabla 17.	Análisis de varianza del diámetro de tallo de plantas a los 90 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	40
Tabla 18.	Prueba de rango múltiple de Duncan del diámetro de tallos de plantas a los 90 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	40
Tabla 19.	Análisis de varianza del largo de raíz de plantas a los 90 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	41
Tabla 20.	Prueba de rango múltiple de Duncan del largo de raíz de plantas a los 90 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	41

Tabla 21.	Análisis de varianza del diámetro de raíz de plantas a los 90 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	42
Tabla 22.	Prueba de rango múltiple de Duncan del diámetro de raíz de plantas a los 90 días después de la siembra en la determinación de un sustrato orgánico más bentonita para recuperar árbol de <i>Prosopis sp</i> de más de 650 años (huarango) en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje Ica.	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.,
Figura 1. Ubicación del campo experimental	22
Figura 2. Planta madre de huarango de más de 650 años (Nazca)	
Figura 3. Recolección de vainas de la planta madre	
Figura 4. Identificación del experimento con semillas de huarango de mas de 650 años	
Figura 5. Desarrollo y crecimiento de plántulas de huarango obtenidas de semillas de huarango de más de 650 años	
Figura 6. Desarrollo y crecimiento de plántulas de huarango de más de 650 años	
Figura 7. Desarrollo y crecimiento de plántulas del tratamiento 2 sobre huarango de más de 650 años	
Figura 8. Obtención de plántulas de huarango de más de 650 años	
Figura 9. Evaluación de altura de plantas de huarango procedentes de un árbol longevo de más de 650 años	

RESUMEN

El presente estudio tuvo como finalidad determinar la combinación óptima de sustrato orgánico más bentonita para favorecer la germinación y el crecimiento de plántulas de *Prosopis* sp. (huarango), especie forestal nativa de zonas áridas, proveniente de árboles con más de 650 años de antigüedad. La investigación se desarrolló en condiciones de vivero en el distrito de Ocucaje, Ica. Se utilizó un Diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cuatro repeticiones, evaluando cinco tratamientos: cuatro combinaciones de sustratos orgánicos (Arena de río, aserrín, humus de lombriz, y compost) más bentonita, y un tratamiento control compuesto por tierra más arena. La siembra se realizó el 23 de octubre de 2023. Se evaluó el porcentaje de germinación de semillas a los 90 días después de la siembra. Los resultados del análisis de varianza (ANVA) y la prueba de Duncan al 5% de significación mostraron diferencias altamente significativas entre tratamientos. El mejor comportamiento se obtuvo con el tratamiento de humus de lombriz más bentonita, alcanzando un 100% de germinación. En contraste, el tratamiento control obtuvo solo un 10% de germinación. Todos los sustratos orgánicos superaron significativamente al tratamiento testigo. Se concluye que la combinación de humus de lombriz más bentonita representa una alternativa eficaz para la propagación de huarango en vivero, contribuyendo al proceso de propagación y conservación de esta especie forestal nativa en zonas áridas como Ocucaje.

Palabras clave: sustrato, huarango, germinación, especie nativa.

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the optimum combination of organic substrate plus bentonite to favor the germination and growth of *Prosopis sp.* (huarango) seedlings, a native forest species of arid zones, from trees more than 650 years old. The research was developed under nursery conditions in the district of Ocucaje, Ica. A Completely Randomized Block Design (CRBD) with four replications was used, evaluating five treatments: four combinations of organic substrates (river sand, sawdust, earthworm humus, and compost) plus bentonite, and a control treatment composed of soil plus sand. Planting was carried out on October 23, 2023. Seed germination percentage was evaluated 90 days after sowing. The results of the analysis of variance (ANVA) and Duncan's test at 5% significance showed highly significant differences between treatments. The best performance was obtained with the worm humus plus bentonite treatment, reaching 100% germination. In contrast, the control treatment obtained only 10% germination. All organic substrates significantly outperformed the control treatment. It is concluded that the combination of earthworm humus plus bentonite represents an effective alternative for the propagation of huarango in nurseries, contributing to the propagation process and conservation of these native forest species in arid areas such as Ocucaje.

Keywords: substrate, huarango, germination, native species.

I. INTRODUCCIÓN

El huarango (*Prosopis pallida*) es una especie vegetal nativa de Perú, Colombia y Ecuador. Crece en las zonas más áridas de estos países, especialmente a lo largo de la costa pacífica y en algunas áreas de la región andina peruana. Este árbol, de características notoriamente adaptativas, posee una capacidad de nicho considerable en comparación con otras especies vegetales. Su tolerancia a condiciones extremas de sequedad y su habilidad para resistir la deforestación lo convierten en una de las especies más resilientes del ecosistema desértico costero [1].

El huarango tiene un sistema radicular profundo que le permite acceder a fuentes de agua subterránea, lo que les da una ventaja frente a otras especies en ambientes de baja humedad. Esta característica le permite sobrevivir en áreas de extrema aridez, donde otras plantas no podrían prosperar. Además, su sistema de raíces no solo lo hace resistente a la sequía, sino que también contribuye a la estabilidad del suelo, evitando la erosión y mejorando la calidad del terreno para otras especies vegetales [2].

Desde un punto de vista ecológico, el huarango desempeña un papel fundamental en la fijación de nitrógeno en el suelo. A través de una simbiosis con bacterias que habitan en sus raíces, este árbol mejora la fertilidad del suelo, lo que favorece el crecimiento de otras plantas. Su presencia también favorece la biodiversidad, ya que crea un microhábitat que sirve de refugio a una variedad de fauna, especialmente insectos y aves. Además, su capacidad para crecer en suelos salinos y pobres en nutrientes lo convierte en una especie clave para la restauración de ecosistemas degradados [3].

En cuanto a su utilidad para las comunidades rurales, el huarango ha sido históricamente una fuente vital de recursos. Su madera es utilizada para la construcción, la fabricación de muebles y utensilios, así como para leña. Además, sus vainas comestibles, que contienen una pulpa dulce, se emplean en la elaboración de harinas y dulces. Las semillas también tienen valor en la medicina tradicional, y las flores del huarango se utilizan en infusiones para tratar diversas afecciones. En algunas regiones, el huarango también es valorado como sombra en los cultivos agrícolas, especialmente en áreas donde la radiación solar es intensa [4].

A pesar de su valor ecológico y económico, el huarango enfrenta amenazas significativas debido a la deforestación y la expansión de la agricultura. La tala indiscriminada y el cambio climático son factores que han reducido su población en muchas áreas, lo que pone en riesgo la biodiversidad local y la sostenibilidad de los ecosistemas donde habita. A pesar de ello, el huarango sigue siendo una especie resistente y capaz de regenerarse en condiciones difíciles, lo que lo convierte en un candidato ideal para proyectos de restauración ecológica y conservación de paisajes áridos [5].

El *Prosopis* sp., comúnmente conocido como huarango, es una especie forestal nativa de gran valor ecológico, cultural y económico, especialmente en las zonas áridas del sur del Perú. En el ecosistema del desierto costero, este árbol cumple funciones vitales: actúa como fijador de nitrógeno, mejora la estructura del suelo, sirve como refugio de fauna silvestre y forma parte del patrimonio biológico de las comunidades locales. En el distrito de Ocucaje, región Ica, aún persisten ejemplares de huarango con más de 650 años de antigüedad, lo que evidencia su importancia histórica y ecológica en la zona.

Sin embargo, la creciente degradación ambiental, la expansión agrícola intensiva, la desertificación y el uso insostenible de los recursos naturales han reducido drásticamente la cobertura de esta especie. En este contexto, la recuperación y propagación del huarango se ha vuelto una necesidad urgente para la conservación del ecosistema y el restablecimiento del equilibrio ambiental en regiones áridas.

La propagación en vivero de *Prosopis* sp. enfrenta limitaciones debido a las condiciones edáficas pobres y la baja disponibilidad de humedad. Por ello, es necesario optimizar los sustratos utilizados en la germinación y establecimiento de plántulas. La incorporación de enmiendas como sustratos orgánicos y bentonita puede mejorar significativamente la retención de humedad, la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo radicular en las etapas tempranas de crecimiento.

En ese sentido, la presente investigación tuvo como objetivo determinar la combinación óptima de sustrato orgánico más bentonita que favorezca la germinación y el crecimiento inicial de plántulas de huarango, en condiciones de vivero, a fin de contribuir con estrategias de reforestación y conservación de esta especie emblemática en Ocucaje – Ica.

En resumen, el huarango no solo es una especie clave desde el punto de vista ecológico, sino que también juega un rol central en la vida de las comunidades rurales. La protección y manejo sostenible de este árbol es crucial para mantener la salud de los ecosistemas áridos y para asegurar el bienestar de las poblaciones que dependen de él. El estudio y conservación de esta especie permitiría no solo recuperar los servicios ecosistémicos que ofrece, sino también preservar un recurso natural de gran valor cultural y económico para las generaciones futuras [6].

1.1 Planteamiento del problema

El huarango conocido también como *Prosopis pallida*, es un árbol emblemático de las zonas áridas de la costa sur del Perú, especialmente en regiones como el municipio de Ocucaje, en Ica. Esta especie, reconocida por su capacidad de adaptación a condiciones extremas de aridez, tiene un papel esencial en la estabilización de suelos, la fijación de nitrógeno y la conservación de la biodiversidad en estos ecosistemas desérticos. Sin embargo, a pesar de su gran resiliencia, los huarangos de más de 650 años, algunos de los cuales pueden formar bosques milenarios, están siendo amenazados por la deforestación, el cambio climático y la sobreexplotación de sus recursos. La regeneración de estos árboles en su hábitat natural se ha visto severamente reducida, lo que ha llevado a la disminución de su población.

A pesar de su importancia ecológica y cultural, el huarango enfrenta grandes desafíos en cuanto a su conservación, particularmente cuando se busca dar origen a nuevos individuos de la misma especie de árboles antiguos en condiciones de vivero. En la actualidad, los métodos convencionales de cultivo en viveros no han demostrado ser completamente efectivos para promover la regeneración de individuos de *Prosopis* de más de 650 años, ya que el sistema de raíces profundas de estos árboles requiere condiciones específicas que favorezcan su crecimiento y adaptabilidad.

El uso de sustratos adecuados para el desarrollo inicial de estos árboles en vivero es fundamental para replicar las condiciones de su entorno natural y, a su vez, mejorar la viabilidad de la restauración de especies de huarango. Sin embargo, existen pocos estudios enfocados en la combinación óptima de sustratos orgánicos y materiales que puedan facilitar un ambiente adecuado para la germinación y el crecimiento saludable de estos árboles en condiciones controladas.

Una de las opciones menos exploradas es la adición de bentonita al sustrato orgánico. La bentonita, un mineral con propiedades absorbentes y de retención de agua, podría contribuir a la mejora del sustrato en términos de retención de humedad y estabilidad, condiciones clave para el éxito de la siembra y el desarrollo de los huarangos en vivero.

Por lo tanto, el problema que se plantea es la falta de información sobre la combinación más adecuada de sustratos orgánicos y bentonita para la recuperación y cultivo del huarango en vivero, en particular para aquellos árboles con más de 650 años, que poseen características particulares en su adaptación y requerimientos ecológicos. Este vacío de conocimiento dificulta la implementación de estrategias efectivas para la restauración de la especie en su entorno natural y la conservación de los huarangos milenarios de la región.

Se hace necesario llevar a cabo una investigación que determine la mejor mezcla de sustrato orgánico y bentonita que favorezca la germinación y el desarrollo de los huarangos en vivero en el municipio de Ocucaje en Ica.

1.2 Antecedentes de la investigación

1.2.1 Antecedentes internacionales

El nombre de la palabra algarrobo tiene su origen desde la época colonial, donde los españoles que llegaron al Perú observan que esta especie de planta conocida como “tacco” en la lengua quechua, presentaban algunas características muy parecidas al “algarrobo europeo” (*Ceratonia siliqua*). Los dioses precolombinos fueron tallados en madera de huarango, siendo posteriormente descubiertos por Antonio Raymondi en el Perú, dando a sospechar que esta especie era conocida y usado desde hace mucho tiempo atrás, [7].

La familia Fabaceae, se caracteriza por ser plantas leñosas, árboles y arbustos, se encuentran filodios llamadas pseudohojas considerados peciolos y raquis grandes, con androceo multiestaminado y estambres con filamentos de colores rosados o amarillos y su fruto es una legumbre seca, [8].

Todas las especies del género *Prosopis* son originarias principalmente de las regiones áridas y semiáridas del continente americano, aunque algunas han sido introducidas y naturalizadas en otras partes del mundo, incluyendo África, el sudeste de Asia y ciertas regiones del sur de Europa. Este género incluye aproximadamente 47 especies conocidas, muchas de las cuales se han adaptado exitosamente a ambientes con condiciones extremas de sequía y suelos pobres. Se reconocen tres centros principales de diversidad genética de *Prosopis*: el primero en Argentina, el segundo en los Estados Unidos (principalmente en el suroeste), y el tercero en México [9].

A nivel internacional, el género *Prosopis* ha sido ampliamente estudiado debido a su notable adaptación a ecosistemas áridos y semiáridos. Felker [10] fue uno de los pioneros en documentar el potencial productivo y ecológico de las especies de *Prosopis*, destacando su tolerancia a la sequía, su capacidad de crecer en suelos marginales y su aporte en la fijación biológica de nitrógeno, lo que contribuye a la mejora de la fertilidad del suelo.

La FAO [11] realizó un compendio exhaustivo sobre las especies de *Prosopis*, señalando que estas cumplen un rol estratégico en programas de reforestación y restauración de tierras degradadas en África, Asia y América Latina. El estudio resalta que el manejo adecuado del sustrato y las prácticas silviculturales tempranas son determinantes para el establecimiento exitoso de las plántulas.

Guevara et al. [12] evaluaron el crecimiento inicial de plántulas de *Prosopis* bajo condiciones controladas de vivero, encontrando que variables como la textura del sustrato, la disponibilidad de nutrientes y la aireación influyen significativamente en la altura de planta y el desarrollo radicular. Los autores concluyen que el uso de sustratos balanceados mejora la calidad de los plantones destinados a campo definitivo.

Villagra y Cavagnaro [13] estudiaron el efecto nodriza de *Prosopis* sp. en ecosistemas áridos, demostrando que la presencia de estos árboles genera microambientes favorables que facilitan la regeneración natural de otras especies vegetales. Este comportamiento convierte a *Prosopis* en una especie clave para procesos de restauración ecológica.

1.2.2 Antecedentes nacionales

El huarango era muy importante para la cultura Nazca, quienes lo utilizaron sus frutos para preparar harina para el pan, miel y una bebida o fermento, las hojas caídas lo usaron como abono en la agricultura y lo usaron como forraje para alimentar llamas, alpacas, guanacos, y venados. Su madera fue usada en la construcción de sus viviendas y tumbas, para la elaboración de diversos objetos rituales, [14].

El huarango es una especie nativa del Perú, Colombia y Ecuador, se adapta a los suelos de zonas secas de estos países, zonas costeras y zonas altoandinas, pero que resiste un alto grado a la deforestación, [15].

Los huarangos son muy importantes en la organización y funcionamiento de los diversos ecosistemas, ya que albergan a una gran diversidad de especies, ya que pueden modificar el medio ambiente y además se considera importante para controlar las dunas ya que cuenta con un gran sistema radicular que le permite sobrevivir en zonas áridas, también incorpora materia orgánica por la descomposición de sus hojas y ramas que caen al suelo, [16].

Al sur este de la provincia de Arequipa se distribuyen especies en forma dispersa de hurangos, en esa zona conocidos como “relictos” que ocupan diversos biotopos, siendo algunos de ellos estudiados por [17], Cueva, [18] y Valdivia, [7, 9].

En estudios realizados en el Perú se ha determinado que solamente existen tres especies: *Prosopis chilensis*, *Prosopis limensis* y *Prosopis pallida*; siendo esta última especie la más conocida y común de encontrar, y se le conoce como “huarango”; en el norte del país se utiliza por la población, como alimento especialmente para el ganado caprino, ovino y vacuno; también para la elaboración de la bebida conocida como “algarrobina”; mientras que en Ica y Arequipa, se utiliza como combustible para preparar los alimentos(carbón vegetal) y la construcción de viviendas, rara vez se usa sus frutos como forraje, [8].

Las especies que corresponden a este género son árboles o arbustos de tipo xerófilo y presentan espinas. Las hojas son bipinnadas y generalmente sus flores son pequeñas, tipo pentámera, actinomorfas y hermafroditas. Siendo sus frutos en forma de vainas carnosas e indehiscentes que caen al suelo una vez que están maduras, [15].

El huarango según, [19], en el año 1986, presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Plantae, División: Magnoliophyta, Clase: Magnoliopsida, Orden: Fabales, Familia: Mimosaceae, Subfamilia: Mimosoidae, Tribu: Mimoseae, Género: *Prosopis*, Especie: *Prosopis pallida* var. *Armata*.

En el contexto peruano, Brack Egg [20] describió al algarrobo o huarango (*Prosopis pallida*) como una de las especies forestales más importantes de los bosques secos costeros, resaltando su valor ecológico, económico y cultural. El autor enfatiza que esta especie cumple funciones fundamentales en la protección del suelo y la regulación del ecosistema.

León et al. [21] analizaron el estado de conservación de los bosques de huarango en la costa del Perú, evidenciando una disminución significativa de su cobertura debido a la tala indiscriminada y al cambio de uso del suelo. El estudio destaca la urgencia de implementar programas de reforestación y manejo sostenible basados en criterios técnicos y científicos.

Ríos y Paredes [22] evaluaron experiencias de restauración ecológica utilizando *Prosopis pallida* en zonas áridas del litoral peruano, concluyendo que el éxito de estas intervenciones depende en gran medida de la calidad de las plántulas, el tipo de sustrato empleado en vivero y las prácticas de conducción en campo.

Asimismo, Torres et al. [23] estudiaron el efecto de diferentes sustratos orgánicos sobre el crecimiento inicial de plántulas de huarango, determinando que la incorporación de materia orgánica mejora la retención de humedad y favorece el desarrollo radicular, incrementando la supervivencia posterior al trasplante.

1.2.3 Antecedentes locales

Es necesario y muy urgente iniciar procesos de reforestación para iniciar el descenso de la desertificación y contribuir con la retención del recurso agua, captura del CO₂, la conservación de especies vegetales y animales en vías de extinción y garantizar un mejor nivel de vida para las comunidades locales, [24].

El huarango brinda a la población muchos beneficios como son la alimentación del ganado, del fruto la obtención de productos altamente nutritivos como: harina, café de huarango, miel de abeja, etc. Y en muchos casos usado como medicina, [25].

Según [24] informa que la planta de huarango puede sobrevivir más de mil años y que su raíz principal puede medir hasta 70 m. esto le permite absorber agua del subsuelo muy profundo, que al llegar a la superficie beneficia la vida de otros vegetales y microorganismos.

Desde muchos años atrás, el fenómeno llamado cambio climático, la tala irracional de árboles para ser usado como leña, la venta de las áreas de cultivo para construcciones, han destruido grandes extensiones de bosques de huarango, [25]. A consecuencia de esto [26], declara a la especie *Prosopis limensis* como una especie amenazada.

En estudios realizados en la costa central y sur del Perú, Valdivia y Magallanes [27] evaluaron el uso de enmiendas minerales, como la bentonita, en sustratos para la propagación de *Prosopis*

pallida en vivero. Los resultados indicaron que la adición de bentonita incrementa la capacidad de retención hídrica del sustrato y mejora el vigor de las plántulas en condiciones de estrés hídrico.

De manera similar, investigaciones desarrolladas en la región Ica señalan que el huarango presenta una buena respuesta al manejo adecuado del sustrato y a prácticas de conducción temprana, como la poda de formación, lo cual permite obtener plantones con mejor arquitectura y mayor resistencia al trasplante en campo definitivo [14].

Estos antecedentes locales evidencian que, pese a la importancia ecológica del huarango, aún existe una limitada cantidad de estudios experimentales orientados a optimizar técnicas de propagación y manejo en vivero, lo que justifica la realización de investigaciones enfocadas en la evaluación de sustratos y prácticas silviculturales en condiciones locales.

En el marco de las actividades conmemorativas por la Semana Turística de Nasca, se realizó el reconocimiento oficial de quince (15) ejemplares de huarango (*Prosopis* sp.) como árboles patrimoniales, en atención a su longevidad y a su valor histórico, cultural y ambiental, acción que contó con la asistencia técnica del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), a través de la Administración Técnica de Flora y Fauna Silvestre (ATFFS) Ica, lo que permitió la emisión de la Ordenanza Municipal N.º 003-2023-MPN por parte de la Municipalidad Provincial de Nasca, mediante la cual se declara árbol patrimonial a quince ejemplares de huarango ubicados en la provincia de Nasca y en el distrito de El Ingenio [29].

1.3 MARCO TEORICO:

Sobre el huarango

El huarango, perteneciente al género *Prosopis* (familia Fabaceae), constituye uno de los componentes más importantes de los ecosistemas áridos y semiáridos de América, particularmente en la costa del Perú. Dentro de este género, *Prosopis pallida* es la especie más representativa y ampliamente distribuida en los bosques secos costeros, donde cumple funciones ecológicas, económicas y culturales de gran relevancia [30].

Las especies del género *Prosopis* se caracterizan por su notable capacidad de adaptación a condiciones ambientales extremas, tales como altas temperaturas, baja precipitación anual y suelos de baja fertilidad. Esta adaptación se debe principalmente a la presencia de un sistema radicular profundo y altamente desarrollado, capaz de explorar capas profundas del suelo y acceder a reservas hídricas subterráneas, lo que les permite mantener su actividad fisiológica durante períodos prolongados de sequía [10], [11].

Desde el punto de vista edáfico, el huarango desempeña un papel fundamental en la conservación y mejora del suelo. Al ser una especie leguminosa, establece simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, lo que incrementa la disponibilidad de este nutriente en el suelo y favorece la fertilidad edáfica. Asimismo, la acumulación de hojarasca y restos orgánicos bajo su copa contribuye al aumento del contenido de materia orgánica, mejora la

estructura del suelo y reduce los procesos de erosión eólica e hídrica en zonas desérticas [28], [29].

En términos ecológicos, *Prosopis* sp. es considerada una especie clave o “ingeniera del ecosistema”, ya que genera microambientes favorables para el establecimiento de otras especies vegetales y proporciona refugio y alimento a diversas especies de fauna silvestre. La sombra proyectada por el huarango reduce la temperatura superficial del suelo y disminuye la evapotranspiración, creando condiciones más favorables para la germinación y el crecimiento de plantas asociadas [31].

El huarango ha tenido, además, una importancia histórica y cultural significativa en el desarrollo de las civilizaciones prehispánicas del Perú. Evidencias arqueológicas indican que las poblaciones ancestrales utilizaron intensivamente sus frutos (vainas) como fuente de alimento, procesándolos para la elaboración de harina, bebidas fermentadas y otros productos de alto valor energético. De igual manera, la madera del huarango fue empleada en la construcción, la fabricación de herramientas y como combustible, debido a su alta densidad y durabilidad [32], [20].

A pesar de su importancia, los bosques de huarango han sufrido una fuerte degradación en las últimas décadas como consecuencia de la tala indiscriminada, la expansión agrícola, el sobrepastoreo y la producción de carbón vegetal. Esta presión antrópica ha provocado una drástica reducción de la cobertura forestal, especialmente en la costa sur del Perú, generando procesos de desertificación y pérdida de biodiversidad [32], [34].

Frente a esta problemática, diversos estudios han resaltado la necesidad de implementar programas de conservación, restauración y reforestación del huarango, haciendo énfasis en la producción de plantones de calidad en vivero y en la evaluación de técnicas que mejoren la germinación y el crecimiento inicial de las plántulas. En este sentido, investigaciones recientes han evaluado el uso de sustratos orgánicos, enmiendas minerales y mejoradores de suelo con el objetivo de optimizar el desarrollo morfológico y fisiológico de *Prosopis pallida* en sus primeras etapas de crecimiento [23], [22].

Asimismo, se ha demostrado que la selección adecuada del sustrato influye significativamente en variables como la altura de planta, el diámetro de tallo, el desarrollo radicular y la supervivencia en campo, aspectos clave para el éxito de los programas de reforestación en zonas áridas. Por ello, el estudio del comportamiento de *Prosopis* sp. bajo diferentes condiciones de manejo constituye una línea de investigación prioritaria para la recuperación de los ecosistemas secos y la sostenibilidad ambiental [35].

Sobre la taxonomía del Huarango

El huarango es una especie arbórea perteneciente al género *Prosopis*, el cual forma parte de la familia Fabaceae, una de las familias botánicas de mayor importancia ecológica en ecosistemas áridos y semiáridos. En el Perú, el huarango es comúnmente identificado como

Prosopis pallida (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Kunth, especie nativa y característica de los bosques secos costeros [20].

Desde el punto de vista taxonómico, el género *Prosopis* fue tradicionalmente clasificado dentro de la familia Mimosaceae; sin embargo, los avances en estudios filogenéticos y de sistemática molecular permitieron su reclasificación dentro de la familia Fabaceae, subfamilia Mimosoideae, de acuerdo con el sistema de clasificación del *Angiosperm Phylogeny Group* (APG IV) [36]. La clasificación taxonómica del huarango se detalla a continuación:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Fabales
- Familia: Fabaceae
- Subfamilia: Mimosoideae
- Género: *Prosopis* L.
- Especie: *Prosopis pallida* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Kunth

Morfológicamente, *Prosopis pallida* es un árbol perennifolio o semiperennifolio que puede alcanzar alturas entre 6 y 15 m, dependiendo de las condiciones edafoclimáticas. Presenta un sistema radicular profundo y extensamente ramificado, con una raíz principal pivotante que le permite acceder a aguas subterráneas profundas, así como raíces laterales superficiales que optimizan la captación de humedad proveniente de lluvias esporádicas. Esta característica constituye una de las principales adaptaciones de la especie a ambientes desérticos [11], [10]. El tallo es leñoso, robusto y de crecimiento lento a moderado. La corteza es gruesa, de color pardo oscuro a grisáceo, con fisuras longitudinales que brindan protección frente a la desecación y al ataque de agentes externos. La madera es dura, pesada y altamente resistente, lo que ha favorecido su uso tradicional como combustible y material de construcción en las poblaciones locales [32].

Las hojas del huarango son compuestas, bipinnadas y de disposición alterna, con folíolos pequeños de tonalidad verde claro a grisáceo. Esta conformación foliar reduce la superficie de transpiración y constituye una adaptación fisiológica que minimiza la pérdida de agua bajo condiciones de alta radiación solar y baja disponibilidad hídrica. Durante periodos de estrés hídrico prolongado, la especie puede presentar una caída parcial de hojas como mecanismo de supervivencia [29].

Las flores son pequeñas, hermafroditas y de color amarillo verdoso, dispuestas en inflorescencias cilíndricas tipo espiga. La floración ocurre generalmente en estaciones cálidas y está asociada a la actividad de insectos polinizadores. Desde el punto de vista ecológico, las flores del huarango representan una importante fuente de néctar y polen para la fauna local [14].

El fruto es una legumbre indehisciente, alargada y ligeramente curvada, conocida como vaina, que contiene varias semillas de testa dura. Las vainas poseen un alto contenido de carbohidratos, proteínas y minerales, lo que explica su uso ancestral como alimento humano y forraje animal. Las semillas presentan elevada viabilidad y resistencia a condiciones adversas; no obstante, su dureza puede limitar la germinación natural, siendo necesario el uso de tratamientos pregerminativos para mejorar la emergencia en vivero [23].

La correcta identificación taxonómica y el conocimiento detallado de la morfología del huarango constituyen una base fundamental para estudios orientados a su propagación, manejo sostenible y restauración ecológica, especialmente en programas de reforestación de zonas áridas y semiáridas de la costa peruana.

Sobre los requerimientos del huarango

Requerimientos ecológicos y agronómicos del huarango (*Prosopis pallida*)

El huarango (*Prosopis pallida*) es una especie arbórea nativa de los ecosistemas áridos y semiáridos de la costa peruana, ampliamente reconocida por su capacidad de adaptación a condiciones ambientales adversas. Su establecimiento, crecimiento y desarrollo están condicionados por diversos factores climáticos, edáficos e hídricos, los cuales determinan su desempeño fisiológico y su supervivencia en ambientes desérticos [20].

Requerimientos climáticos

El huarango se desarrolla óptimamente en climas cálidos y secos, con temperaturas medias anuales que oscilan entre 18 y 30 °C. Tolerancia a temperaturas elevadas durante el día y descensos moderados durante la noche, lo que le permite adaptarse a la alta amplitud térmica característica de las zonas áridas [11].

En cuanto a la precipitación, la especie prospera en regiones con baja pluviosidad anual, generalmente entre 50 y 500 mm, mostrando una elevada tolerancia a períodos prolongados de sequía [10].

Requerimientos hídricos

Prosopis pallida presenta bajos requerimientos hídricos, gracias a su sistema radicular profundo y eficiente, capaz de acceder a agua subterránea. En sus etapas iniciales de crecimiento, sin embargo, requiere un suministro hídrico moderado y regular para favorecer el establecimiento de las plántulas, especialmente en condiciones de vivero [32].

Una vez establecida, la especie puede sobrevivir con aportes mínimos de agua, siendo adecuada para programas de reforestación en zonas con escasez hídrica.

Requerimientos edáficos

El huarango se adapta a una amplia variedad de suelos, incluyendo suelos arenosos, franco-arenosos y pedregosos, con bajo contenido de materia orgánica. Presenta tolerancia a suelos pobres en nutrientes y a condiciones de salinidad moderada, lo que explica su presencia en zonas costeras y desérticas [29].

No obstante, su desarrollo inicial mejora significativamente en suelos bien drenados y con adecuada aireación. La incorporación de enmiendas orgánicas o minerales puede favorecer el crecimiento radicular y aéreo durante las primeras etapas [22].

Requerimientos nutricionales

Al pertenecer a la familia Fabaceae, el huarango establece simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, lo que reduce su dependencia de este nutriente en el suelo. Sin embargo, para un crecimiento óptimo en vivero, se recomienda la disponibilidad adecuada de fósforo, calcio y micronutrientes, los cuales influyen en el desarrollo radicular y la vigorosidad de las plántulas [28].

Requerimientos de luz

Prosopis pallida es una especie heliófila, que requiere plena exposición solar para un crecimiento adecuado. La sombra excesiva limita su desarrollo vegetativo y reduce su capacidad fotosintética, especialmente durante las primeras etapas de crecimiento [13].

Requerimientos para germinación y establecimiento

Las semillas del huarango presentan una testa dura, lo que puede restringir la germinación natural. Por ello, se recomienda la aplicación de tratamientos pregerminativos (escarificación mecánica o térmica) para mejorar el porcentaje y la velocidad de germinación en vivero. El uso de sustratos bien drenados y con adecuada retención de humedad favorece el establecimiento inicial de las plántulas [23].

Conducción y manejo silvicultural del huarango (*Prosopis pallida*)

La conducción del huarango (*Prosopis pallida*) comprende el conjunto de prácticas silviculturales orientadas a guiar su crecimiento, mejorar su estructura, asegurar su supervivencia y optimizar su función ecológica y productiva. Estas prácticas resultan especialmente relevantes durante las etapas iniciales de establecimiento, tanto en vivero como en campo definitivo, considerando las condiciones ambientales propias de las zonas áridas y semiáridas [11].

Conducción en vivero

Durante la fase de vivero, la conducción del huarango se orienta a la obtención de plántulas vigorosas, con adecuado equilibrio entre el sistema radicular y la parte aérea. Para ello, se recomienda el uso de sustratos bien drenados, con buena aireación y adecuada retención de humedad, lo que favorece el desarrollo de raíces profundas y evita problemas de anegamiento [23].

El riego debe ser moderado y controlado, evitando excesos que puedan afectar el crecimiento radicular. Asimismo, es importante asegurar una adecuada exposición a la luz solar, ya que el huarango es una especie heliófila. La conducción en vivero también incluye el control

fitosanitario preventivo y la eliminación de plántulas débiles o deformes, con el fin de garantizar la calidad del material vegetal [29].

Conducción en campo

Una vez trasplantado al campo definitivo, la conducción del huarango se centra en favorecer su establecimiento y adaptación al ambiente. Durante los primeros meses, se recomienda realizar riegos de apoyo en zonas de extrema aridez, así como la protección de las plantas frente al pastoreo y daños mecánicos. La correcta conducción en esta etapa es determinante para la supervivencia y el crecimiento inicial del árbol [32].

Formación del árbol

La poda de formación constituye una práctica clave en la conducción del huarango, especialmente cuando se busca un fuste principal bien definido y una copa equilibrada. Esta labor consiste en la eliminación de ramas bajas, mal orientadas o en competencia, permitiendo una adecuada distribución de la copa y mejorando la resistencia del árbol frente a condiciones adversas como vientos fuertes [10].

La poda debe realizarse de manera gradual y en épocas secas, evitando cortes excesivos que puedan debilitar al árbol. En sistemas de restauración ecológica, la poda suele ser mínima, priorizando la adaptación natural de la especie [34].

Conducción para conservación y restauración

En programas de reforestación y restauración ecológica, la conducción del huarango tiene un enfoque conservacionista. En estos casos, se prioriza la supervivencia y el rol ecológico de la especie, minimizando las intervenciones silviculturales. La conducción se limita a prácticas básicas como la reposición de marras, el control de malezas competidoras y la protección contra agentes antrópicos [22].

Conducción en sistemas productivos

Cuando el huarango se maneja con fines productivos (leña, forraje o agroforestería), la conducción se orienta a maximizar la producción sin comprometer la sostenibilidad del recurso. Esto incluye la regulación de la densidad de plantación, la poda selectiva y el manejo adecuado del rebrote, considerando la capacidad de recuperación natural de la especie [20].

La poda

Poda del huarango (*Prosopis pallida*)

La poda es una práctica silvicultural fundamental en la conducción del huarango (*Prosopis pallida*), ya que permite orientar el crecimiento del árbol, mejorar su arquitectura, mantener su sanidad y optimizar su función ecológica o productiva. Dada la rusticidad de esta especie y su adaptación a ambientes áridos, la poda debe realizarse de manera racional y con intervenciones mínimas, evitando daños que puedan afectar su desarrollo y supervivencia [11].

Objetivos de la poda

La poda del huarango tiene como principales objetivos la formación de un fuste principal bien definido, la eliminación de ramas secas, enfermas o mal orientadas y la mejora de la estructura de la copa. Asimismo, en sistemas productivos, la poda contribuye a facilitar las labores de manejo, mejorar la entrada de luz y reducir la competencia interna entre ramas [10].

En programas de restauración ecológica, la poda se limita principalmente a la eliminación de ramas dañadas o secas, priorizando el crecimiento natural del árbol y su función como especie facilitadora del ecosistema [35].

Tipos de poda

En el manejo del huarango se distinguen principalmente los siguientes tipos de poda:

- **Poda de formación:**

Se realiza durante las primeras etapas de crecimiento del árbol, generalmente entre el primer y tercer año después del trasplante. Consiste en la selección de un eje principal y la eliminación progresiva de ramas laterales bajas o en competencia, con el fin de obtener una estructura equilibrada y estable [29].

- **Poda de mantenimiento o sanitaria:**

Se aplica en árboles jóvenes y adultos para eliminar ramas secas, enfermas, quebradas o atacadas por plagas, reduciendo el riesgo de infecciones y favoreciendo la sanidad del árbol [32].

- **Poda de regulación:**

En sistemas productivos o agroforestales, esta poda busca controlar el tamaño de la copa y regular la producción de biomasa, evitando el sombreado excesivo y mejorando la eficiencia del sistema [20].

Época y frecuencia de poda

La poda del huarango debe realizarse preferentemente durante la **época seca**, cuando la actividad fisiológica del árbol es menor, reduciendo el riesgo de infecciones y la pérdida excesiva de savia. Se recomienda evitar podas severas y frecuentes; en su lugar, se deben realizar intervenciones ligeras y espaciadas, respetando la capacidad de recuperación natural de la especie [22].

Técnicas y consideraciones

Los cortes deben realizarse con herramientas limpias y afiladas, evitando desgarros que puedan afectar la cicatrización. Es importante no eliminar más del 25–30 % de la copa en una sola intervención, ya que podas excesivas pueden generar estrés fisiológico y disminuir el crecimiento del árbol. En árboles jóvenes, la poda debe ser gradual y progresiva [37].

Importancia ecológica de la poda

Una poda adecuada contribuye a mantener la estabilidad estructural del huarango y a prolongar su vida útil, permitiéndole cumplir su rol ecológico como protector del suelo, proveedor de

sombra y refugio para la fauna. Además, reduce el riesgo de caída de ramas y mejora la resistencia del árbol frente a eventos climáticos adversos [13].

SOBRE LOS SUSTRATOS

Sustratos para el cultivo del huarango (*Prosopis pallida*)

El sustrato constituye uno de los factores más importantes en la producción de plántulas de huarango (*Prosopis pallida*), ya que influye directamente en la germinación, el desarrollo radicular, el crecimiento aéreo y la supervivencia posterior en campo definitivo. Dada la adaptación natural de esta especie a ambientes áridos, la selección adecuada del sustrato resulta determinante para asegurar un establecimiento exitoso, especialmente durante las etapas iniciales de crecimiento en vivero [11].

Características deseables del sustrato

Un sustrato adecuado para el huarango debe presentar **buena aireación, drenaje eficiente y capacidad moderada de retención de humedad**, evitando condiciones de anegamiento que afecten el sistema radicular. Asimismo, debe poseer una estructura estable, bajo contenido de sales solubles y pH ligeramente ácido a neutro, condiciones que favorecen la absorción de nutrientes y el crecimiento radicular [29].

Tipos de sustratos utilizados

Diversos estudios reportan el uso de sustratos orgánicos, minerales y mezclas de ambos para la producción de plántulas de *Prosopis pallida*:

- **Suelos arenosos o franco-arenosos:**

comúnmente utilizados debido a su buen drenaje y similitud con las condiciones naturales de crecimiento del huarango. Sin embargo, su bajo contenido de materia orgánica puede limitar el desarrollo inicial si no se complementan con enmiendas [20].

- **Materia orgánica (compost, humus de lombriz):**

La incorporación de materia orgánica mejora la estructura del sustrato, incrementa la retención de humedad y aporta nutrientes esenciales, favoreciendo el crecimiento de la parte aérea y radicular en vivero [22].

- **Sustratos comerciales o mezclas artificiales:**

En algunos ensayos se emplean mezclas de arena, turba, fibra de coco o perlita, las cuales ofrecen condiciones físicas homogéneas y controladas para la evaluación del crecimiento inicial [10].

- **Enmiendas minerales (bentonita, arcillas):**

El uso de bentonita ha demostrado mejorar la capacidad de retención de agua y la estabilidad estructural del sustrato, siendo particularmente beneficiosa en viveros ubicados en zonas áridas. Su aplicación controlada puede favorecer el crecimiento de las plántulas de huarango sin afectar el drenaje [23].

Influencia del sustrato en el crecimiento inicial

La calidad del sustrato influye significativamente en variables como la altura de planta, el diámetro de tallo, el desarrollo del sistema radicular y la biomasa total. Estudios realizados en condiciones de vivero indican que las mezclas de suelo arenoso con materia orgánica y enmiendas minerales presentan mejores resultados en comparación con sustratos simples, debido al equilibrio entre aireación, humedad y disponibilidad de nutrientes [38].

Asimismo, un sustrato adecuado contribuye a la formación de plántulas más vigorosas, con mayor capacidad de adaptación al trasplante y mayor supervivencia en campo definitivo, aspecto clave en programas de reforestación y restauración ecológica [35].

Consideraciones para el manejo del sustrato

Para un manejo eficiente del sustrato en vivero, se recomienda su desinfección previa, el control del contenido de humedad y la evaluación periódica de sus propiedades físicas y químicas. La proporción de los componentes del sustrato debe ajustarse en función de los objetivos del cultivo y de las condiciones ambientales del vivero [38].

Sobre la bentonita

La bentonita es una arcilla de origen volcánico, formada principalmente por minerales del grupo de las esmectitas, siendo la montmorillonita su componente predominante. Se caracteriza por su elevada capacidad de absorción de agua, alta plasticidad y notable capacidad de intercambio catiónico, propiedades que la convierten en un material de gran interés para su uso como enmienda en suelos y sustratos agrícolas y forestales [39].

Desde el punto de vista físico, la bentonita presenta una estructura laminar expansiva que le permite aumentar considerablemente su volumen al hidratarse. Esta propiedad favorece la retención de humedad en el sustrato, reduciendo las pérdidas de agua por percolación, lo cual resulta especialmente beneficioso en zonas áridas y semiáridas donde la disponibilidad hídrica es limitada [40]. Asimismo, su textura fina contribuye a mejorar la cohesión del sustrato y la estabilidad estructural del medio de crecimiento.

En cuanto a sus características químicas, la bentonita posee una elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo que le permite retener y liberar gradualmente nutrientes esenciales como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^{+}) y amonio (NH_4^{+}). Esta propiedad mejora la eficiencia en el uso de fertilizantes y contribuye a una nutrición más equilibrada de las plantas [41].

Adicionalmente, la bentonita actúa como un agente regulador del pH del sustrato, ayudando a amortiguar variaciones bruscas que podrían afectar el desarrollo radicular. Diversos estudios señalan que su incorporación en sustratos orgánicos incrementa la disponibilidad de nutrientes y favorece el crecimiento inicial de plántulas forestales [42].

En el ámbito forestal y viverístico, la bentonita ha sido empleada como componente de mezclas de sustrato para la producción de plantones de especies nativas adaptadas a

condiciones de estrés hídrico, como *Prosopis pallida*. Su uso ha demostrado mejorar el desarrollo del sistema radicular, incrementar el vigor de las plántulas y aumentar la supervivencia después del trasplante al campo definitivo [27].

No obstante, se recomienda que la bentonita sea utilizada en proporciones adecuadas, ya que un exceso puede provocar compactación del sustrato y reducir la aireación radicular. Por ello, su aplicación suele combinarse con materiales orgánicos como compost, humus de lombriz o arena, logrando un balance óptimo entre retención de humedad, aireación y disponibilidad de nutrientes [43].

Sobre el humus de lombriz para vivero

El humus de lombriz, también conocido como vermicompost, es un abono orgánico estabilizado que se obtiene a partir de la descomposición de residuos orgánicos mediante la acción de lombrices, principalmente de la especie *Eisenia foetida*. Este producto se caracteriza por su alto contenido de materia orgánica humificada, nutrientes disponibles y microorganismos benéficos, lo que lo convierte en un insumo de gran valor para la mejora de suelos y sustratos de cultivo [44].

Desde el punto de vista físico, el humus de lombriz presenta una estructura granular y porosa que mejora la aireación, la capacidad de retención de humedad y la estabilidad estructural del sustrato. Estas propiedades favorecen el desarrollo del sistema radicular, especialmente en etapas tempranas del crecimiento de las plantas, lo cual resulta fundamental en la producción de plántulas forestales en vivero [45].

En cuanto a sus características químicas, el humus de lombriz posee una adecuada concentración de macronutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), además de micronutrientes como hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu) y manganeso (Mn), los cuales se encuentran en formas fácilmente asimilables por las plantas [46]. Asimismo, presenta un pH cercano a la neutralidad, lo que contribuye a mejorar la disponibilidad de nutrientes y a reducir problemas de acidez o alcalinidad en el sustrato.

Desde el punto de vista biológico, el humus de lombriz destaca por su elevada actividad microbiana, la cual promueve procesos de mineralización y solubilización de nutrientes. Diversos estudios señalan que este material contiene fitohormonas naturales, como auxinas y giberelinas, que estimulan el crecimiento vegetal y el desarrollo radicular [47].

En el ámbito forestal, el humus de lombriz ha sido ampliamente utilizado como componente de sustratos para la producción de plántulas de especies nativas y exóticas. Investigaciones realizadas en viveros forestales indican que su incorporación en mezclas de sustrato incrementa la altura de planta, el diámetro de tallo y la biomasa radicular, mejorando la calidad de los plantones y su supervivencia tras el trasplante a campo definitivo [48].

En especies adaptadas a condiciones áridas, como el huarango (*Prosopis pallida*), el uso de humus de lombriz en combinación con otros materiales, como arena o bentonita, permite

mejorar simultáneamente la fertilidad del sustrato y la retención de humedad, optimizando el crecimiento inicial y la resistencia al estrés hídrico [49].

Sobre la arena de río

La arena de río es un material mineral de origen aluvial, constituido principalmente por partículas de tamaño grueso a medio, con predominio de sílice y baja proporción de finos. Debido a sus propiedades físicas, es ampliamente utilizada como componente de sustratos en viveros agrícolas y forestales, especialmente en la producción de plántulas que requieren una adecuada aireación radicular y buen drenaje [32].

Desde el punto de vista físico, la arena de río se caracteriza por su alta porosidad macroscópica, lo que favorece la circulación de aire en el sistema radicular y reduce el riesgo de anegamiento y pudrición de raíces. Esta propiedad resulta fundamental en la etapa de germinación y crecimiento inicial de las plántulas en vivero, ya que promueve un desarrollo radicular sano y uniforme [50].

En términos químicos, la arena de río presenta un bajo contenido de nutrientes y una capacidad de intercambio catiónico muy reducida. Por esta razón, su uso como sustrato único no es recomendable para el crecimiento prolongado de las plantas; sin embargo, combinada con materiales orgánicos o enmiendas minerales, contribuye a mejorar la estructura del sustrato sin alterar significativamente el pH ni la salinidad [51].

Desde el punto de vista sanitario, la arena de río adecuadamente lavada y desinfectada presenta una baja carga de patógenos, semillas de malezas y organismos nocivos, lo que la convierte en un material seguro para su uso en vivero. No obstante, se recomienda su tratamiento previo mediante lavado, solarización o desinfección para garantizar condiciones óptimas de crecimiento [52].

En viveros forestales, la arena de río se emplea comúnmente en mezclas con humus de lombriz, compost u otros sustratos orgánicos, con el fin de equilibrar la aireación, la retención de humedad y el aporte nutricional. En especies adaptadas a condiciones áridas, como el huarango (*Prosopis pallida*), estas mezclas permiten obtener sustratos ligeros y bien drenados, favoreciendo la emergencia, el crecimiento radicular y la supervivencia de las plántulas [50]. Diversos estudios indican que la incorporación de arena de río en proporciones adecuadas mejora la uniformidad del crecimiento de las plántulas y facilita el manejo del riego en vivero, especialmente en zonas con altas temperaturas y baja disponibilidad hídrica [53].

1.4 Formulación del problema

Problema general.

¿Con cuál de los sustratos orgánicos mezclado con bentonita se obtendrá una mejor germinación y desarrollo del huarango de más de 650 años en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje, Ica?

Problemas específicos.

¿Cuál de los sustratos orgánicos mezclado con bentonita se obtendrá la mejor germinación del huarango de más de 650 años en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje, Ica?

¿Cuál de los sustratos orgánicos mezclado con bentonita se obtendrá el mejor desarrollo del huarango de más de 650 años en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje, Ica?

1.5 Delimitación del problema

Delimitación geográfica

Esta investigación se enmarca en el ámbito de la restauración ecológica en vivero de árboles de huarango (*Prosopis sp.*) con una antigüedad estimada de más de 650 años, ubicados en el municipio de Ocucaje (Asociación de vivienda “Las Lomas”) cuyas coordenadas son: Latitud: 14°20′34.62” S, Longitud: 75°40′05.40” O, Altitud: 358 m.s.n.m. perteneciente a la región Ica, en Perú. El estudio se centró en evaluar el efecto de la combinación de diferentes proporciones de sustrato orgánico y bentonita sobre el desarrollo inicial (germinación, vigor y crecimiento) de plántulas de huarango en condiciones controladas de vivero.

Delimitación temporal

Temporalmente, el estudio se desarrolló durante una temporada agrícola (aproximadamente seis meses), lo cual permite observar los resultados iniciales del crecimiento de las plántulas bajo las distintas mezclas de sustrato.

Delimitación social

La presente investigación se enfocó en beneficiar de manera directa a las comunidades rurales del municipio de Ocucaje, en la región Ica, cuyo entorno natural está estrechamente vinculado al ecosistema del huarango (*Prosopis sp.*). Estas poblaciones, en su mayoría dedicadas a la agricultura de subsistencia y actividades forestales tradicionales, enfrentan actualmente serios desafíos ambientales como la desertificación, la pérdida de cobertura vegetal y la escasez de recursos hídricos.

Al desarrollar una técnica eficiente para la recuperación de huarangos longevos en vivero mediante el uso de sustrato orgánico combinado con bentonita, este estudio ofrece alternativas sostenibles para la reforestación y manejo comunitario de recursos forestales nativos. Así, se promueve el fortalecimiento de prácticas ecológicas que contribuyen al bienestar social, fomentando la participación local en procesos de conservación y valorización del patrimonio natural.

El impacto social de este estudio se proyectó hacia la mejora de la calidad ambiental y, en consecuencia, de las condiciones de vida de la población, mediante la protección de especies clave para el equilibrio ecológico y la identidad cultural de la región. Además, los resultados

podrían ser utilizados por autoridades locales, organizaciones ambientales y programas educativos como insumo para diseñar estrategias de gestión ambiental participativa.

1.6 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

a. Justificación

Existe la urgente necesidad de detener la degradación de los bosques de huarango (*Prosopis sp.*) en la región de Ica, particularmente en el distrito de Ocucaje, donde la tala indiscriminada de esta especie nativa para la producción de leña vegetal (carbón) ha provocado una alarmante reducción de su cobertura. Esta presión sobre el recurso natural ha tenido impactos directos en el ecosistema, como la disminución de la biodiversidad, la erosión del suelo, y la desertificación progresiva.

El huarango es una especie clave en la sostenibilidad ecológica de los ambientes áridos del Perú: posee un sistema radicular profundo, capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, y contribuye significativamente a la estabilización de suelos y la regulación hídrica. Además, representa un valor cultural e histórico para las comunidades locales, especialmente en contextos donde aún se conservan ejemplares longevos de más de 650 años, los cuales son considerados patrimonio biológico.

En este contexto, la investigación se justifica por su enfoque innovador en la propagación de huarangos en vivero, mediante la combinación de sustrato orgánico con bentonita, un mineral que mejora la retención de agua. Dado que Ica es una de las regiones con mayor escasez hídrica del país, se hace indispensable desarrollar métodos que reduzcan el consumo de agua en procesos de reforestación, sin afectar la eficiencia en el crecimiento de las plántulas.

Desde el punto de vista científico y técnico, el estudio buscó llenar un vacío de conocimiento en la producción y recuperación de huarangos longevos en vivero, con base en experimentación rigurosa y criterios ecológicos. La generación de estos datos será clave para establecer protocolos replicables en otras zonas áridas del país y contribuir al desarrollo de políticas de reforestación con especies nativas.

Finalmente, desde una perspectiva social, este estudio beneficiará a las comunidades rurales de Ocucaje, al ofrecer herramientas prácticas y sostenibles para la restauración de sus paisajes degradados, fomentando la participación comunitaria y fortaleciendo la conciencia ambiental. Al valorar el huarango como especie emblemática, no solo se promueve su conservación, sino también se impulsa la educación ambiental, el desarrollo sostenible y la identidad cultural local.

Por estas razones, el estudio es pertinente, viable y de alto impacto, tanto en términos ecológicos como sociales, y se alinea con objetivos nacionales e internacionales de adaptación al cambio climático y conservación de ecosistemas.

b. Importancia

La investigación adquiere relevancia significativa por su contribución directa a la restauración de los bosques de huarango (*Prosopis sp.*) en la región de Ica, especialmente en el distrito de Ocucaje, una zona seriamente afectada por la tala indiscriminada y el uso no sostenible de esta especie forestal nativa. El huarango, además de su longevidad y valor cultural, cumple funciones vitales en los ecosistemas áridos, como la fijación de nitrógeno, la protección contra la erosión y la retención de humedad en el suelo, siendo clave para la sostenibilidad ambiental de la región.

Desde el punto de vista científico y técnico, el estudio aporta conocimiento sobre el uso de sustratos alternativos combinados con bentonita para la propagación eficiente de plántulas en vivero, optimizando el uso del agua, un recurso escaso en esta región del país. Al identificar la mezcla más adecuada de sustrato orgánico y bentonita, se generan herramientas prácticas para reducir el consumo hídrico sin comprometer el crecimiento de especies forestales nativas, lo que puede ser replicado en otras zonas áridas del Perú y del mundo.

A nivel social, este trabajo tiene un impacto directo en las comunidades rurales de Ocucaje, al promover prácticas de conservación que pueden integrarse a programas de educación ambiental, agroforestería y reforestación participativa. Además, fomenta la valoración del patrimonio biocultural que representa el huarango, una especie milenaria ligada históricamente a las prácticas agrícolas y espirituales de culturas prehispánicas como la Nazca.

Finalmente, el estudio contribuye al cumplimiento de objetivos de desarrollo sostenible (ODS), particularmente los relacionados con la vida de ecosistemas terrestres (ODS 15), la acción por el clima (ODS 13) y el uso responsable del agua (ODS 6), reforzando el compromiso con una gestión ambiental sostenible y resiliente ante el cambio climático.

1.7 HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Hipótesis de la Investigación.

Hipótesis general.

El uso de sustratos orgánicos enriquecidos con bentonita influye significativamente en la producción de plantones de huarango (*Prosopis sp.*) provenientes de semillas de árboles longevos, bajo condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje.

Hipótesis específicas

- a) Los sustratos orgánicos con bentonita incrementan significativamente el porcentaje de germinación de las semillas de huarango en comparación con sustratos orgánicos sin bentonita.
- b) La incorporación de bentonita en los sustratos orgánicos mejora el crecimiento inicial de los plantones de huarango, reflejado en mayor altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas.

- c) Existen diferencias significativas en la calidad de los plantones producidos entre los distintos tratamientos de sustrato evaluados.

1.8 Variables de la Investigación

Identificación de las variables

a) V. Independiente. (causa) (X_1)

Sustratos: control o testigo (tierra + arena), arena + bentonita, aserrín + bentonita, compost, + bentonita y humus de lombriz + bentonita.

Indicadores:

1 kg de sustrato por bolsa para la germinación y desarrollo de la planta

b) V. Dependientes. - (efecto) (Y_1)

Germinación y desarrollo de las plantas de huarango.

Indicadores:

- Porcentaje de emergencia a los 20 y 90 días después de la siembra (%)
- Altura de planta (cm) a los 20, y 90 días después de la siembra
- Número de hojas por planta (unidades) a los 20 y 90 días después de la siembra
- Diámetro basal de tallo de plántula (mm) a los 90 días después de la siembra
- Diámetro de raíz de plántula a los 90 días después de la siembra
- Longitud de raíz de plántula a los 90 días después de la siembra

c) V. Intervinientes. (Z_1)

Las variables que se pueden interferir entre las variables influyentes sobre el proceso de germinación y desarrollo del huarango pueden ser: el cambio del clima, la presencia del pH en el sustrato.

1.9 Objetivos

a) Objetivo general.

Evaluar la producción de plantones de huarango (*Prosopis* sp.) a partir de semilla procedente de un árbol longevo, utilizando diferentes sustratos orgánicos enriquecidos con bentonita, en condiciones de vivero en el municipio de Ocucaje, región Ica.

b) Objetivos específicos.

1. Determinar el efecto de los sustratos orgánicos con bentonita sobre el porcentaje y tiempo de germinación de las semillas de huarango.
2. Evaluar el crecimiento inicial de los plantones mediante variables morfológicas como altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas.
3. Identificar el sustrato orgánico con bentonita que optimice la producción de plantones de huarango en vivero.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1 Ubicación del campo experimental

El estudio de investigación se efectuó en el terreno de propiedad de la señora Rosa Salazar, ubicado en la Asociación de vivienda las “Lomas de Ocucaje” perteneciente al municipio del distrito de Ocucaje, perteneciente a la provincia y Departamento de Ica

Las coordenadas son las siguientes:

Latitud: 14°20'34.62" S

Longitud: 75°40'05.40" O

Altitud: 358 m.s.n.m.



Figura 1: Ubicación del experimento

2.2 Tipo, nivel y diseño de la investigación.

2.2.1 Tipo de investigación:

Es una investigación de tipo aplicada, ya que buscó generar soluciones prácticas y concretas para un problema ambiental específico: la recuperación y propagación de árboles de *Prosopis sp.* (huarango) en vivero, mediante el uso de combinaciones de sustratos orgánicos con bentonita que optimicen el consumo de agua en condiciones áridas.

2.2.2 Nivel de investigación:

El nivel de investigación fue experimental, dado que se manipularán intencionalmente las variables independientes (tipos de sustrato) para observar su efecto sobre variables dependientes como el crecimiento, la germinación, el desarrollo y crecimiento de las plántulas de huarango en condiciones de vivero.

2.2.3 Diseño de investigación:

Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), el cual permite controlar la variabilidad experimental asociada a factores no controlables dentro del vivero, como pequeñas diferencias en microclima o humedad.

Se evaluarán cuatro tratamientos con diferentes tipos de sustrato orgánico combinados con bentonita, más un tratamiento testigo (control) sin bentonita, con cuatro repeticiones por tratamiento, lo que da un total de 20 unidades experimentales (parcelas).

TABLA 1.
FUENTES PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Fuente de variación	Fórmula	Grados Libertad GL
Total	$(r + t + e)$	19
Repeticiones	$(r - 1)$	3
Tratamientos	$(t - 1)$	4
Error experimental	$(r - 1) (t - 1)$	12

2.3 Tratamientos en estudio

En el presente experimento se evaluaron cinco tratamientos, correspondientes a cuatro tipos de sustratos orgánicos combinados con bentonita, además de un testigo o control sin adición de bentonita, con el objetivo de analizar su efecto sobre la germinación de semillas y el crecimiento

inicial de plántulas de *Prosopis sp.* (huarango). El ensayo se realizó bajo condiciones de la zona en un vivero artesanal ubicado en el municipio de Ocucaje, diseñado específicamente para cumplir con los objetivos del estudio y reproducir condiciones similares a las del entorno árido local.

Cada tratamiento fue replicado cuatro veces, con cinco semillas por repetición, haciendo un total de 20 unidades experimentales bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA).

A continuación, se detallan los tratamientos evaluados:

TABLA 02.

TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.

CLAVE LITERAL	TIPO DE SUSTRATO	PROCEDENCIA	DOSIS
T1	Arena + bentonita	Rio	1 kg/bolsa
T2	Aserrín de madera + bentonita	Maderera	1 kg/bolsa
T3	Humus + bentonita	Lombriz	1 kg/bolsa
T4	Compost + bentonita	Residuos orgánicos	1 kg/bolsa
T5	Control o testigo	Tierra agrícola más arena	1 kg/bolsa

2.4 Población y muestra

Población:

La población está compuesta por todas las plántulas (100 bolsas de polietileno) potenciales de *Prosopis sp.* (huarango) obtenidas a partir de semillas recolectadas de un árbol madre de más de 650 años, ubicado en el municipio de Ocucaje, Ica. Este árbol representa un reservorio genético importante, adaptado a condiciones áridas extremas, y constituye la base para la propagación de individuos con alto valor ecológico.

Muestra:

La muestra está conformada por un total de 40 plántulas, que estuvieron distribuidas en 5 tratamientos (cuatro mezclas de sustrato orgánico con bentonita y un tratamiento testigo sin bentonita), con 4 repeticiones por tratamiento.

El diseño experimental empleado permitió observar con claridad los efectos del tipo de sustrato sobre variables como la tasa de germinación, el crecimiento inicial, y la supervivencia de las plántulas, facilitando una comparación estadísticamente válida entre tratamientos.

La selección de las semillas fue intencional y controlada, asegurando homogeneidad en cuanto a tamaño, madurez y origen genético, con el fin de minimizar la variabilidad biológica dentro del experimento.

2.5 Características del Campo experimental.

PARCELA O UNIDAD EXPERIMENTAL

Numero de parcelas	= 20
Largo de parcela	= 1.00 m
Ancho de parcela	= 0.50 m
Área de parcela	= 0.50 m ²

SURCOS

Numero de hilera por parcela	= 1.0
Largo de hilera	= 1.00 m
Distanciamiento entre hilera	= 0.20 m
Numero de bolsas por hilera	= 5.0

BLOQUES

Número de bloques	= 4
Largo de bloque	= 1.00 m
Ancho de bloque	= 2.50 m
Área de cada bloque	= 2.5 m ²

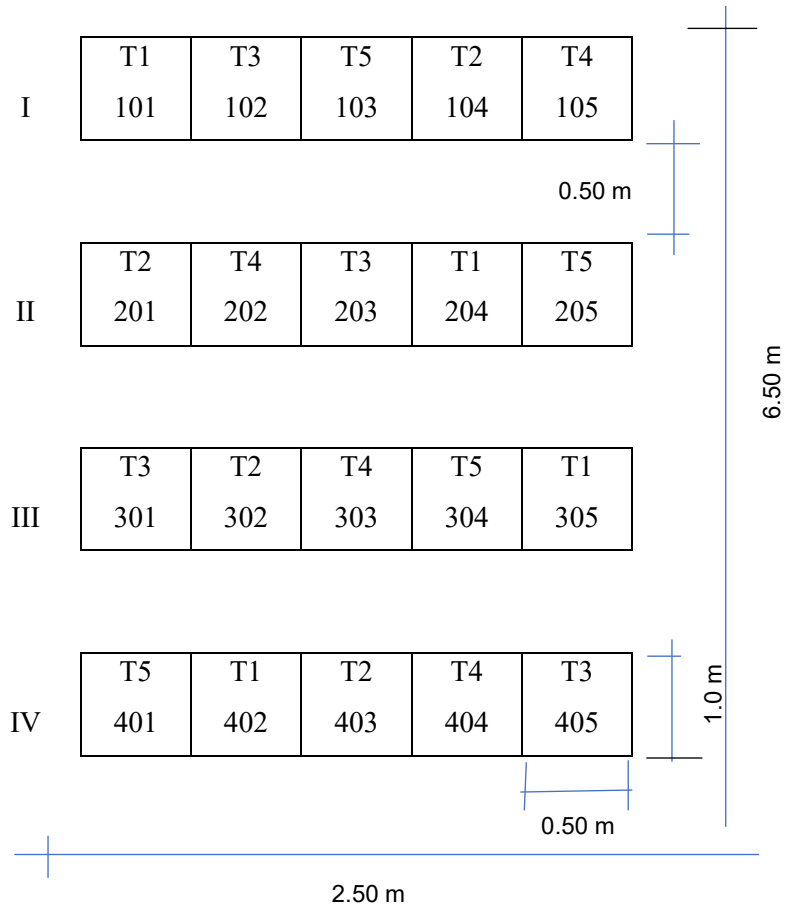
CALLES

Numero de calles	= 5
Largo de calles	= 2.5 m
Ancho de calles	= 1.0 m
Área total de cada calle	= 2.5 m ²

DIMENSION DEL TERRENO EXPERIMENTAL

Largo	= 6.50 m
Ancho	= 2.50 m
Área total	= 16.25 m ²
Área neta	= 10.0 m ²

TABLA 3:
CROQUIS EXPERIMENTAL



1 – 5 = número de tratamientos

101 – 405 = número de parcela según el bloque

I - IV = número de bloque

2.6 Metodología de Aplicación los tratamientos

El experimento se llevó a cabo en condiciones de vivero, ubicado en el distrito de Ocucaje, Ica. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tratamientos basados en diferentes combinaciones de sustrato orgánico y bentonita.

Se seleccionaron plántulas obtenidas de semillas recolectadas de árboles de *Prosopis* sp. con más de 650 años de antigüedad (según información de los dueños y trabajadores del lugar) obtenidas de la hacienda “Soisonguito” ubicado en el departamento de Nazca. Las vainas recolectadas fueron escarificadas manualmente para extraer las semillas del interior y luego sometidas a un proceso de pre-germinación con agua caliente después se enfrió en agua fría y posteriormente sembradas en bolsas de almacigo en el invernadero.

Se formularon diferentes tratamientos con proporciones iguales de sustrato orgánico (compuesto a base de compost, arena de río, humus de lombriz, aserrín de madera y tierra agrícola) y bentonita en polvo.

Se realizaron evaluaciones en dos momentos claves:

- A los 20 días después de la siembra: para evaluar porcentaje de germinación, altura de plántula, número de hojas por plántula.
- A los 90 días después de la siembra: para analizar el desarrollo general, biomasa aérea y radicular, altura, número de hojas, diámetro del tallo.

Metodología de la aplicación de los factores constantes

Con el fin de asegurar la validez del experimento y evitar que variables externas afecten los resultados, se controlaron una serie de factores constantes en todas las unidades experimentales. Estos factores fueron cuidadosamente definidos y aplicados de manera uniforme durante todo el periodo de evaluación en vivero.

1. Riego

El riego fue realizado de forma manual con agua potable, aplicando la misma cantidad y frecuencia a todas las bolsas de almacigo. Se regó dos veces a la semana durante los primeros 30 días y luego cada cinco a seis días, asegurando que el sustrato se mantuviera húmedo sin saturarse, con el objetivo de evitar diferencias en el contenido hídrico entre tratamientos.

2. Volumen de sustrato

Todas las bolsas fueron llenadas con exactamente un kilogramo de la mezcla de sustrato correspondiente a su tratamiento. Se utilizó una balanza y un recipiente medidor para garantizar la misma densidad y volumen en cada unidad experimental.

3. Tipo y tamaño de recipiente

Se utilizaron bolsas plásticas negras de polietileno de alta densidad, con un diámetro de 9' x 14' x 2, todas nuevas y del mismo fabricante. Estas condiciones permitieron un drenaje adecuado y espacio suficiente para el desarrollo radicular inicial.

4. Control fitosanitario

Se realizó una inspección visual semanal de las plántulas para detectar signos de plagas o enfermedades, no presentándose ningún daño por plaga o enfermedades

5. Material genético

Las plántulas utilizadas fueron todas provenientes de semillas recolectadas del mismo árbol madre de *Prosopis* sp., asegurando así uniformidad genética en las unidades experimentales y eliminando la variabilidad asociada a diferencias genéticas.

2.7 Conducción de la investigación

El presente experimento se llevó a cabo en el vivero del distrito de Ocucaje, Ica, durante un periodo de 90 días, con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes mezclas de sustrato orgánico con bentonita en el desarrollo de plántulas de *Prosopis* sp. (Huarango), provenientes de árboles con más de 650 años de antigüedad (informe dueño y trabajadores del lugar).

1. Recolección y preparación de semillas

Se recolectaron vainas maduras de un ejemplar de *Prosopis* sp. de más de 650 años ubicado en el fundo “Soisonguito” departamento de Nazca, el 17 de junio del 2023. Las semillas fueron extraídas manualmente y sometidas a escarificación manual para romper la latencia. Posteriormente, se colocaron en agua caliente por 5 minutos y posteriormente se remojo en agua a temperatura ambiente durante 24 horas para favorecer la germinación.

2. Germinación

Las semillas pretratadas fueron colocadas en bolsas de almacigo el 23 de octubre del año 2023 para la germinación en un kg de cada uno de los sustratos en estudio y mantenidas bajo condiciones de humedad constante hasta que desarrollaron raíces y el primer par de hojas verdaderas.

3. Aplicación de tratamientos

Cada grupo de bolsas plásticas fue rellenado con las proporciones definidas de sustrato orgánico y bentonita:

- T1: 90 % arena +10 % bentonita
- T2: 90% aserrín de madera + 10% bentonita
- T3: 90% humus de lombriz + 10% bentonita
- T4: 90% compost + 10% bentonita
- T5: testigo o control 100% tierra agrícola

Cada tratamiento fue replicado cuatro veces, totalizando 20 bolsas por cada tratamiento en estudio, haciendo un total de 100 unidades experimentales.

4. Mantenimiento en vivero

Durante los 90 días, las plántulas fueron mantenidas bajo un régimen de riego uniforme, con rotación semanal de bolsas para garantizar la homogeneidad de exposición a la luz y temperatura.

5. Evaluación de variables

Se realizaron dos evaluaciones durante el experimento:

- **A los 20 días:** Se evaluó el porcentaje de emergencia, altura de plántulas, número de hojas.
- **A los 90 días:** Se midieron variables morfológicas como porcentaje de germinación, altura de la planta, número de hojas, diámetro del tallo, longitud de raíz y diámetro de raíz.

6. Registro y análisis

Todos los datos fueron registrados en fichas de campo individuales y posteriormente ingresados a una base de datos para su análisis estadístico. Se utilizó ANVA para determinar diferencias significativas entre tratamientos y la prueba de Duncan para comparar medias con un nivel de confianza del 95%.

2.8 Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos se empleó la técnica de la observación directa, complementada con mediciones cuantitativas, con el fin de registrar de manera precisa el comportamiento de las plántulas de *Prosopis* sp. bajo las diferentes mezclas de sustrato orgánico y bentonita. Las observaciones se realizaron de forma sistemática en dos etapas: a los 20 días y a los 90 días posteriores al trasplante.

Se diseñó y utilizó una hoja de registro estandarizada en la que se anotaron todas las evaluaciones de las variables consideradas en el presente experimento.

Las observaciones y mediciones se realizaron de forma manual, en el mismo horario (8:00 a.m. – 11:00 a.m.) para evitar variaciones debidas a condiciones ambientales extremas. Cada unidad experimental fue evaluada individualmente por el mismo grupo de trabajo, utilizando instrumentos calibrados como cinta métrica, vernier digital y balanza analítica.

2.9 Instrumentos de recolección de datos

En el presente estudio se utilizaron los siguientes materiales e instrumentos:

- Materiales:
 - Fichas elaboradas para anotar datos de campo
 - Libreta de campo
 - Tablas diseñadas para la toma de datos en cada una de las variables
- Materiales de campo:
 - Wincha

- Cordel
- Cal
- Estacas
- Tarjetas de identificación
- Guantes
- Mascarilla
- Bolsa de almacigo
- Baldes (grande y chico)
- Manguera
- Equipos y herramientas:
 - Lampa de jardín
 - Laptop
 - Vernier
 - balanza de precisión,
 - Cinta métrica
 - Carretilla
 - Programa estadístico INFOSTAT versión 2020.

2.10 Variables de la investigación:

Las variables que se evaluaron en el presente experimento fueron:

Porcentaje de emergencia (%).

El porcentaje de germinación se evaluó mediante un conteo directo a los 20 y 90 días después de emergidas las plantas en relación con la cantidad total sembrada. Se colocaron dos semillas por bolsa de plástico, previamente tratadas y sembradas en los diferentes tratamientos de sustrato orgánico con bentonita.

El conteo de emergencia de plántulas se realizó a los 20 y a los 90 días el porcentaje de germinación, registrando la emergencia de plántulas visibles (aparición de cotiledones sobre la superficie del sustrato). Aquellas bolsas en las que no se observó germinación fueron resembradas para asegurar que cada unidad experimental tuviera al menos una plántula viable, manteniendo la uniformidad del experimento.

Esta variable fue evaluada a los 20 y 90 días después de la siembra, considerando el total de semillas germinadas en cada tratamiento y calculando el porcentaje de germinación con la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de germinación} = \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{Numero total de semillas sembradas}} \times 100$$

Fuente: adaptado de [19].

Los datos obtenidos fueron registrados en fichas de campo y posteriormente integrados al análisis estadístico junto con las demás variables morfológicas y fisiológicas evaluadas.

Altura de planta (cm)

La variable crecimiento en altura fue evaluada en dos fases fisiológicas, en función de los días transcurridos desde la siembra de las semillas. Las mediciones se realizaron en las siguientes fechas clave: 20, y 90 días después de la siembra (DDS), siguiendo criterios fisiológicos de desarrollo de las plántulas, según la metodología adaptada de [19].

En cada tratamiento, se seleccionaron tres plántulas representativas (por unidad experimental) que fueron marcadas permanentemente desde el inicio de la evaluación para realizar un seguimiento constante a lo largo del periodo.

Las mediciones se realizaron utilizando una regla graduada en milímetros, registrando la longitud desde la base del tallo (área basal) hasta el ápice terminal de la planta.

Diámetro basal de tallo (mm).

La medición del diámetro basal del tallo se llevó a cabo con el propósito de evaluar el engrosamiento del tallo como indicador del desarrollo estructural de las plántulas de *Prosopis* sp. bajo los distintos tratamientos de sustrato.

La medición se realizó con el uso de un Vernier o calibrador digital, instrumento de precisión que permite determinar el grosor del tallo con exactitud hasta la centésima de milímetro.

Las lecturas se tomaron a los 20 y 90 días después de la siembra.

El punto de medición fue el ras de la base del tallo, justo en la unión con el sustrato (cuello de la raíz), asegurando que todas las lecturas se realicen en el mismo punto para mantener la homogeneidad.

Se midieron tres plantas marcadas por tratamiento, las mismas utilizadas en la medición de altura, para dar continuidad al seguimiento individual de las variables morfológicas.

Número de hojas por planta (unidades).

El número de hojas por plántula fue una de las variables morfológicas consideradas para evaluar el desarrollo vegetativo de *Prosopis* sp. bajo diferentes mezclas de sustrato orgánico con bentonita.

Esta variable se determinó mediante observación directa, realizando un conteo visual del número total de hojas verdaderas presentes en cada plántula.

La evaluación se llevó a cabo en dos momentos específicos del desarrollo: a los 20 días y a los 90 días después de la siembra (DDS).

El conteo se realizó manualmente planta por planta, anotando el número de hojas formadas y completamente desarrolladas, excluyendo los cotiledones.

Longitud de raíz

La variable longitud de raíz fue considerado como un indicador morfológico del desarrollo subterráneo de las plántulas de *Prosopis* sp., permitiendo conocer la respuesta radicular frente a los distintos tratamientos de sustrato orgánico con bentonita.

La evaluación se realizó al final del experimento, a los 90 días después de la siembra, cuando las plantas ya habían desarrollado un sistema radicular completo.

Se selecciono una planta por tratamiento, que fue cuidadosamente extraídas de las bolsas para evitar dañar las raíces.

Se utilizó una regla milimétrica, midiendo desde la base del tallo (cuello de la raíz) hasta el extremo más largo de la raíz principal.

Las plantas obtenidas fueron obsequiadas a los pobladores de la Asociación de vivienda las “Lomas de Ocucaje”, familiares y amistades, para su conservación de la especie.

Diámetro de raíz

La variable diámetro de raíz fue considerada como un indicador morfológico fundamental del desarrollo subterráneo de las plántulas de *Prosopis* sp., permitiendo evaluar la respuesta radicular ante los distintos tratamientos de sustrato orgánico mezclado con bentonita.

La evaluación se realizó al final del experimento, específicamente a los 90 días después de la siembra, cuando las plántulas habían desarrollado un sistema radicular completo y adecuado para su análisis.

Para la medición, se seleccionó una planta por tratamiento, la cual fue cuidadosamente extraída de las bolsas para evitar daños en las raíces y conservar su estructura natural.

El diámetro de la raíz principal se determinó utilizando un vernier digital, tomando la medición en la parte más gruesa de la raíz principal, justo inmediatamente por debajo del cuello de la planta.

Las mediciones fueron realizadas en condiciones controladas, con las raíces lavadas previamente para remover todo rastro de sustrato.

Posteriormente, los datos fueron registrados en la hoja de campo y procesados en la matriz de análisis estadístico.

2.10 Técnicas de procesamiento de datos

Los datos recogidos en campo fueron tabulados y organizados en Microsoft Excel y posteriormente transformados en información estadística utilizando el software InfoStat versión 2020.

Se aplicó el análisis de varianza (ANVA) para determinar diferencias significativas entre los tratamientos en todas las variables evaluadas. Para establecer el orden de mérito relativo entre tratamientos, se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan, con un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0.05$).

III. RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos a lo largo del experimento, incluyendo los datos meteorológicos reportados por el SENAMHI correspondientes al periodo de desarrollo del cultivo, así como los análisis estadísticos realizados sobre las distintas variables morfológicas y fisiológicas evaluadas.

3.1 Datos meteorológicos

La información fue reportada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Ica (SENAMHI – Ica), Estación CO Ocucaje de Ica, por ser la estación meteorológica más cercana al lugar donde se desarrolló el trabajo de investigación, solicitando información sobre temperatura (máxima y mínima), horas de sol y humedad relativa de los meses en que se desarrolló el trabajo de investigación, para ver si se producía un efecto notorio en sus fases de germinación y desarrollo de las plántulas, y cuyos valores se presentan a continuación en la tabla 4 .

TABLA 4.

OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS DE SEPTIEMBRE 2023 A ENERO DEL AÑO 2024

Mes	Temperatura °C			Horas de sol (Media mensual)	Humedad relativa (%)
	Máxima	Media	Mínima		
Septiembre	s/d	19.7	11.6	230.2	75
Octubre	s/d	22.9	14.0	263.5	70
Noviembre	s/d	22.6	14.1	249.5	70
Diciembre	s/d	24.2	15.7	258.0	68
Enero	s/d	25.9	18.1	253.9	67

Nota: s/d = sin datos

Fuente: datos proporcionados por SENAMHI

CO OCUCAJE

Latitud: 14° 22' 42.2" W.

Longitud: 75° 40' 55.4" S.

Altitud: 324 msnm

3.2 Porcentaje de emergencia a los 20 días.

En el análisis de varianza realizado para el porcentaje de emergencia, se observa que no se ha encontrado diferencia significativa entre bloques, en cambio, si se ha encontrado diferencia significativa entre los tratamientos, con un coeficiente de variabilidad de 10.7% (Tabla 5).

TABLA 5.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE EMERGENCIA A LOS 20 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

F. V	G. L.	SC	CM	SIG.	Razón-F	Valor-P
Total	19	6620,0	-.	-.	-.	-.
Bloques	3	60,00	20,0	NS	0,23	0,8732
Tratamientos	4	5520,0	1380,0	**	15,92	0,0001
Error. corregido.	12	1040,0	88,67	-.	-.	-.
Promedio general		87,0				
C. V. (%)		10,7				
Desviación Estándar		19				

Nota:

*: Diferencias significativas con 95 % de confianza.

**: Diferencias altamente significativas con 99 % de confianza.

NS: No existen diferencias significativas

TABLA 6.

PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN DEL PORCENTAJE DE EMERGENCIA A LOS 20 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

Clave	Tratamientos	Duncan (α 0.05)		
		Media (%)	Agrupación	O.M. R
4	Compost + bentonita	100,00	a	1°
3	Humus + bentonita	100,00	a	1°
1	Arena + bentonita	90,00	a	1°
2	Aserrín de madera + bentonita	90,00	a	1°
5	Control o testigo	55,00	b	2°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

3.3 Porcentaje de germinación a los 90 días.

En el análisis de varianza realizado para el porcentaje de germinación a los 90 días, se observa que no se ha encontrado diferencia significativa entre bloques, en cambio, si se ha encontrado diferencia altamente significativa entre los tratamientos, con un coeficiente de variabilidad de 8.87% (Tabla 7).

TABLA 7.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

F. V	G. L.	SC	CM	SIG.	Razón-F	Valor-P
Total	19	3520,0	-.	-.	-.	-.
Bloques	3	0,00	0,00	NS	0,00	> 0,9999
Tratamientos	4	2720,0	6,80	**	10,20	0,0008
Error. corregido.	12	800,0	66.67	-.	-.	-.
Promedio general		92,0				
C. V. (%)		8,87				
Desviación Estándar		14				

Nota:

*: Diferencias significativas con 95 % de confianza.

**: Diferencias altamente significativas con 99 % de confianza.

NS: No existen diferencias significativas

TABLA 8.

PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN DEL PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

Clave	Tratamientos	Duncan (α 0.05)		
		Media (%)	Agrupación	O.M. R
4	Compost + bentonita	100,00	a	1°
3	Humus + bentonita	100,00	a	1°
2	Aserrín de madera + bentonita	100,00	a	1°
1	Arena + bentonita	90,00	a	1°
5	Control o testigo	70,00	b	2°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

3.4 Altura de planta a los 20 días.

En el análisis de varianza realizado para la altura de planta a los 20 días, se observa que no se ha encontrado diferencia significativa entre bloques, en cambio, si se ha encontrado diferencia significativa entre los tratamientos, con un coeficiente de variabilidad de 15.07% (Tabla 9).

TABLA 9.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA ALTURA DE PLANTA A LOS 20 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

F. V	G. L.	SC	CM	SIG.	Razón-F	Valor-P
Total	19	22,86	--	--	--	--
Bloques	3	1,19	0,40	NS	0,49	0,6986
Tratamientos	4	11,91	2,98	*	3,66	0,0359
Error. corregido.	12	9,76	0,81	--	--	--
Promedio general		5,99				
C. V. (%)		15,07				
Desviación Estándar		1,10				

Nota:

*: Diferencias significativas con 95 % de confianza.

**: Diferencias altamente significativas con 99 % de confianza.

NS: No existen diferencias significativas

TABLA 10.

PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN DE LA ALTURA DE PLANTA A LOS 20 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

Clave	Tratamientos	Duncan (α 0.05)		
		Media (cm)	Agrupación	O.M. R
4	Compost + bentonita	6,94	a	1°
3	Humus + bentonita	6,75	a b	1°
2	Aserrín de madera + bentonita	5,92	a b c	1°
1	Arena + bentonita	5,44	b c	2°
5	Control o testigo	4,89	c	3°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

3.5 Altura de planta a los 90 días

En el análisis de varianza realizado para la altura de planta a los 90 días, se observa que no se ha encontrado diferencia significativa entre bloques, en cambio, si se ha encontrado diferencia altamente significativa entre los tratamientos, con un coeficiente de variabilidad de 19.17% (Tabla 11).

TABLA 11.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA ALTURA DE PLANTA A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

F. V	G. L.	SC	CM	SIG.	Razón-F	Valor-P
Total	19	617,96	-.	-.	-.	-.
Bloques	3	21,39	7,13	NS	0,93	0,4542
Tratamientos	4	505,00	126,25	**	16,54	0,0001
Error. corregido.	12	91,57	7,63	-.	-.	-.
Promedio general		14,41				
C. V. (%)		19,17				
Desviación Estándar		5,70				

Nota:

*: Diferencias significativas con 95 % de confianza.

**: Diferencias altamente significativas con 99 % de confianza.

NS: No existen diferencias significativas.

TABLA 12.

PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN DE LA ALTURA DE PLANTA A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

Clave	Tratamientos	Duncan (α 0.05)		
		Media (cm)	Agrupación	O.M. R
3	Humus + bentonita	22,19	a	1°
4	Compost + bentonita	18,21	a	1°
1	Arena + bentonita	12,32	b	2°
2	Aserrín de madera + bentonita	10,63	b	2°
5	Control o testigo	8,70	b	2°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

3.6 Números de hojas en las plantas a los 20 días

En el análisis de varianza realizado para el número de hojas en las plantas a los 20 días, se observa que no se ha encontrado diferencia significativa entre bloques, en cambio, si se ha encontrado diferencia significativa entre los tratamientos, con un coeficiente de variabilidad de 24.98% (Tabla 13).

TABLA 13.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL NÚMERO DE HOJAS EN LAS PLANTAS A LOS 20 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

F. V	G. L.	SC	CM	SIG.	Razón-F	Valor-P
Total	19	13,92	-.	-.	-.	-.
Bloques	3	0,74	0,25	NS	0,43	0,7386
Tratamientos	4	6,20	1,55	*	2,67	0,0840
Error. corregido.	12	6,97	0,58	-.	-.	-.
Promedio general		3,051				
C. V. (%)		24.98				
Desviación Estándar		0,86				

Nota:

*: Diferencias significativas con 95 % de confianza.

**: Diferencias altamente significativas con 99 % de confianza.

NS: No existen diferencias significativas

TABLA 14.

PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN DEL NÚMERO DE HOJAS EN LAS PLANTAS A LOS 20 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

Clave	Tratamientos	Duncan (α 0.05)		
		Media (unidad)	Agrupación	O.M. R
4	Compost + bentonita	3,85	a	1°
3	Humus + bentonita	3,50	a b	1°
2	Aserrín de madera + bentonita	2,90	a b	1°
1	Arena + bentonita	2,72	a b	1°
5	Control o testigo	2,29	b	2°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

3.7 Número de hojas en las plantas a los 90 días

En el análisis de varianza realizado para el número de hojas en las plantas a los 90 días, se observa que no se ha encontrado diferencia significativa entre bloques, en cambio, si se ha encontrado diferencia altamente significativa entre los tratamientos, con un coeficiente de variabilidad de 19.17% (Tabla 15).

TABLA 15.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL NÚMERO DE HOJAS EN LAS PLANTAS A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

F. V	G. L.	SC	CM	SIG.	Razón-F	Valor-P
Total	19	617,96	-.	-.	-.	-.
Bloques	3	21,39	7,13	NS	0,93	0,4542
Tratamientos	4	505,00	126,25	**	16,54	0,0001
Error. corregido.	12	91,57	7,63	-.	-.	-.
Promedio general		5,072				
C. V. (%)		19,17				
Desviación Estándar		1,90				

Nota:

*: Diferencias significativas con 95 % de confianza.

**: Diferencias altamente significativas con 99 % de confianza.

NS: No existen diferencias significativas

TABLA 16.

PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN DEL NÚMERO DE HOJAS EN LAS PLANTAS A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

Clave	Tratamientos	Duncan (α 0.05)		
		Media (unidad)	Agrupación	O.M. R
3	Humus + bentonita	22,19	a	1°
4	Compost + bentonita	18,21	a	1°
1	Arena + bentonita	12,32	b	2°
2	Aserrín de madera + bentonita	10,63	b	2°
5	Control o testigo	8,70	b	2°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

3.8 Diámetro de tallo de planta a los 90 días

En el análisis de varianza (ANVA) realizado para la variable diámetro de tallo de planta de *Prosopis sp.* a los 90 días después de la siembra, no se encontraron diferencias significativas entre bloques. Sin embargo, sí se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El coeficiente de variación fue de 9.70%, lo cual se considera aceptable y refleja una buena precisión experimental (ver Tabla 17)

TABLA 17.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL DIÁMETRO DE TALLO DE PLANTA A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp.*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

F. V	G. L.	SC	CM	SIG.	Razón-F	Valor-P
Total	19	2,50	-.	-.	-.	-.
Bloques	3	0,07	0,02	NS	0,23	0,8755
Tratamientos	4	1,22	0,30	*	3,02	0,0616
Error. corregido.	12	1,21	0,10	-.	-.	-.
Promedio general		3,276				
C. V. (%)		9,70				
Desviación Estándar		0,36				

Nota:

*: Diferencias significativas con 95 % de confianza.

**: Diferencias altamente significativas con 99 % de confianza.

NS: No existen diferencias significativas

TABLA 18.

PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN DEL DIÁMETRO DE TALLOS DE PLANTA A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp.*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

Clave	Tratamientos	Duncan (α 0.05)		
		Media (mm)	Agrupación	O.M. R
4	Compost + bentonita	3,62	a	1°
3	Humus + bentonita	3,51	a	1°
1	Arena + bentonita	3,17	a b	1°
2	Aserrín de madera + bentonita	3,13	a b	1°
5	Control o testigo	2,96	b	2°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

3.9 largo de raíz de plantas a los 90 días

En el análisis de varianza (ANVA) realizado para el largo de raíz de plantas de *Prosopis sp.* a los 90 días después de la siembra, no se encontraron diferencias significativas entre bloques. Sin embargo, sí se observaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados. El coeficiente de variación fue de 5.88%, lo cual se considera aceptable y refleja una buena precisión experimental (ver Tabla 19).

TABLA 19.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL LARGO DE RAÍZ DE PLANTAS A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp.*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

F. V	G. L.	SC	CM	SIG.	Razón-F	Valor-P
Total	19	842,50	-.	-.	-.	-.
Bloques	3	37,62	12,54	NS	1,36	0,3010
Tratamientos	4	694,48	173,62	**	18,87	< 0,0001
Error. corregido.	12	110,41	9,20	-.	-.	-.
Promedio general		51,625				
C. V. (%)		5,88				
Desviación Estándar		6,66				

Nota:

*Diferencias significativas con 95 % de confianza.

** : Diferencias altamente significativas con 99 % de confianza.

NS: No existen diferencias significativas.

TABLA 20.

PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN DEL LARGO DE RAÍZ DE PLANTAS A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp.*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

Clave	Tratamientos	Duncan (α 0.05)		
		Media (cm)	Agrupación	O.M. R
3	Humus + bentonita	57,18	a	1°
1	Arena + bentonita	56,85	a	1°
2	Aserrín de madera + bentonita	53,45	a b	1°
4	Compost + bentonita	49,38	b	2°
5	Control o testigo	41,28	c	3°

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

3.10 Diámetro de raíz en plantas a los 90 días

En el análisis de varianza (ANVA) realizado para el diámetro de raíz de plantas de *Prosopis sp.* a los 90 días después de la siembra, no se encontraron diferencias significativas entre bloques. Sin embargo, sí se observaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados. El coeficiente de variación fue de 5.88%, lo cual se considera aceptable y refleja una buena precisión experimental (ver Tabla 21).

TABLA 21.

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL DIÁMETRO DE RAÍZ DE PLANTAS A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp.*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

F. V	G. L.	SC	CM	SIG.	Razón-F	Valor-P
Total	19	1,55	-.-	-.-	-.-	-.-
Bloques	3	0,48	0,16	NS	2,08	0,1566
Tratamientos	4	0,13	0,03	NS	0,42	0,7933
Error. corregido.	12	0,93	0,08	-.-	-.-	-.-
Promedio general		2,982				
C. V. (%)		9,34				
Desviación Estándar		0,29				

Nota:

*: Diferencias significativas con 95 % de confianza.

**: Diferencias altamente significativas con 99 % de confianza.

NS: No existen diferencias significativas

TABLA 22.

PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN DEL DIÁMETRO DE RAÍZ DE PLANTAS A LOS 90 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES EN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA CON SEMILLA PROCEDENTE DE ÁRBOL LONGEVO DE HUARANGO (*Prosopis sp.*) EN CONDICIONES DE VIVERO EN EL DISTRITO DE OCUCAJE - ICA

Claves	Tratamientos	Duncan (α 0.05)		
		Media (mm)	Agrupación	O.M. R
4	Compost + bentonita	3,08	a	-.-
5	Control o testigo	3,05	a	-.-
3	Humus + bentonita	2,98	a	-.-
2	Aserrín de madera + bentonita	2,97	a	-.-
1	Arena + bentonita	2,85	a	-.-

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

IV. DISCUSIÓN

El presente capítulo se discute e interpreta los resultados obtenidos en la evaluación de diferentes combinaciones de sustratos orgánicos y bentonita sobre la germinación y el crecimiento inicial de plántulas de *Prosopis sp.* A partir de los análisis estadísticos realizados, se comparan los hallazgos con estudios previos y se discuten los efectos fisiológicos y edáficos asociados a cada tratamiento, con el fin de explicar las tendencias observadas y su relevancia para la propagación de la especie en condiciones de vivero.

Los análisis estadísticos aplicados para el análisis de varianza (ANVA y prueba de rangos múltiples de Duncan) evidenciaron resultados consistentes y concluyentes.

Porcentaje de emergencia a los 20 días después de la siembra

El análisis de varianza reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P = 0.0001$), indicando que al menos uno de ellos influyó significativamente sobre la emergencia de plántulas. En cambio, el efecto de los bloques no fue significativo ($P = 0.8732$), lo cual sugiere que la ubicación o condiciones experimentales no afectaron los resultados, garantizando así la validez del diseño experimental.

El coeficiente de variación (C.V.) de 10,7% y una desviación estándar de 19 indican una variabilidad moderada y aceptable en los datos, lo cual confirma la precisión del experimento. El promedio general de germinación fue de 87%, evidenciando un buen desempeño germinativo global de las semillas bajo los distintos tratamientos.

Los resultados de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) permitieron clasificar los tratamientos en dos grupos estadísticamente diferentes:

- Grupo “a” (superior): Compost + bentonita, Humus + bentonita, Arena + bentonita y Aserrín de madera + bentonita, con porcentajes de germinación entre 90% y 100%. No se detectaron diferencias significativas entre ellos.
- Grupo “b” (inferior): El control (testigo), con solo 55% de germinación, significativamente menor al resto de tratamientos.

Estos resultados sugieren que la combinación de bentonita (material arcilloso con alta capacidad de retención de agua) con diversos sustratos orgánicos o inorgánicos crea un entorno más favorable para la germinación de huarango. Especialmente, los tratamientos con compost y humus, ambos con 100% de germinación, se destacan como opciones altamente efectivas, posiblemente por su riqueza en nutrientes y mejora en la estructura del sustrato.

Porcentaje de germinación a los 90 días después de la siembra

A los 90 días después de la siembra de semillas de huarango (*Prosopis sp.*), los resultados del análisis de varianza (ANVA) muestran diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P = 0.0008$), indicando que el tipo de sustrato influyó notablemente en la germinación de las semillas en el largo plazo.

El promedio general de germinación fue del 92%, con una desviación estándar de 14 y un coeficiente de variación (C.V.) de 8,87%, lo que indica una excelente precisión experimental. El efecto del bloque fue no significativo ($P > 0.9999$), lo que respalda la homogeneidad de las condiciones experimentales, [54, 55].

En la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, se observó que los tratamientos con Compost + bentonita, Humus + bentonita, Aserrín + bentonita y Arena + bentonita se agruparon en la misma categoría estadística (grupo “a”), alcanzando valores de germinación del 90% al 100%, sin diferencias significativas entre ellos. En contraste, el tratamiento control (testigo) mostró una germinación significativamente menor (70%, grupo “b”), lo que evidencia que los sustratos sin mejoramiento limitan la capacidad germinativa de la especie, [56, 57].

La bentonita, común a todos los tratamientos mejorados, probablemente desempeñó un papel clave gracias a su capacidad para retener agua y mantener niveles óptimos de humedad en el sustrato, lo que es crítico para especies de zonas áridas como el huarango [58, 59]. Asimismo, el uso de materia orgánica como compost, humus o aserrín mejora la estructura del suelo, aporta nutrientes esenciales y favorece la actividad microbiana beneficiosa, lo cual favorece el desarrollo radicular y la emergencia de las plántulas, [60, 61].

Altura de planta a los 20 días después de la siembra.

El análisis de varianza (ANVA) para la altura de plantas de huarango a los 20 días mostró diferencias significativas entre tratamientos ($P = 0.0359$), con efecto no significativo de los bloques ($P = 0.6986$), confirmando la validez del diseño experimental [62].

El promedio general fue 5,99 cm con desviación estándar 1,10 cm y coeficiente de variación de 15,07%, [55].

En la prueba de Duncan, el sustrato con compost + bentonita alcanzó la mayor altura promedio (6,94 cm), seguido de humus + bentonita (6,75 cm), ambos sin diferencias significativas entre sí (grupo “a”). Aserrín + bentonita mostró desempeño intermedio (5,92 cm), mientras que arena + bentonita y control presentaron menores alturas, formando dos grupos “T2-T3” y “T3” respectivamente [57].

La adición de materia orgánica y bentonita mejora el crecimiento inicial por el aporte de nutrientes y la retención hídrica óptima para la elongación celular y desarrollo radicular [59], [60]. Por el contrario, la arena y el control limitan el crecimiento por baja disponibilidad de nutrientes y retención de agua [56, 62].

Estos resultados evidencian que sustratos enriquecidos con bentonita y materia orgánica son efectivos para potenciar el desarrollo temprano de plántulas de huarango, favoreciendo su establecimiento en vivero y supervivencia en ambientes secos [54], [58].

Altura de planta a los 90 días después de la siembra

El análisis de varianza (ANVA) realizado para la altura de planta de huarango a los 90 días después de la siembra (Tabla 7) mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos

aplicados (valor-P = 0.0001), mientras que el efecto de los bloques no fue significativo (valor-P = 0.4542). Esto indica que las diferentes mezclas de sustratos influyeron de manera importante en el crecimiento vertical de las plántulas a esta etapa.

El promedio general de altura fue de 14.41 cm, con una desviación estándar de 5.70 cm y un coeficiente de variación del 19.17%, lo que refleja una variabilidad moderada en el crecimiento entre las plantas evaluadas.

Por su parte, la prueba de rangos múltiples de Duncan (Tabla 8) reveló que los tratamientos con humus + bentonita y compost + bentonita alcanzaron las mayores alturas promedio, 22.19 cm y 18.21 cm respectivamente, y ambos forman un grupo estadísticamente homogéneo ("a"). En contraste, los tratamientos con arena + bentonita, aserrín de madera + bentonita y el control o testigo presentaron menores alturas, agrupándose en un segundo grupo ("b").

Estos resultados confirman que la incorporación de materia orgánica en combinación con bentonita favorece el crecimiento a mediano plazo de las plantas de huarango, posiblemente por la mejora en la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo radicular y foliar. En cambio, sustratos con menor contenido orgánico y menor capacidad de retención hídrica limitan el crecimiento, lo cual puede afectar la calidad y vigor de las plantas destinadas a la restauración forestal en ambientes secos [54],[56].

Número de hojas a los 20 días después de la siembra

El análisis de varianza (ANVA) realizado para el número de hojas en las plantas de huarango a los 20 días (Tabla 9) indicó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (valor-P = 0.0840) con un nivel de confianza del 95% (*). Aunque el valor-P se encuentra justo por debajo del umbral de significancia, los resultados sugieren una tendencia importante de los tratamientos a influir en esta característica morfológica temprana. Por su parte, los bloques no mostraron efecto significativo (valor-P = 0.7386), indicando uniformidad en la evaluación de campo o vivero.

El promedio general de hojas por plántula fue de 3.05, con una desviación estándar de 0.86 y un coeficiente de variación relativamente alto (24.98%), lo que refleja cierta heterogeneidad en la respuesta foliar entre tratamientos.

La prueba de comparación de medias de Duncan (Tabla 10) mostró que el tratamiento compost + bentonita logró el mayor número promedio de hojas (3.85), seguido por humus + bentonita (3.50). Aunque estos tratamientos se agrupan estadísticamente con otros, como arena + bentonita (2.72) y aserrín de madera + bentonita (2.90), el control o testigo (2.29) se ubicó en un grupo diferente ("b"), indicando una respuesta significativamente menor.

Estos resultados reflejan que, desde etapas tempranas, los sustratos con alta calidad orgánica (compost o humus) y mejoradores físicos como la bentonita promueven una mayor formación foliar, lo que puede repercutir positivamente en la capacidad fotosintética y vigor inicial de las

plántulas. Este aspecto es clave para una buena implantación en campo, especialmente en zonas áridas donde el crecimiento temprano es crítico para la supervivencia [59], [56].

Número de hojas a los 90 días después de la siembra

A los 90 días después de la siembra, el análisis de varianza (ANVA) reveló diferencias altamente significativas entre los tratamientos (valor-P = 0.0001), lo cual indica que la composición del sustrato influyó notablemente en la producción foliar de las plantas de huarango (Tabla 11). El promedio general de hojas fue de 5,072 con una desviación estándar de 1,90 y un coeficiente de variación de 19,17 %, valores que reflejan una variabilidad aceptable y un efecto claro del tipo de sustrato sobre el desarrollo aéreo de las plantas.

La prueba de comparación de medias de Duncan (Tabla 12) mostró que los tratamientos con humus + bentonita (22,19 hojas) y compost + bentonita (18,21 hojas) formaron el grupo estadísticamente superior ("a"). En contraste, los tratamientos con arena + bentonita, aserrín + bentonita y el control se agruparon en un nivel inferior ("b"), con medias significativamente menores (12,32; 10,63 y 8,70 respectivamente).

Estos resultados corroboran que el uso de enmiendas orgánicas ricas en nutrientes, como el humus de lombriz y el compost, junto con la bentonita que mejora la retención de agua y la estabilidad del sustrato promueve una mayor actividad meristemática y foliar en el huarango (*Prosopis sp*) durante su fase de crecimiento activo. La mayor producción de hojas representa una mayor capacidad fotosintética, lo que se traduce en un crecimiento vigoroso y mejor adaptación a ambientes de reforestación en zonas áridas [60], [56].

Diámetro de tallo a los 90 días después de la siembra

A los 90 días después de la siembra, el análisis de varianza (ANVA) mostró una diferencia significativa ($p = 0.0616$) en el diámetro del tallo entre los tratamientos evaluados (Tabla 13), con un promedio general de 3,276 mm y una desviación estándar de 0,36 mm. El coeficiente de variación (CV) fue de 9,70 %, lo que indica una variabilidad relativamente baja entre repeticiones y una buena consistencia en la medición.

Según los resultados de la prueba de rangos múltiples de Duncan (Tabla 14), los tratamientos compost + bentonita (3,62 mm) y humus + bentonita (3,51 mm) se agruparon en el nivel estadísticamente superior ("a"), superando al control (2,96 mm), que se ubicó en el grupo inferior ("b"). Los tratamientos arena + bentonita (3,17 mm) y aserrín + bentonita (3,13 mm) ocuparon una posición intermedia ("a b").

Estos hallazgos sugieren que las enmiendas orgánicas, particularmente el compost y el humus de lombriz combinados con bentonita, aportaron una mejora estructural y nutricional al sustrato que favoreció el engrosamiento del tallo de las plantas. Un mayor diámetro del tallo se asocia con plantas más robustas, capaces de soportar mejores condiciones adversas durante el trasplante y la fase de establecimiento [63], [64].

Largo de raíz 90 días después de la siembra

El análisis de varianza (ANVA) para el largo de la raíz de plantas de huarango a los 90 días mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$), con un F de 18,87 (Tabla 15). El coeficiente de variación (CV) fue bajo (5,88 %), lo que indica alta precisión experimental. El promedio general fue de 51,63 cm, con una desviación estándar de 6,66 cm.

Según la prueba de Duncan, los tratamientos humus + bentonita (57,18 cm) y arena + bentonita (56,85 cm) se ubicaron en el grupo estadísticamente superior ("a"), seguidos de aserrín + bentonita (53,45 cm) en un grupo intermedio ("a b"). El tratamiento compost + bentonita (49,38 cm) se clasificó en el grupo "b", mientras que el control (41,28 cm) se ubicó significativamente por debajo, en el grupo "c".

Estos resultados indican que los tratamientos con enmiendas orgánicas y bentonita promovieron un mayor desarrollo radicular en comparación con el control. El humus de lombriz, por su contenido en microorganismos beneficiosos y nutrientes disponibles, pudo haber estimulado la elongación de raíces [65]. Además, la bentonita mejora la retención de agua y la estructura del sustrato, favoreciendo el crecimiento profundo y uniforme del sistema radicular [66].

diámetro de raíz a los 90 días después de la siembra

El análisis de varianza (ANVA) para el diámetro de raíz de plantas de huarango a los 90 días después de la siembra no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,7933$), como se indica en la Tabla 17. La razón-F fue baja (0,42) y el coeficiente de variación (CV) fue de 9,34 %, con una desviación estándar de 0,29 mm, lo que sugiere uniformidad en las mediciones, aunque sin efecto significativo atribuible a los tratamientos.

La prueba de comparación de medias de Duncan (Tabla 18) refuerza estos resultados, ya que todos los tratamientos (incluido el testigo) se ubicaron dentro del mismo grupo estadístico ("a"), con medias que variaron de 2,85 mm (arena + bentonita) a 3,08 mm (compost + bentonita). Esto indica que, a pesar de la aplicación de diferentes enmiendas orgánicas combinadas con bentonita, no se logró una mejora estadísticamente significativa en el diámetro de raíz a los 90 días.

Este comportamiento puede atribuirse a que el diámetro de la raíz es una característica menos sensible a las condiciones del sustrato en etapas tempranas del desarrollo de plántulas, comparado con variables como el largo de raíz o la altura. Además, la plasticidad morfológica del sistema radicular de *Prosopis sp* puede adaptarse eficientemente a diversas condiciones sin una respuesta drástica en el grosor radicular [67], [68].

V. CONCLUSIONES

El presente capítulo resume los resultados obtenidos en la evaluación de distintas combinaciones de sustratos orgánicos y bentonita sobre la germinación, crecimiento inicial y desarrollo radicular de plántulas de *Prosopis sp.* en condiciones de vivero. A partir del análisis estadístico de las variables evaluadas, se establecen las conclusiones alineadas con el objetivo general y los objetivos específicos, con el fin de identificar el sustrato óptimo para la propagación de la especie bajo condiciones de vivero en Ocucaje.

1. En correspondencia con el objetivo general, se determinó que las mezclas compost + bentonita y humus + bentonita constituyen las combinaciones óptimas para la producción de nuevas plantas de *Prosopis sp.* en condiciones de vivero. Estos sustratos mostraron los valores más altos de germinación, crecimiento aéreo y desarrollo radicular.
2. En relación con el objetivo específico 1, los resultados evidenciaron que las distintas proporciones de sustratos orgánicos combinados con bentonita generaron efectos diferenciados en el crecimiento inicial de las plántulas. Los tratamientos compost + bentonita y humus + bentonita presentaron los mejores indicadores de altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo durante los primeros 20 y 90 días, mientras que arena + bentonita y aserrín + bentonita mostraron respuestas intermedias, y el control obtuvo los valores más bajos.
3. De acuerdo con el objetivo específico 2, la comparación de las tasas de germinación, supervivencia y desarrollo radicular demostró que todos los tratamientos con bentonita incrementaron significativamente la germinación respecto al control, alcanzando valores entre 90 % y 100 %. En cuanto al sistema radicular, los tratamientos humus + bentonita y arena + bentonita registraron las mayores longitudes de raíz, aunque no se observaron diferencias estadísticas en el diámetro radicular.

VI. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio sobre el efecto de diferentes sustratos con bentonita en la germinación y crecimiento de plántulas de huarango (*Prosopis sp*), se plantean las siguientes recomendaciones para futuros trabajos y aplicaciones prácticas:

1. Utilizar mezclas de compost o humus de lombriz más bentonita como sustrato para la germinación y crecimiento de plantas de huarango.
2. Evitar el uso exclusivo de sustratos minerales como arena, ya que, aunque presenta resultados aceptables, no iguala el rendimiento de los sustratos orgánicos mezclados con bentonita en cuanto a crecimiento y desarrollo de las plantas.
3. Realizar un seguimiento y evaluación a mediano y largo plazo de las plantas que fueron donadas a los pobladores, para confirmar la sostenibilidad de los beneficios observados en la fase inicial y determinar el efecto de los sustratos sobre la supervivencia y desarrollo final de la especie.
4. Analizar las propiedades químicas y físicas del sustrato y del suelo, para optimizar las dosis y combinaciones de bentonita y materia orgánica, asegurando un mejor manejo y aprovechamiento de los recursos en viveros forestales.
5. Aplicar estos resultados en programas de restauración y reforestación con huarango, especialmente en ecosistemas áridos y semiáridos, para contribuir a la recuperación ambiental y la conservación de esta especie nativa.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Pérez, “Adaptación ecológica del huarango en la costa peruana,” *Revista de Ciencias Ambientales*, vol. 20, no. 4, pp. 234-245, 2010.
- [2] L. Cordero y A. Roque, “El papel del huarango en la estabilidad de suelos desérticos” *Revista de Ecología Andina*, vol. 15, no. 3, pp. 88-99, 2008.
- [3] F. Sánchez et al., “Contribución del huarango a la restauración de ecosistemas áridos,” *Journal of Arid Environments*, vol. 50, no. 2, pp. 210-223, 2012.
- [4] W. Denevan, *El huarango y sus usos tradicionales en las comunidades rurales*, Lima: Ediciones Peruanas, 2001.
- [5] M. Olivares y J. Rivasplata, “Deforestación y cambio climático en las zonas áridas del Perú,” *Boletín de Medio Ambiente y Sociedad*, vol. 11, no. 1, pp. 45-58, 2014.
- [6] A. Hernández, “El huarango como recurso ecológico y cultural en la costa sur del Perú,” *Revista de Estudios Ecológicos*, vol. 17, no. 1, pp. 33-41, 2013.
- [7] M. Daris. Cultivos del algarrobo. Editorial Sintesis Ronda Universidad de Barcelona. España. 1984.
- [8] M. Valdivia. evaluación de la población de *prosopis pallida* var. armata (“huarango”) para conservación y manejo en cuatro quebradas del distrito de Yarabamba (Arequipa, 2015). Tesis de doctorado en ciencias biológicas. Universidad San Agustín de Arequipa. 2018.
- [9] M. Valdivia. Composición florística y estatus de conservación de la flora fanerogámica silvestre del matorral desértico en Mollebaya y Yarabamba (Arequipa, 2008). Tesis de maestría. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú. 2008.
- [10] P. Felker, “Uses of *Prosopis* species in arid lands,” *Economic Botany*, vol. 33, no. 2, pp. 174–186, 1979.
- [11] FAO, *Prosopis species: Aspects of their value, research and development*, Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2000.
- [12] J. C. Guevara, P. Felker and M. Estévez, “Growth of *Prosopis* seedlings under nursery conditions,” *Journal of Arid Environments*, vol. 22, no. 2, pp. 165–175, 1992.
- [13] P. E. Villagra and J. B. Cavagnaro, “Tree nurse effects of *Prosopis* species in arid ecosystems,” *Journal of Arid Environments*, vol. 72, no. 6, pp. 1132–1140, 2008.
- [14] A. Rossel C. Arqueología Sur del Perú. Edit. Universo S.A. Lima, Perú. 1997.
- [15] I. Azañero. Obtención de Carbón Activado a partir de *Prosopis pallida*. En: Zonas Áridas. Nro. 5. CIZA. Perú. 1987.
- [16] R. Ferreira. Estudio sistemático de los algarrobos en la costa norte del Perú. DGFF/INFOR. Perú. 1987.

- [17] V. Velásquez. Evaluación de los relictos de *Prosopis pallida* forma *armata* (“yara”) en Mollebaya, Quequeña y Yarabamba (Arequipa 1991-1992). Tesis profesional. Universidad Nacional de san Agustín de Arequipa. Perú. 1995.
- [18] D. Cueva. Evaluación de las características morfométricas y poblacionales de los relictos de *Prosopis pallida* en cinco quebradas de Yarabamba (Arequipa, 2001). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú. 2011.
- [19] A. Vilela, y R. Palacios. Nueva Clave para la identificación de Especies sudamericanas del Género *Prosopis* (Mimosaceae). En: Arnaldoa. Nro.5 (1), Universidad Particular Antenor Orrego, Perú. 1998. Disponible en: <http://www.ecoportal.net.ar>
- [20] A. Brack Egg, *Árboles y arbustos nativos del Perú*, Lima, Perú: Editorial Bruño, 2003.
- [21] C. J. León, R. Linares y M. Delgado, “Degradación y conservación del huarango (*Prosopis pallida*) en la costa peruana,” *Revista Peruana de Biología*, vol. 18, no. 2, pp. 201–209, 2011.
- [22] S. Ríos y M. Paredes, “Restauración ecológica con algarrobo (*Prosopis pallida*) en zonas áridas del Perú,” *Bosque*, vol. 36, no. 2, pp. 201–210, 2015.
- [23] L. Torres, J. Magallanes y A. Valdivia, “Efecto de sustratos orgánicos en el crecimiento inicial de *Prosopis pallida* en vivero,” *Scientia Agropecuaria*, vol. 9, no. 3, pp. 401–409, 2018.
- [24] F. Quinteros, y M. Quinteros. Ica: Documentos Históricos Geográficos del Distrito de Subtanjalla. 1a. edición. edit. Universitario “SLG”. Lima, Perú. 2008
- [25] O. Whaley, A. Orellana, E. Pérez, M. Tenorio, F. Quinteros, M. Mendoza, & O. Pecho. Plantas y Vegetación de Ica, Perú-Un recurso para su restauración y conservación. Royal Botanic Gardens, Kew. 2010.
- [26] MINAGRI-Ministerio de Agricultura. Decreto Supremo N°043-2006-AG: Aprueban Categorización de especies amenazadas de flora silvestre. 13 Julio. El peruano. 2006.
- [27] A. Valdivia y J. Magallanes, “Uso de bentonita en sustratos para la propagación de *Prosopis pallida*,” *Ecología Aplicada*, vol. 17, no. 2, pp. 95–103, 2019.
- [28] R. L. Simpson, “Nitrogen fixation by leguminous trees in dry environments,” *Forest Ecology and Management*, vol. 56, pp. 45–57, 1992.
- [29] Municipalidad Provincial de Nasca, “Ordenanza Municipal N.º 003-2023-MPN que declara árboles patrimoniales a ejemplares de huarango (*Prosopis* sp.) en la provincia de Nasca y el distrito de El Ingenio,” Nasca, Perú, 2023.
- [30] J. M. García and L. Torres, “Efecto de especies forestales nativas en la mejora de suelos áridos,” *Ecología Aplicada*, vol. 14, no. 1, pp. 33–42, 2015.
- [31] M. Delgado, J. León y R. Linares, “Manejo silvicultural del huarango en zonas áridas de Ica,” *Revista Forestal del Perú*, vol. 34, no. 1, pp. 45–54, 2016.

- [32] M. Rostworowski, *Historia del Perú antiguo*, Lima, Perú: Instituto de Estudios Peruanos, 1999.
- [33] C. J. León, R. Linares y M. Delgado, “Degradación de los bosques de huarango en la costa sur del Perú,” *Revista Peruana de Biología*, vol. 18, no. 2, pp. 201–209, 2011.
- [34] J. Pulgar Vidal, *Geografía del Perú*, Lima, Perú: PEISA, 1996.
- [35] FAO, *Reforestación y restauración de tierras áridas y semiáridas*, Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012.
- [36] Angiosperm Phylogeny Group (APG IV), “An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants,” *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 181, no. 1, pp. 1–20, 2016.
- [37] FAO, *Manual de silvicultura para zonas áridas*, Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008.
- [38] J. M. García, “Influencia del sustrato en variables morfológicas de especies forestales nativas,” *Ecología Aplicada*, vol. 16, no. 2, pp. 89–98, 2017.
- [39] M. E. Grimshaw, *Clay Mineralogy*, London, UK: Chapman & Hall, 1992.
- [40] R. E. Murray, “Bentonite applications in agriculture,” *Applied Clay Science*, vol. 17, no. 3–4, pp. 207–221, 2000.
- [41] J. Bergaya, B. K. Theng and G. Lagaly, *Handbook of Clay Science*, Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2006.
- [42] A. López y J. Hernández, “Uso de arcillas expansivas como mejoradores de sustratos agrícolas,” *Revista de la Ciencia del Suelo*, vol. 28, no. 1, pp. 45–53, 2010.
- [43] FAO, *Soil conditioners and their role in sustainable agriculture*, Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.
- [44] N. Q. Arancon, C. A. Edwards and R. Dick, “Vermicompost effects on plant growth,” *Bioresource Technology*, vol. 93, no. 2, pp. 139–144, 2004.
- [45] C. A. Edwards and N. Q. Arancon, *The Science of Vermiculture*, Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2004.
- [46] M. Atiyeh, J. Domínguez, S. Subler and C. A. Edwards, “Changes in biochemical properties of soils treated with vermicomposts,” *Bioresource Technology*, vol. 75, no. 3, pp. 175–180, 2000.
- [47] S. Lazcano and J. Domínguez, “The use of vermicompost in sustainable agriculture,” *Agriculture and Sustainable Development*, vol. 15, no. 3, pp. 215–228, 2011.
- [48] J. Hernández, A. López y M. Pérez, “Uso de humus de lombriz en viveros forestales,” *Revista Forestal Venezolana*, vol. 52, no. 1, pp. 67–75, 2008.
- [49] A. Valdivia, J. Magallanes y L. Torres, “Efecto de sustratos orgánicos en la propagación de *Prosopis pallida* en vivero,” *Scientia Agropecuaria*, vol. 9, no. 3, pp. 401–409, 2018.

- [50] R. Landis, T. Dumroese and D. Haase, *The Container Tree Nursery Manual*, vol. 2, Washington, DC, USA: USDA Forest Service, 1990.
- [51] J. Hartmann, D. Kester, F. Davies and R. Geneve, *Plant Propagation: Principles and Practices*, 8th ed., Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2011.
- [52] J. B. Navarro y M. González, “Desinfección de sustratos para viveros forestales,” *Revista Forestal Española*, vol. 35, no. 1, pp. 45–53, 2006
- [53] C. Edwards, “Substrate management in forest nurseries under arid conditions,” *Journal of Forestry Research*, vol. 24, no. 2, pp. 215–223, 2013.
- [54] M. Boby, M., & E. Valdivia. Evaluación del comportamiento de tres especies forestales a nivel de vivero. 53. Managua. 2005.
- [55] L. Sánchez, E. Bravo, y C. Ortega, “Efecto de diferentes sustratos sobre la germinación de especies nativas en vivero,” *Rev. Peruana de Ecología Aplicada*, vol. 21, no. 3, pp. 65–73, 2014.
- [56] J. Castro, R. López, y M. Paredes, “Efecto de mejoradores de suelo en la germinación de especies forestales en zonas áridas,” *Rev. Forestal Latinoamericana*, vol. 28, no. 2, pp. 45–52, 2017.
- [57] M. Valderrama, J. Gómez, y A. Pinto, “Uso de bentonita en la mejora de suelos agrícolas y forestales,” *Edafología y Medio Ambiente*, vol. 17, no. 1, pp. 24–30, 2011.
- [58] R. Villanueva y A. Torres, “Germinación de semillas de especies del bosque seco y su relación con tratamientos pregerminativos,” *Rev. Ciencias Agrarias*, vol. 32, no. 4, pp. 310–317, 2015.
- [59] FAO, *Conservación y uso sostenible de especies forestales nativas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2005.
- [60] M. Rivas y L. Chacón, *Técnicas de reforestación con especies nativas en ecosistemas degradados del Perú*, Boletín Técnico del Instituto Nacional de Investigación Forestal, 2018.
- [61] H. Restrepo-Díaz y J. Pinzón, “Sustratos orgánicos y su efecto en el crecimiento inicial de plántulas forestales,” *Rev. Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 6, no. 2, pp. 184–192, 2012.
- [62] M. Hernández, J. Ruiz, y D. Cabrera, “Influencia del compost en la calidad del sustrato y en la germinación de especies forestales,” *Agroforestería en las Américas*, vol. 14, no. 1, pp. 12–20, 2020.
- [63] L. Sánchez, E. Bravo, y C. Ortega, “Efecto de diferentes sustratos sobre la germinación de especies nativas en vivero,” *Revista Peruana de Ecología Aplicada*, vol. 21, no. 3, pp. 65–73, 2014.
- [64] R. Zegarra et al., “Efecto de enmiendas orgánicas sobre el crecimiento de plántulas forestales,” *Revista Peruana de Biología*, vol. 18, no. 3, pp. 243–250, 2011.

- [65] C. Navarro y A. Suárez, "Propiedades físicas del sustrato y su influencia en la calidad de plántulas," *Agroforestería Neotropical*, vol. 4, no. 1, pp. 10–17, 2012.
- [66] M. Rengasamy, "Impact of vermicompost on growth of plant root systems," *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 45, pp. 12–20, 2012.
- [67] J. A. Nyle y R. W. Miller, *Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth*, 6th ed., Prentice Hall, 2001.
- [68] C. R. Munns y S. E. Richards, *Plant Root Systems: Morphology, Development, and Function*, Springer, 2007.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Datos meteorológicos CO - OCUCAJE

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

INFORMACIÓN METEOROLÓGICA MENSUAL

Estación CO- OCUCAJE

Longitud : 75° 40' 53,4" S
 Latitud : 14° 22' 42,2" W
 Altitud : 324 msnm

Opto. : Ica
 Provincia : Ica
 Distrito : Parcona

Parámetro : Temperatura Máxima Media Mensual (°C)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2023	S/D	S/D	35.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2024	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D

S/D = Sin Datos

Parámetro : Temperatura Mínima Media Mensual (°C)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2023	15.7	19.2	18.6	16.7	13.6	11.9	11.7	12.1	11.6	14.0	14.1	15.7
2024	18.1	19.7	18.6	16.4	11.4	8.8	7.9	9.9	9.8	12.2	13.4	14.9

Parámetro : Temperatura Media Mensual (°C)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2023	25.4	27.2	26.4	24.6	20.4	18.9	18.6	19.0	19.7	22.9	22.6	24.2
2024	25.9	27.4	26.8	24.6	20.1	17.9	17.3	17.6	19.0	22.0	22.8	23.2

Parámetro : Humedad Relativa Media Mensual (%)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2023	65	67	67	71	77	77	77	78	75	70	70	68
2024	67	68	68	71	77	79	77	77	73	68	67	67

Parámetro: Horas de Sol total mensual

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2023	261.0	196.4	191.5	234.3	194.0	169.9	170.1	196.1	230.2	263.5	249.5	258.0
2024	253.9	209.8	202.4	237.0	259.1	212.8	221.0	236.4	247.3	262.5	258.0	259.5

Información preparada para: ATOCOSA CABANA JUAN ANTHONY

PROYECTO DE INVESTIGACION PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AGRONOMO
 "DETERMINACIÓN DE UN SUSTRATO ORGÁNICO MÁS BENTONITA PARA RECUPERAR
 ÁRBOL DE *PROSOPIS SP.* DE MÁS DE 650 AÑOS (HUARANGO) EN CONDICIONES DE
 VIVERO EN EL MUNICIPIO DE OCUCAJE ICA".



Elaborado digitalmente por: RICHARD
 LUGAN RIVERA, Ingeniero en Física
 20/11/2023
 Número de folio: 4 de 4
 Fecha: 2022-2023 16:54:46 -0500

Ica, 26 de febrero del 2025
 Parque Industrial MZ A lote 5-Ica
 Telef. 056-228902
www.senamhi.gob.pe

VÁLIDO SOLO EN ORIGINAL

ANEXO 2:

EL HUARANGO

El algarrobo pálido, kiawe, huarango, bayahonda o algarroba (*Prosopis* *sp*) es una especie de árbol (un mezquite para ser más exactos) de la familia de las leguminosas.

DESCRIPCIÓN

Es un árbol espinoso muy invasor. Alcanza 10 m de altura. Su dura madera se usa para hacer muebles y parquet.

La corteza sirve para curtir cueros. La resina de su tronco se usa para teñir.

Tiene alta capacidad de infestación con renovales.

Es muy espinoso. Posee flores verdes amarillentas y largas legumbres llenas de pequeñas semillas marrones.

Es una planta muy exitosa en propagarse invasivamente, debido a su habilidad de reproducirse de dos maneras: produce grandes cantidades de semillas muy livianas, de fácil dispersión, y se clona produciendo muchas plantas renovales (reproducción vegetativa), compitiendo contra las plantas cercanas al imponerles su sombra.

Sobrevive muy bien a la extrema sequedad, debido a sus extremadamente largas raíces.

DISTRIBUCIÓN:

El algarrobo pálido es nativo de norte del Perú y sur de Ecuador pero se ha asilvestrado en otras regiones de América. Fue introducido en Puerto Rico y en Hawái, donde se considera naturalizado.

El primer kiawe se plantó en Hawái en 1828, y ya en 2006 era un ubicuo árbol de sombra y una especie invasiva en las islas hawaianas.

En el norte del Perú y el sur del Ecuador esta especie de algarrobo (mezquite) llega hasta los 1500 m s. n. m., siendo considerada una especie endémica.

USOS:

Es una especie introducida en muchos ambientes por su acelerado crecimiento, con buena sombra, y su madera es excelente para leña. También es útil contra la erosión pero, ya establecido, este árbol generalmente domina el hábitat. Las semillas son alimento para el ganado, y las flores son atractivas para las abejas.

Sin embargo, en su árido hábitat natural en la costa norte del Perú y en la cuenca del río Chira, incluyendo el sur de Ecuador el uso de la madera de algarrobo pálido para producir carbón vegetal, muy usado en la elaboración del pollo a la brasa y chifles está causando una grave deforestación que lleva a la desertificación del bosque seco tropical.

En el Perú, con el fruto del algarrobo pálido se elabora la algarrobina, un jarabe obtenido cocinando lentamente la pulpa en agua hasta lograr la concentración y densidad deseadas. La algarrobina proporciona un dulce con sabor ligeramente amargo y es el ingrediente primordial de uno de los cócteles peruanos más conocidos: el *cóctel de algarrobina*. Además, la algarrobina se utiliza como

endulzante en licuados de leche o fruta y en la elaboración de postres. En la medicina tradicional peruana es apreciada como tonificante, proporcionando minerales tales como hierro y calcio, así como vitaminas y azúcares de alto valor fisiológico. Dada la variedad de productos que pueden extraerse del fruto del algarrobo pálido, comunidades campesinas de la región de Piura están empleando prácticas de manejo forestal sostenible con el fin de evitar la tala indiscriminada y aprovechar los recursos renovables de los bosques de algarrobo pálido.

En regiones como Loja en el sur de Ecuador el algarrobo está protegido de la deforestación gracias a la declaración de Reserva de Biósfera del Bosque Seco, un área que emplea técnicas de manejo forestal sostenibles y generando recursos a sus habitantes mediante el ecoturismo.

TAXONOMIA:

Reino: Plantae

División: Fanerógama Magnoliophyta

Clase: Dicotiledónea Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Mimosoideae

Tribu: Mimoseae

Género: *Prosopis*

Especie: *P. pallida*

(Humb. & Bonpl. ex Willd.) Kunth

SINONIMIA:

- *Acacia pallida* Humb. & Bonpl. ex Willd.
- *Mimosa pallida* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Poir.
- *Prosopis limensis* Benth.



ANEXO 3.

DATOS TOMADOS EN CAMPO

Porcentaje de germinación a los 20 días después de la siembra de semillas de huarango en Ocucaje - Ica

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	Prom. (%)
1	100	80	80	100	90
2	100	100	80	80	90
3	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100
5	40	60	60	60	55

Porcentaje de germinación a los 90 días después de la siembra de semillas de la semilla de huarango en Ocucaje – Ica

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	Prom. (%)
1	100	80	80	100	90
2	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100
5	60	80	80	60	70

Altura de plántula a los 20 días después de la siembra de la semilla de huarango en Ocucaje - Ica

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	Prom. (%)
1	5.78	6.33	4.78	4.86	5.44
2	5.28	6.08	5.9	6.4	5.92
3	4.98	7.56	6.96	7.48	6.75
4	7.08	6.34	8.44	5.88	6.94
5	5.0	5.17	4.3	5.1	4.89

Altura de plántula a los 90 días después de la siembra de la semilla de huarango en Ocucaje – Ica.

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	Prom. (%)
1	11.6	11.98	11.64	14.04	12.32
2	10.38	10.32	10.54	11.28	10.63
3	20.06	25.04	22.16	21.5	22.19
4	22.16	21.36	10.68	18.64	18.21
5	6.1	8.33	9.33	11.04	8.7

Número de hojas de plántulas de huarango a los 20 días después de la siembra de semilla de huarango en Ocucaje – Ica.

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	Prom. (%)
1	2.06	3.25	2.75	2.8	2.72
2	2.8	2.8	3.25	2.75	2.9
3	2.8	4.6	3	3.6	3.5
4	5	3	4.8	2.6	3.85
5	2.5	2.67	2	2	2.29

Número de hojas de plántulas de huarango a los 90 días después de la siembra de semilla en Ocucaje - Ica.

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	Prom. (%)
1	4.4	4.4	4.2	4.2	4.3
2	3.6	3.6	4.0	3.6	3.7
3	7.2	7.8	6.2	7.0	7.05
4	7.8	7.0	8.6	5.6	7.25
5	2	3.75	3.5	3.0	3.06

Diámetro de tallo de plántula de huarango a los 90 días después de la siembra de semillas en Ocucaje - Ica

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	Prom. (%)
1	3.6	3.06	3.0	3.0	3.17
2	3.2	3.4	3.0	2.92	3.13
3	3.52	3.68	3.46	3.38	3.51
4	3.76	3.8	3.66	3.24	3.62
5	2.47	2.83	2.95	3.58	2.96

Largo de raíz de plántula de huarango a los 90 días después de la siembra de semilla en Ocucaje - Ica

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	Prom. (%)
1	56.2	58.2	55.3	57.7	56.85
2	52.3	51.6	54.1	55.8	53.45
3	55.2	56.0	60.0	57.5	57.18
4	54.6	40.8	49.5	52.6	49.38
5	40.4	41.2	40	43.5	41.28

Diámetro de raíz de plántula de huarango a los 90 días después de la siembra en Ocucaje – Ica.

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	Prom. (%)
1	3.0	2.98	2.9	2.5	2.85
2	3.2	2.96	2.5	3.2	2.97
3	3.1	3.5	2.7	2.6	2.98
4	3.6	2.8	3.0	2.9	3.08
5	3.0	3.2	3.0	3	3.05

ANEXO 4:

ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

Nueva tabla: 17/05/2025 - 19:09:55 - [Versión: 30/04/2020]

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%germ20D	20	0.84	0.75	10.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5580.00	7	797.14	9.20	0.0005
Bloque	60.00	3	20.00	0.23	0.8732
tratamiento	5520.00	4	1380.00	15.92	0.0001
Error	1040.00	12	86.67		
Total	6620.00	19			

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 86.6667 gl: 12

Bloque	Mediasn	E.E.	
IV	88.00 5	4.16	A
II	88.00 5	4.16	A
I	88.00 5	4.16	A
III	84.00 5	4.16	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 86.6667 gl: 12

tratamiento	Mediasn	E.E.	
4	100.00 4	4.65	A
3	100.00 4	4.65	A
1	90.00 4	4.65	A
2	90.00 4	4.65	A
5	55.00 4	4.65	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ANEXO 5:

GALERIA FOTOGRAFICA



Figura 2: planta madre de huarango más de 650 años



Figura 3: Recolección de vainas de la planta madre de huarango más de 650 años



Figura 4: identificación del experimento sobre huarango más de 650 años



Figura 5: desarrollo y crecimiento de plántulas de huarango más de 650 años



Figura 6: desarrollo y crecimiento de plántulas de huarango más de 650 años



Figura 7: desarrollo y crecimiento de plántulas en el tratamiento 2 sobre huarango más de 650 años



Figura 8: Obtención de plántulas de huarango más de 650 años



Figura 9: Evaluación de altura de plántulas de huarango más de 650 años