

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Crecimiento en Invernadero de *Yucca endlichiana* Trel. de Tres Procedencias de Coahuila, en Dos Tipos de Sustratos

Por:

DILAN NIEVES JUÁREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento en Invernadero de *Yucca endlichiana* Trel. de Tres Procedencias de Coahuila, en Dos Tipos de Sustratos

Por:

DILAN NIEVES JUAREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría

Dr. Celestino Flores López

Asesor Principal

M.C. Antonio Cano Pineda

Asesor Principal Externo

Dr. Rufino Sandoval García

Coasesor

Ing. Sergio Braham Sabag

Coasesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2024

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor, quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto-plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes. Por lo anterior, me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Dilan Nieves Juárez
Matricula: 411983751
Carrera: Ingeniero Forestal

En el presente estudio de tesis fue financiado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 38-111-425103001-2173: Producción de semilla e indicadores reproductivos de Pináceas y Agaváceas del Norte de México. Proyecto a cargo del profesor investigador Dr. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A Dios, por su constante presencia y amor incondicional, mi más profundo agradecimiento.

A mis padres, Jorge Luis Nieves Frausto y Ma. Teresa Juárez Terrazas por cada sacrificio que han hecho por mí, cada palabra de ánimo que me han brindado, ha sido un faro de luz en los momentos más oscuros y un impulso de motivación que me ha llevado a superar los desafíos y alcanzar mis metas.

Para mis abuelos José Juárez Santillán † y Ma. Luisa Terrazas Sánchez †, Dagoberto Nieves Dávila † y Alejandrina Frausto Reyna cuyo amor y sacrificio han sido la base sobre la cual he construido mi educación y mi futuro. Gracias por ser mi inspiración y mi guía a lo largo de mi vida.

Para mi hermano Jorge Luis Nieves Juárez, para mis hermanas Anabel Sánchez Juárez, Estefanny Nallely Nieves Juárez, Alitzel Alejandra Nieves Miranda y María Fernanda Nieves Lira por su cariño, apoyo y comprensión, por las lecciones que me han enseñado y por el impacto positivo que han tenido en mi vida.

Para todos mis queridos familiares, tíos, primos y sobrinos, quienes han estado a mi lado en cada paso del camino, celebrando mis triunfos apoyándome en los desafíos, brindándome su apoyo incondicional y su sabiduría.

AGRADECIMIENTOS

Estoy enormemente feliz y agradecido por la riqueza de conocimiento y experiencias que he adquirido en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro las cuales han sido fundamentales para mi desarrollo personal y profesional. Espero llevar con orgullo el nombre de esta institución a donde quiera que vaya en el futuro. ¡Gracias por todo!

Agradezco especialmente a Dr. Celestino Flores López por su colaboración como asesor principal en la realización de mi tesis, pero sobre todo su invaluable orientación, enseñanzas y apoyo durante mi trayectoria universitaria.

Al M.C. Antonio Cano Pineda por su colaboración como asesor principal externo y por tomarse el tiempo para complementar el trabajo de tesis.

Al Ing. Sergio Braham Sabag, por su colaboración como coasesor para el desarrollo de esta tesis. Además de su paciencia, claridad y disposición para responder a mis preguntas sobre temas de vivero y brindarme sus atenciones.

Al Dr. Rufino Sandoval García por su colaboración como coasesor para el desarrollo de esta tesis. Además de su paciencia, claridad y disposición para responder a mis preguntas sobre temas de SIG y brindarme retroalimentación.

También agradezco a todos mis amigos y compañeros quienes han sido mi segunda familia Alondra Lizbeth Palacios Carrillo, Alan Alejandro Loyola rincón, Johan Rafael Cruz, Luz, Elena Soto Vargas, Natividad Carrizosa Velasco, Karen Vázquez Santiago y Sergio Armando Bonilla Jiménez † por cada conversación, cada gesto de apoyo, ha sido un recordatorio de la importancia de la amistad en el logro de nuestros objetivos, agradezco profundamente la compañía y espero que sigamos compartiendo muchos más logros y alegrías juntos.

También agradezco al entrenador de futbol rápido Emmanuel Palacio Urrutia y a mis compañeros de equipo, quienes han influido en tener compromiso y pasión por el fútbol, además de siempre tener presente los valores de trabajo en equipo, disciplina y perseverancia.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo e hipótesis.....	3
1.1.1 Objetivo general.....	3
1.1.2 Objetivos específicos	4
1.1.3 Hipótesis	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Descripción taxonomía y estatus de riesgo de <i>Yucca endlichiana</i> Trel.....	5
2.2 Propagación del género <i>Yucca</i>	6
2.3 Tipos de sustratos	7
2.5 Manejo de planta en vivero e invernadero.....	11
2.6 Estudios relacionados con efecto de sustratos en plantas	11
3 MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Colecta de cápsulas y beneficio de semillas de las localidades	13
3.2 Tratamiento de germinación.....	14
3.3 Condición del experimento en el invernadero.....	15
3.4 Tipos de sustratos	15
3.5 Variables de evaluación.....	16
3.6 Diseño experimental y análisis estadístico	17
3.6.1 Variables de crecimiento.....	17
3.6.2 Calidad de planta	19
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1 Efecto de suelos en el crecimiento de plántulas de tres procedencias.....	20
4.1.1 Procedencias de <i>Yucca endlichiana</i>	21

4.1.2 Tipo de sustrato	21
4.1.3 Tratamientos procedencia con tipo de suelo.....	23
4.2 Comparación de calidad de planta entre dos sustratos	24
4.2.1 Las diferencias entre los pesos verdes	25
4.2.2 Las diferencias entre los pesos secos	25
4.2.3 El contenido orgánico del sustrato	26
4.2.4 El contenido de humedad	27
4.2.5 La interacción genética de las procedencias	28
4.2.6 Índice de Esbeltez.....	28
4.2.7 Relación parte aérea y parte raíz (PA/PR).....	29
4.2.8 Índice de calidad de Dickson	30
4.2.9 Número de bulbos de la raíz en <i>Yucca endlichiana</i>	31
5 CONCLUSIONES	33
6 RECOMENDACIONES	34
7 LITERATURA CITADA.....	35
8 ANEXOS	46

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Variables morfológicas promedio de plántulas de <i>Yucca endlichiana</i> a 51 meses de establecida en invernadero.....	20
Cuadro 2. Comparación de medias (\pm error estándar de la media) entre suelo de origen y suelo forestal Variables e índices morfométricos de calidad de planta en <i>Yucca endlichiana</i> de tres procedencias.	24

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación de las tres localidades donde se encontró <i>Yucca endlichiana</i> Trel., en el estado de Coahuila.	13
Figura 2. Representación del experimento factorial 3 x 2 para el crecimiento de <i>Yucca endlichiana</i> en vivero.....	18

RESUMEN

El género *Yucca* spp., en México, se distribuye en el matorral desértico rosetófilo; es destacado por la importancia que tiene para la población local en la elaboración de productos que sustentan su economía, considerándose a *Yucca endlichiana* como especie endémica y de importancia ecológica. Debido al limitado conocimiento de la especie, es necesario implementar estudios para generar información necesaria para aplicar programas de propagación en vivero.

Para conocer el crecimiento en vivero de *Yucca endlichiana* se estableció un experimento con diseño factorial 3 x 2 de 144 plantas, donde se compararon tres procedencias Las Coloradas (P1), El Dorado (P2) y San Antonio El Jaral (P3), y dos sustratos, suelo de origen (S1) y suelo forestal (S2), enfatizando en variables de crecimiento como la altura de la planta, diámetro de la base del tallo, número de hojas, longitud de la hoja más larga y volumen aparente. Además de la evaluación de índices morfométricos como índice de esbeltez, índice de Dickson y relación de la parte aérea y parte radicular.

Los resultados se procesaron mediante métodos de comparaciones de medias para identificar patrones claros en el desarrollo de las plantas, los cuales revelaron diferencias significativas en el crecimiento entre las procedencias, destacando la influencia del suelo en el desarrollo de las plantas, debido al mayor contenido de nutrientes, materia orgánica y humedad. En que respecta a los índices morfométricos el suelo forestal fue el más representativo debido a la obtención de los mejores valores. Los mejores tratamientos fueron la procedencia 1 (P1) con el sustrato 2 (S2) y la procedencia 3 (P3) con el sustrato 2 (S2) debido a que mostraron el mejor crecimiento y desarrollo de las plantas corresponde al suelo forestal los mejores valores en variables de crecimiento promedio en el caso de diámetro 2.9374, en altura 30.3000, hoja más larga 34.2250, volumen aparente 211.3403, para la P3 el diámetro 2.9911, en altura 28.7719, hoja más larga 30.5487, volumen aparente 214.3117.

Palabras clave: adaptabilidad, propagación, diversidad genética, endemismo.

ABSTRACT

The genus *Yucca spp.*, in Mexico, is distributed in the rosette desert scrub; it is notable for its importance to the local population in the production of goods that support their economy, with *Yucca endlichiana* being considered an endemic species of ecological importance. Due to the limited knowledge of the species, it is necessary to implement studies to generate the necessary information for the application of nursery propagation programs.

To understand the nursery growth of *Yucca endlichiana*, an experiment with a 3 x 2 factorial design was established involving 144 plants, where three provenances (Las Coloradas (P1), El Dorado (P2), and San Antonio El Jaral (P3)) and two substrates (native soil (S1) and forest soil (S2)) were compared, emphasizing growth variables such as plant height, stem base diameter, number of leaves, length of the longest leaf, and apparent volume. Additionally, morphometric indices such as slenderness index, Dickson index, and shoot-to-root ratio were evaluated.

The results were processed using mean comparison methods to identify clear patterns in plant development, revealing significant growth differences between provenances and highlighting the influence of soil on plant development due to higher nutrient content, organic matter, and moisture. Regarding morphometric indices, forest soil was the most representative due to obtaining the best values. The best treatments were provenance 1 (P1) with substrate 2 (S2) and provenance 3 (P3) with substrate 2 (S2), as they showed the best growth and development. Forest soil provided the best average growth values for diameter (2.9374), height (30.3000), longest leaf (34.2250), and apparent volume (211.3403). For P3, the values were diameter (2.9911), height (28.7719), longest leaf (30.5487), and apparent volume (214.3117).

Keywords: adaptability, propagation, genetic diversity, endemism

1 INTRODUCCIÓN

El género *Yucca* spp., comúnmente se distribuye en el matorral desértico rosetófilo en México, sin embargo, también es común en estos otros tipos de matorrales, Matorral desértico micrófilo, matorral crasicaule, matorral submontano, encinar arbustivo (Rzedowski, 2006).

Las zonas áridas y semiáridas en México, que abarcan más del 50% del territorio, se encuentran principalmente en las regiones norte y centro. Estas áreas albergan una variada vegetación, destacando plantas leñosas de bajo porte, suculentas y gramíneas que forman matorrales xerófilos y pastizales. La adaptación de estas especies a condiciones áridas define ecosistemas únicos y resistentes, esenciales para la biodiversidad y la sostenibilidad en estas regiones desafiantes (Rzedowski, 2006).

Las zonas áridas en Coahuila ocupan el primer lugar en cuanto a extensión, poseen 8, 510,798.4 ha, lo que equivale a 56.5 % de la superficie estatal. De los cuatro tipos de vegetación presentes, el matorral desértico micrófilo es el más extenso, ocupa poco más de la mitad del área total de la formación (51.6 %), le sigue en extensión el matorral desértico rosetófilo, con 47 %, en menor presencia se encuentra la vegetación de desierto arenoso, que posee únicamente 1 % y con mínima extensión el matorral crasicaule, 0.05 %., esta formación tiene presencia en todos los municipios de la entidad (SEMARNAT-CONAFOR, 2013).

Las yucas o izotes son indispensables para las comunidades rurales, generando ingresos a través de su fibra (ixtle de palma) para cuerdas y jarciería, enriqueciendo la dieta local y poseyendo propiedades medicinales. Sus raíces, ricas en saponinas, se emplean para hacer jabones, contribuyendo a la conservación del suelo.

Durante la sequía, el ganado prefiere sus hojas tiernas, destacando su resistencia y papel clave en la resiliencia del ecosistema. Además, como setos vivos, ofrecen refugio a la fauna local, promoviendo la biodiversidad y embelleciendo el paisaje, desempeñando roles económicos, ecológicos y sociales. En otros países,

se utilizan diversas especies de *Yucca* para fabricar paneles ornamentales aislantes con propiedades térmicas y acústicas, brindando soluciones estéticas y funcionales. Paralelamente, las yucas desempeñan un papel crucial al proporcionar beneficios a la biota circundante, ofreciendo alimento, sombra y refugio contra elementos meteorológicos adversos, evidenciando su multifuncionalidad en la creación de condiciones ecológicas propicias para la vida (Barriada-Bernal *et al.*, 2018).

La distribución del género *Yucca* se extiende desde los límites entre Canadá y Estados Unidos hasta Centroamérica, este género está conformado por 49 especies, de las cuales 29 se encuentran en México, esto significa que en el territorio mexicano se encuentra más del 60% de las especies, y el 50% de ellas son endémicas (García-Mendoza, 2011).

En la actualidad hay cuatro especies de *Yucca* incluidas en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010, tres de ellas están bajo la categoría de Protección Especial (Pr), estas son *Yucca endlichiana* Trel., *Yucca grandiflora* H. S. Gentry, *Yucca queretaroensis* Piña Luján y *Yucca lacandonica* Gómez Pompa y J. Valdés es catalogada como amenazada (A). A pesar de la importancia del género *Yucca* en los ecosistemas áridos debido a su amplia distribución y asociaciones vegetales, es crucial señalar que estas cuatro especies están en riesgo resaltando la necesidad urgente de medidas de conservación para preservar su biodiversidad y la funcionalidad de los ecosistemas donde se desarrollan (SEMARNAT, 2010).

De las cuatro especies en estatus de riesgo *Yucca endlichiana* (llamada comúnmente pitilla), es parte del objetivo de estudio y es una planta que solo se encuentra distribuida en ciertas áreas, actualmente en localidades como Marte (municipio de Gral. Cepeda, Coahuila), pero además su área de distribución está dentro de la Sierra de Parras, Sierra del Rosario y Sierra de la Paila, Coahuila (Matuda y Piña, 1980). Sin embargo, se encuentra en riesgo debido a la destrucción de su hábitat, el desmonte, los incendios y el cambio en el uso del suelo que amenazan su supervivencia al afectar negativamente su entorno natural y limitar su capacidad para reproducirse (Meza-Cota *et al.*, 2022).

El entendimiento de la propagación de especies en peligro de extinción representa una opción para conservar características fenotípicas deseadas, propagarla y lograr su recuperación, este enfoque es particularmente relevante en países como México, donde la biodiversidad es excepcionalmente rica, pero también enfrenta desafíos significativos para su preservación (Chura-Llanos *et al.*, 2023).

También ayuda a desarrollar estrategias para controlar la expansión de especies invasoras, minimizando su impacto en la biodiversidad nativa. El monitoreo continuo de la propagación de estas especies proporciona información valiosa sobre el estado de las poblaciones y permite evaluar la efectividad de las medidas de conservación implementadas, facilitando ajustes según sea necesario para garantizar su supervivencia a largo plazo (González-Pulido *et al.*, 2019).

Presiones externas, como la sobreexplotación de la candelilla en los alrededores de la Sierra de La Paila, han tenido un impacto directo en la disminución de su hábitat (Hernández-Ramos *et al.*, 2019). La intención de este estudio es conocer el proceso de propagación de tres procedencias de *Yucca* en invernadero, a partir del efecto de diferentes sustratos en el desarrollo de sus características morfométricas.

Este trabajo resulta crucial para proyectos y estrategias de conservación, proporcionando datos fundamentales sobre la adaptabilidad y el crecimiento óptimo de estas plantas en condiciones controladas, para mejorar las prácticas de cultivo, promoviendo así la conservación y el uso sostenible de la *Yucca*, una planta de gran importancia tanto económica como ecológica en diversas regiones de México.

1.1 Objetivo e hipótesis

1.1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de dos sustratos en tres procedencias de *Yucca endlichiana* Trel. de Coahuila.

1.1.2 Objetivos específicos

Determinar que procedencia tiene mejor crecimiento por tipo de suelo.

Evaluar el efecto de un suelo del lugar de origen de la planta de *Y. endlichiana* con respecto a un suelo de uso común en el vivero de la UAAAN.

Evaluar la calidad de planta entre dos sustratos considerando el peso seco aéreo y radicular, peso seco total aéreo y radicular, en conjunto con las variables de altura y diámetro e índices morfométricos.

1.1.3 Hipótesis

Ho1: No hay diferencias al comparar los sustratos para las variables morfológicas promedio diámetro, altura, hoja más larga y volumen aparente.

Ha1: Existen diferencias significativas al comparar los sustratos para las variables morfológicas diámetro, altura, hoja más larga y volumen aparente.

Ho2: No hay diferencias en las variables e índices morfométricos (peso verde y seco en parte aérea, peso verde y seco en parte radical, peso total en verde y seco, índice de esbeltez, relación parte aérea, parte radical, índice de Dickson, número de bulbos de la raíz), entre los dos sustratos utilizados en el desarrollo de plántulas de *Yucca endlichiana*.

Ha2: Existen diferencias en las variables e índices morfométricos de *Yucca endlichiana* en los dos sustratos utilizados para el desarrollo.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción taxonomía y estatus de riesgo de *Yucca endlichiana* Trel.

Se caracteriza por ser una planta acaulescente, rizomatosa y surculada. Hojas escasas, erguidas, gruesas, rígidas; hemisféricas en la base y conduplicadas a todo lo largo; de 50 cm de largo por 1.5 de ancho; glabras, azul verdosas y pardo rojizas en la base; margen castaño, finamente fibroso. Espina terminal corta y cónica. Panícula más corta que las hojas, abundantemente ramificada, ramillas con unas 6 flores. Flores con pedicelos filiformes de 2.5 cm de largo, cremosas o café rojizas: segmentos del perianto ovales, agudos, de 1.8 cm de largo por 0.5 cm de ancho; filamentos cortos, finamente papiláceos; ovario oblongo. Fruto pendiente, subgloboso o anchamente elipsoidal, de 3 cm de largo por 2-2.5 de diámetro. Semillas de 5-6 x 6-7 mm, delgadas, albumen ruminado (Matuda y Piña, 1980).

Yucca endlichiana se desarrolla sobre vegetación de matorral en asociación con otras especies como el hojaseén (*Flourensia cernua* D. C.), la gobernadora (*Larrea tridentata* Coville) y un amplio número de cactáceas. Este tipo de asociación es denominado como matorral desértico micrófilo, y se caracteriza por la presencia dominante de especies arbustivas de hojas pequeñas, a veces espinosas, y por plantas crasas, efímeras y cactáceas que se desarrollan a lo largo de abanicos aluviales, planicies, valles, bajadas y lomeríos suaves, en suelos de textura fina y que presentan una capa de rocas (Rzedowski, 2006).

El género *Yucca* se divide en cuatro secciones y nueve series. El tipo de fruto es el principal carácter para la separación de las secciones: Clistocarpa de frutos esponjosos, indehiscentes; Sarcocarpa frutos carnosos, indehiscentes; Chaenocarpa frutos secos 2 dehiscentes septicidas y en Hesperoyucca frutos secos, dehiscentes, loculicidas (Matuda y Piña, 1980; Pellmyr *et al.*, 2007). En especial, la sección Sarcocarpa comprende las series Baccatae, Faxonianae y Treculeanae con base en el tamaño del gineceo y forma de vida de las especies; en la serie de Baccatae, junto con *Y. baccata* Torr., *Y. grandiflora* H., así como *Y. arizonica* se encuentra clasificada *Yucca endlichiana* (Pellmyr *et al.*, 2007).

De entre las 11 especies de *Yucca* presentes en el estado de Coahuila, *Yucca endlichiana* destaca como la única endémica en el estado que a su vez se limita a ciertos municipios (Villaseñor, 2016).

La clasificación taxonómica proporciona un marco ordenado y sistemático para entender la diversidad de la vida, mostrando cómo *Yucca endlichiana* se relaciona con otras plantas en términos evolutivos y morfológicos siendo íntegra de Familia – *Agavaceae*, Género – *Yucca*, Especie – *Yucca endlichiana*., la denominación *endlichiana* se le otorgó haciendo honor al botánico alemán Rudolf Endlich. (Villarreal-Quintanilla *et al.*, 2017).

Es crucial destacar que la especie en cuestión ha sido reconocida en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), donde se encuentra catalogada como Sujeta a Protección Especial (Pr), como en la lista roja de la IUCN (1997), donde figura bajo la categoría de Especie Rara (R). Estas designaciones enfatizan la necesidad apremiante de implementar medidas específicas para su conservación y resaltan su estatus vulnerable tanto a nivel nacional como internacional.

La importancia de *Yucca endlichiana* radica en su endemismo, y en el papel que juega dentro del ecosistema al estar asociada a diversas especies de cactáceas, fungiendo como planta nodriza; debido a su crecimiento en densos manchones circulares ayuda a prevenir la pérdida de suelo por erosión eólica, así como a la retención de agua y aumentando el contenido orgánico del suelo; además de proveer alimento y refugio a la fauna silvestre, y ser una planta con fibras resistentes para el uso en cordelería (Matuda y Piña, 1980).

2.2 Propagación del género *Yucca*

La reproducción de las yucas es tanto sexual (por semilla) como vegetativa (brotes o retoños). De manera aparente, la floración de las yucas arborescentes (muy ramificadas) no es uniforme en la misma planta (*Y. filifera* Chabaud., *Y. decipiens* Trel.) debido a la floración escalonada, es decir, en tanto unas están en completa floración (antesis) otras la iniciarán y otras ya fructifican, por ello la floración y fructificación de cada especie (en una misma localidad) puede durar más de un mes.

En el caso de la propagación sexual o por semilla para *Yucca endlichiana*, su propagación no tiene problemas de dormancia que requiera un pretratamiento específico (Meza-Cota *et al.* (2022).

La reproducción asexual se origina al producir brotes en raíces; con frecuencia los retoños provienen de plantas jóvenes y crecen como la planta madre, pudiendo parecer que nacieron al mismo tiempo; en ocasiones los brotes se desarrollan en el tronco principal, al romperse las ramas y producir raíces al caer y tener contacto con el suelo (Piña, 1984).

2.3 Tipos de sustratos

El medio de crecimiento desempeña un papel fundamental en el vivero, ya que proporciona a las plantas los elementos necesarios para su desarrollo, como agua, aire y nutrientes minerales, además de servir como soporte físico. Asimismo, otra función crucial del medio de crecimiento es asegurar que la planta permanezca anclada en el contenedor y mantenga su posición erguida. Esta función está determinada por factores como la densidad, el grado de compactación y la distribución del volumen en relación con el tamaño de la planta en el perfil del sustrato, por lo cual el medio de crecimiento en el vivero cumple un doble propósito (Soto-Bravo *et al.*, 2019).

Los medios de crecimiento deben cumplir con diferentes atributos de manejo que permitan producir plantas que logren el mejor comportamiento posible en las plantaciones. Entre ellos se destacan un pH (es una medida que indica la acidez o alcalinidad de una solución) levemente ácido, alta capacidad de intercambio catiónico, baja fertilidad natural y estar libre de plagas y enfermedades (Duryea y Landis, 1994).

Los sustratos que son los medios de crecimiento orgánicos se pueden fabricar a partir de una gran diversidad de materias primas y mezclas entre ellas, por el otro lado, con materiales inorgánicos, por ejemplo, aserrín y geles superabsorbentes, corteza de pino, entre otros. El mejor sustrato será siempre aquel material que se encuentre disponible en la mayor cantidad, lo más cercano posible del vivero y al menor costo.

En México, en los viveros forestales se emplean una variedad de sustratos adaptados a las necesidades de las especies forestales y a las condiciones locales (Rueda-Sánchez *et al.*, 2012) entre los materiales comúnmente utilizados se encuentran la tierra de monte, la turba (*peat moss*), productos derivados de la madera como la corteza, el aserrín y las virutas, compost de materia orgánica o desechos de jardinería, polvo de coco, lodos de depuradora, fango, estiércol, paja, cascarilla de arroz y de cacahuate. Además, los materiales inertes más comunes en vivero son el tepojal, tezontle, basalto, perlita, arena, vermiculita, arcilla calcinada y piedra pómez (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2016).

2.4 Evaluación de la calidad de plántula

La calidad de las plántulas forestales es muy específica y generalmente implica mayores requerimientos en comparación con las plantas destinadas a jardinería u horticultura, ya que estas deberán estar preparadas para condiciones naturales, generalmente muy distinto a las condiciones óptimas recibidas en el vivero o un jardín, es fundamental que las plántulas forestales sean robustas y estén bien adaptadas para enfrentar los desafíos que encontrarán al ser trasplantadas al medio silvestre (Benítez G. *et al.*, 2002).

El índice de calidad de Dickson (ICD) es una herramienta desarrollada para evaluar la calidad de las plántulas en viveros forestales. Fue propuesto por Richard E. Dickson y colaboradores y se ha convertido en una medida comúnmente utilizada en la evaluación de plántulas en el ámbito forestal. Este índice tiene en cuenta varias características de las plántulas, las variables que se consideran para calcular el índice son la masa seca total, altura, diámetro, masa seca parte aérea y el peso seco de la raíz (Cobas-López *et al.*, 2020).

$$\text{ICD} = \frac{\text{Masa seca total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Masa seca parte aérea (g)}}{\text{Peso seco de Raíz(g)}}$$

En términos generales, la calidad de planta incluye los rasgos morfológicos y fisiológicos que pueden ser cuantitativamente eslabonados al éxito de la reforestación así, el concepto de calidad considera varias características que actúan

en forma conjunta para lograr una respuesta esperada en campo (Duryea y Landis, 1984).

Con respecto a indicadores de calidad de plántula Villalón-Mendoza *et al.*, (2016) evaluaron sobre *Quercus canby* Trel. (encino) en vivero forestal, utilizando diferentes métodos para determinar la calidad de planta, como lo fue el índice de calidad de Dickson, índice de robustez (IR), índice de lignificación, índice de proporcionalidad biométrica (IPB) o Relación biomasa seca aérea/biomasa seca raíz.

Por otra parte, Rosales-Mata *et al.* (2013) evaluaron la idoneidad de las plantas de *Agave* para el trasplante al campo después de su cultivo en un vivero. Para esto, se llevaron a cabo mediciones y análisis de diversas características de las plantas, incluyendo su crecimiento, salud y desarrollo del sistema radicular. Se observaron aspectos como la altura de las plantas, el diámetro del tallo, el número de hojas, la presencia de enfermedades o plagas, así como la formación y salud del sistema de raíces.

En el estudio de Binotto *et al.* (2010), se llevó a cabo una investigación para examinar la relación entre diferentes variables de crecimiento, como la altura, el diámetro del tallo, la biomasa, y el índice de calidad de Dickson en plántulas forestales de *Eucalyptus grandis* W. y *Pinus elliottii* var. *elliottii*. Para lograr esto, recopilaron datos de varias especies de árboles en condiciones controladas y en entornos naturales. De acuerdo, en los resultados se revelaron correlaciones significativas entre ciertas variables de crecimiento y el índice de calidad de Dickson, debido a que se encontró una asociación positiva entre la altura de las plántulas y su índice de calidad, así como una relación similar con el diámetro del tallo.

Considerando el estudio de Sehnen *et al.* (2016), sobre la calidad de plántulas de *Eugenia dysenterica* DC. cultivadas en diferentes sustratos abordó diferentes parámetros fisiológicos, incluyendo la tasa de supervivencia, el crecimiento vegetal, el contenido de clorofila, agua y nutrientes en las hojas, así como la actividad enzimática. A través de este análisis, se identificaron diferencias significativas entre los sustratos, lo que permitió identificar las variaciones en la

supervivencia, el desarrollo y la salud fisiológica de las plántulas. Estos resultados indican la influencia directa que ejerce la elección del sustrato sobre la calidad y el rendimiento de las plantas, dando importancia de seleccionar adecuadamente los sustratos en el proceso de cultivo para optimizar la producción de *E. dysenterica*. La investigación no solo proporcionó conocimientos fundamentales sobre la relación entre sustrato y calidad de plántulas, sino que también ofreció perspectivas prácticas para mejorar las estrategias de cultivo y promover la producción sostenible de esta especie vegetal.

En el estudio sobre la influencia del tipo y color del recipiente en el crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* Engelm. y *P. oaxacana* Mirov. en vivero, se investigó el efecto de diferentes tipos de contenedores como, macetas de plástico, de turba y colores negro y blanco en el crecimiento de las plántulas de pino. Los investigadores cultivaron plántulas de pino en los distintos tipos y colores de contenedores y evaluaron parámetros como altura, diámetro del tallo, biomasa y desarrollo radicular. Los resultados mostraron que el tipo y color del contenedor tuvieron efectos significativos en el crecimiento de las plántulas de pino, se observó un mayor crecimiento en plántulas cultivadas en contenedores de turba en comparación con los de plástico, y en contenedores de color claro en lugar de oscuro. Estos resultados sugieren que la elección del tipo y color del contenedor puede influir significativamente en el éxito del cultivo de plántulas de pino en vivero (Sánchez-Aguilar *et al.*, 2016).

Asimismo, sobre la evaluación de la calidad de plantas de *Pentas lanceolata* Forssk., aplicaron el índice de calidad de Dickson (DQI), la fluorescencia de la clorofila y el índice de Área Foliar (LAI). Los investigadores cultivaron plantas de *P. lanceolata* y realizaron mediciones de estos parámetros fisiológicos para evaluar su calidad. Los resultados mostraron una correlación significativa entre el DQI, la fluorescencia de la clorofila y el LAI, lo que sugiere que estas métricas son indicadores confiables de la calidad de las plantas. Además, se observó que las plantas con valores más altos de DQI y LAI presentaban una mejor salud fisiológica

y un mayor crecimiento, lo que respalda la utilidad de estas herramientas para la evaluación precisa de la calidad de las plantas de *P. lanceolata* (Lin *et al.*, 2018).

2.5 Manejo de planta en vivero e invernadero

El vivero forestal es el lugar destinado a la reproducción de árboles con diversos fines. Su misión es obtener plantas de calidad, que garanticen una buena supervivencia y crecimiento en el lugar donde se establezcan en forma definitiva.

El manejo eficiente del riego y la fertilización en el cultivo de plantas en vivero es importante debido a la interacción que hay entre estos dos factores abióticos considerándose fundamental para el desarrollo óptimo de las plantas, ya que influyen directamente en su fisiología, crecimiento y productividad (Lanuza-Lanuza *et al.*, 2021).

El operar de manera óptima el riego y la fertilización en los viveros radica en su impacto directo en la calidad y el rendimiento de las plantas producidas. Un suministro adecuado de agua y nutrientes permite maximizar la fotosíntesis, la acumulación de biomasa y la formación de estructuras vegetativas y reproductivas. Además, el manejo preciso de estos factores puede influir en la capacidad de las plantas para adaptarse a condiciones ambientales cambiantes, como sequías o suelos pobres en nutrientes, lo que contribuye a su viabilidad y éxito en etapas posteriores de cultivo o trasplante (Basave-Villalobos *et al.*, 2020).

El cultivo de plántulas forestales, como cualquier otra actividad, debe tender a generar, además de cantidad, un producto de calidad en la forma más eficiente posible. Las plantas son consideradas de calidad si cumplen con dos requisitos básicos de comportamiento una vez establecidas en el terreno. El primero, y más obvio, es la supervivencia y el segundo, el crecimiento (Duryea, 1984).

2.6 Estudios relacionados con efecto de sustratos en plantas

El estudio de efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble muestra en los resultados obtenidos que el sustrato utilizado tuvo un impacto significativo en la calidad de las plántulas de cedro, caoba y roble. Se observó que ciertas mezclas de sustrato proporcionaban condiciones más

favorables para el crecimiento y desarrollo inicial de las plántulas, en comparación con otras combinaciones. De igual forma, se encontró que la densidad de siembra afectaba el crecimiento de las plántulas, con variaciones en la altura, diámetro y biomasa en función de la densidad de plantación (Negreros-Castillo, 2010).

El estudio sobre la producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada mostró resultados significativos en cuanto al crecimiento y desarrollo de las plántulas debido a que se observó que ciertos sustratos, como la mezcla de turba y perlita, favorecieron un mejor desarrollo radicular y una mayor absorción de nutrientes, reflejándose en un crecimiento más vigoroso de las plántulas. Por otra parte, la aplicación de fertilizantes de liberación controlada resultó en un aumento significativo en la altura, diámetro y biomasa de las plántulas, comparado con plántulas no fertilizadas o fertilizadas con métodos convencionales (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Colecta de cápsulas y beneficio de semillas de las localidades

La colecta de las cápsulas de *Yucca endlichiana* se realizó con base a la autorización de licencia de colecta científica otorgado por la Dirección de Vida Silvestre (oficio número SGPA/DGVS/004758/18) de la SEMARNAT. Se llevaron a cabo las colectas en dos ubicaciones del municipio de General Cepeda: El Dorado, con coordenadas 25°39'41.3" 101°33'11.3", a una altitud de 1149 metros sobre el nivel del mar, y San Antonio del Jaral, con coordenadas 25°37'28.8" 101°26'12.0", a 1151 metros sobre el nivel del mar. La tercera ubicación se situó en el municipio de Ramos Arizpe: Ejido Las Coloradas con coordenadas 26°11'48.1" 101°37'42.9", a una altitud de 1206 msnm (Meza-Cota *et al.*, 2022) (Figura 1).

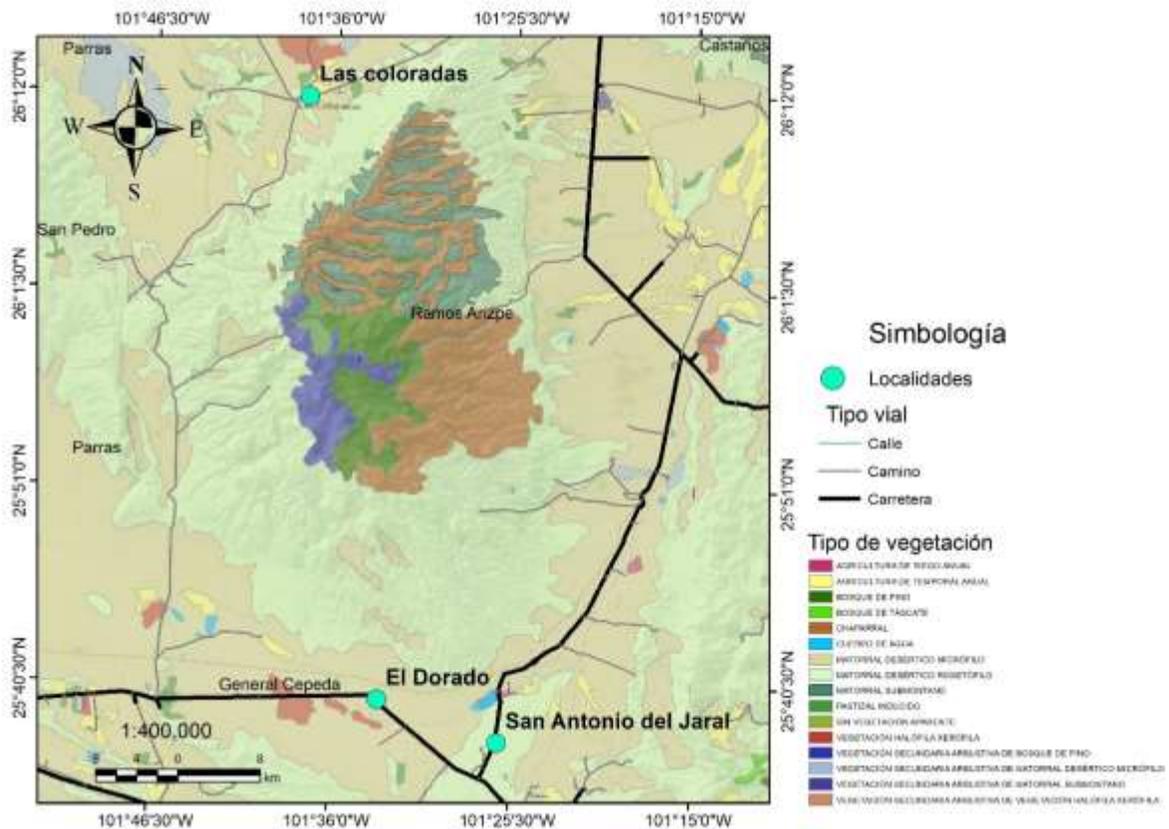


Figura 1. Ubicación de las tres localidades donde se encontró *Yucca endlichiana* Trel., en el estado de Coahuila. (Fuente: INEGI cartas G14-7 de Geología, Edafología y Uso de Suelo y Vegetación).

El método que se utilizó fue muestreo selectivo en el cual se eligieron plantas con presencia de cápsulas, considerando una separación mínima de 50 m entre plantas, para reducir la posibilidad de parentesco. Las plantas fueron identificadas y georreferenciadas en el campo mediante el uso de un GPS Garmin. Las cápsulas recolectadas se preservaron en bolsas de papel estraza, las cuales fueron previamente etiquetadas para su fácil identificación. En el Ejido Las Coloradas, se muestrearon 55 plantas, recolectando entre 2 y 18 cápsulas por planta. En el Ejido El Dorado, se examinaron 41 plantas, con una recolección de entre 2 y 10 cápsulas por planta. En el Ejido San Antonio del Jaral, se tomaron muestras de 32 plantas, recolectando entre 2 y 9 cápsulas por planta. Posteriormente, las cápsulas obtenidas se dejaron secar a temperatura ambiente durante un período de 15 días (Meza-Cota *et al.*, 2022).

3.2 Tratamiento de germinación

Antes de iniciar la investigación, se llevó a cabo una fase preliminar donde se determinaron la concentración y el tiempo de exposición óptimos para el pretratamiento con peróxido de hidrógeno. En esta fase, se empleó una combinación de semillas provenientes de tres localidades diferentes. Se realizaron pruebas que abarcaban cuatro tipos de pretratamientos germinativos, además de un grupo de control. Dichos pretratamientos consistieron en dos concentraciones distintas de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), cada uno con dos tiempos de imbibición.

El grupo de control, por su parte, se sometió únicamente a un remojo de 12 horas en agua destilada. Los tratamientos aplicados incluyeron: imbibición en H_2O_2 al 3% durante 3 minutos como primer tratamiento, imbibición en H_2O_2 al 1.5% durante 3 minutos como segundo tratamiento, imbibición en H_2O_2 al 3% durante 6 minutos como tercer tratamiento, y finalmente, imbibición en H_2O_2 al 1.5% durante 6 minutos como cuarto tratamiento (Meza-Cota *et al.*, 2022).

Se implementaron cuatro repeticiones, cada una compuesta por 25 semillas, para cada uno de los pretratamientos y el grupo de control. A pesar de que no se observaron diferencias significativas en las concentraciones con peróxido de hidrógeno, para evaluar la germinación entre las distintas localidades se seleccionó

el pretratamiento que involucraba el remojo previo de las semillas en agua destilada durante 12 horas, seguido de la imbibición de las semillas en H₂O₂ al 3% durante 6 minutos. Esta elección se fundamentó en la observación de que este pretratamiento mostró una menor presencia de estructuras micóticas, indicando una menor infestación de patógenos en comparación con otras condiciones de pretratamiento (Meza-Cota *et al.*, 2022).

3.3 Condición del experimento en el invernadero

El del invernadero donde se estableció el experimento de *Yucca endlichiana* cuenta con las siguientes características:

La temperatura promedio oscila entre los 18-30 °C estas condiciones fluctúan debido a los cambios constantes del tiempo, pero logran estabilizarla por medio de los ventiladores automáticos encargados de regular temperatura del invernadero, los riegos que se dan son cada tercer día un personal encargado de riego lo aplica saturando la bolsa de la planta, dando así riegos lunes, miércoles y viernes, en cuanto a las condiciones de luz cuenta con paneles de policarbonato para otorgar la luz solar apropiada a las plantas dentro del invernadero.

3.4 Tipos de sustratos

Los tipos de sustratos que se utilizaron consistieron en dos tipos, el primero fue el de lugar de origen el cual se extrajo el suelo de la localidad las coloradas para todas las repeticiones de las plantas dando así un peso de 2.234 kg para cada bolsa (25°39'38.06"N 101°33'10.95"O coordenadas de colecta de suelo), el tipo es xerosol háplico de profundidad moderada, su origen es aluvial y coluvio-aluvial formado a partir de sedimentos de roca caliza que le otorgan un color claro, no presenta características distintivas como acumulaciones de carbonatos de calcio, tiene una textura media, son típicos de áreas con baja precipitación y bajo contenido de materia orgánica, y no poseen un horizonte argílico (INEGI, 2002).

El sustrato forestal consistió en 107 lt *peat moss*, 144 lt vermiculita, 100 lt perlita, 1 kg osmocote por m³ mezcla 14-14-14 en cada una de las bolsas dando como peso total de 1.130 kg por bolsa.

3.5 Variables de evaluación

Dentro de las variables que se consideraron para la evaluación de cada planta de *Yucca endlichiana* fueron Altura (cm), diámetro basal (cm), longitud de la hoja más larga (cm), número de hojas de planta principal, número de hijuelos, diámetro (cm) y altura (cm) y longitud de la hoja más larga (cm) de Hijuelo 1, diámetro (cm) y altura (cm) y longitud de la hoja más larga (cm) de Hijuelo 2, contar el número de bulbos de la raíz la planta por tipo de suelo, (Anexo 1). Se realizó la medición de variables después de 4 años, 3 meses y 7 días de establecida en vivero.

Para la determinación del índice de Dickson (Anexo 2), de las 144 plantas de *Y. endlichiana* establecidas para el experimento (Figura 2), se consideraron 19 plantas seleccionadas de acuerdo a las procedencias y tipo de suelo de forma aleatoria, posteriormente se llevaron al laboratorio del departamento forestal de la UAAAN donde se le retiró la bolsa polietileno negro con ayuda de una navaja (Anexo 3). Dentro de un bote de 19 litros lleno de agua (Anexo 4), se sumergieron las plantas para retirar la tierra con mayor facilidad y dejar al descubierto la parte radical (Anexo 5); después, en una báscula, se colocó la planta completa obteniendo así el peso verde total (Anexo 6).

Procediéndose después a cortar con apoyo de un cúter la parte radical y la parte aérea, consiguiendo así el peso verde de cada área (Anexo 7 y 8). En una bitácora se anotaron los pesos llevando el control de que planta y de que tratamiento se trataba, seguido de eso se colocó la parte aérea y la parte radical en bolsas de papel tipo kraft (Anexo 9) para así poderlas ingresarlas a la estufa de secado de marca *Thermo Scientific* a una temperatura constante de 105°C (Anexo 10) durante 3 días hasta obtener un peso constante, y se retiraron de la estufa para poder pesarlas en la báscula y obtener el peso seco de la parte aérea y la parte radical (Anexo 11 y 12).

Una vez que se obtuvieron los datos se procedió a determinar el índice de Dickson en *Microsoft Excel 2013*, organizando los datos por tipo de suelo (suelo 1 y suelo 2) en una hoja de cálculo, asegurando que estuvieran de manera clara y

ordenada; a continuación, se aplicaron las fórmulas específicas para calcular el índice de Dickson consiguiendo determinar la calidad de las plantas.

Para el caso de los índices morfométricos, índice de esbeltez, relación parte aérea y parte raíz basándose en las mediciones de cada planta, se procedió a realizar la aplicación de las fórmulas correspondientes para cada planta haciendo uso del programa Excel para su determinación.

3.6 Diseño experimental y análisis estadístico

3.6.1 Variables de crecimiento

El experimento consistió en un diseño factorial 3 x 2, donde se investigaron tres procedencias de plantas de *Yucca endlichiana* y dos sustratos, específicamente, suelo de origen y suelo sustrato forestal creado en vivero. Este diseño se seleccionó para examinar los posibles efectos individuales de cada procedencia y tipo de suelo, así como cualquier interacción entre ellos. Se utilizó un enfoque completamente al azar para asignar aleatoriamente las plantas a cada combinación de procedencia y tipo de suelo, garantizando la equidad en la distribución de posibles fuentes de variabilidad.

El modelo que corresponde es el siguiente para entender cómo dos factores independientes afectan una variable de interés (Walpole *et al.*, 2012).

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$i = 1, 2, \dots$, a número de niveles del factor A (procedencias)

$j = 1, 2, \dots$, b número de niveles del factor B (sustratos)

$k = 1, 2, \dots$, r número de repeticiones de cada combinación AxB

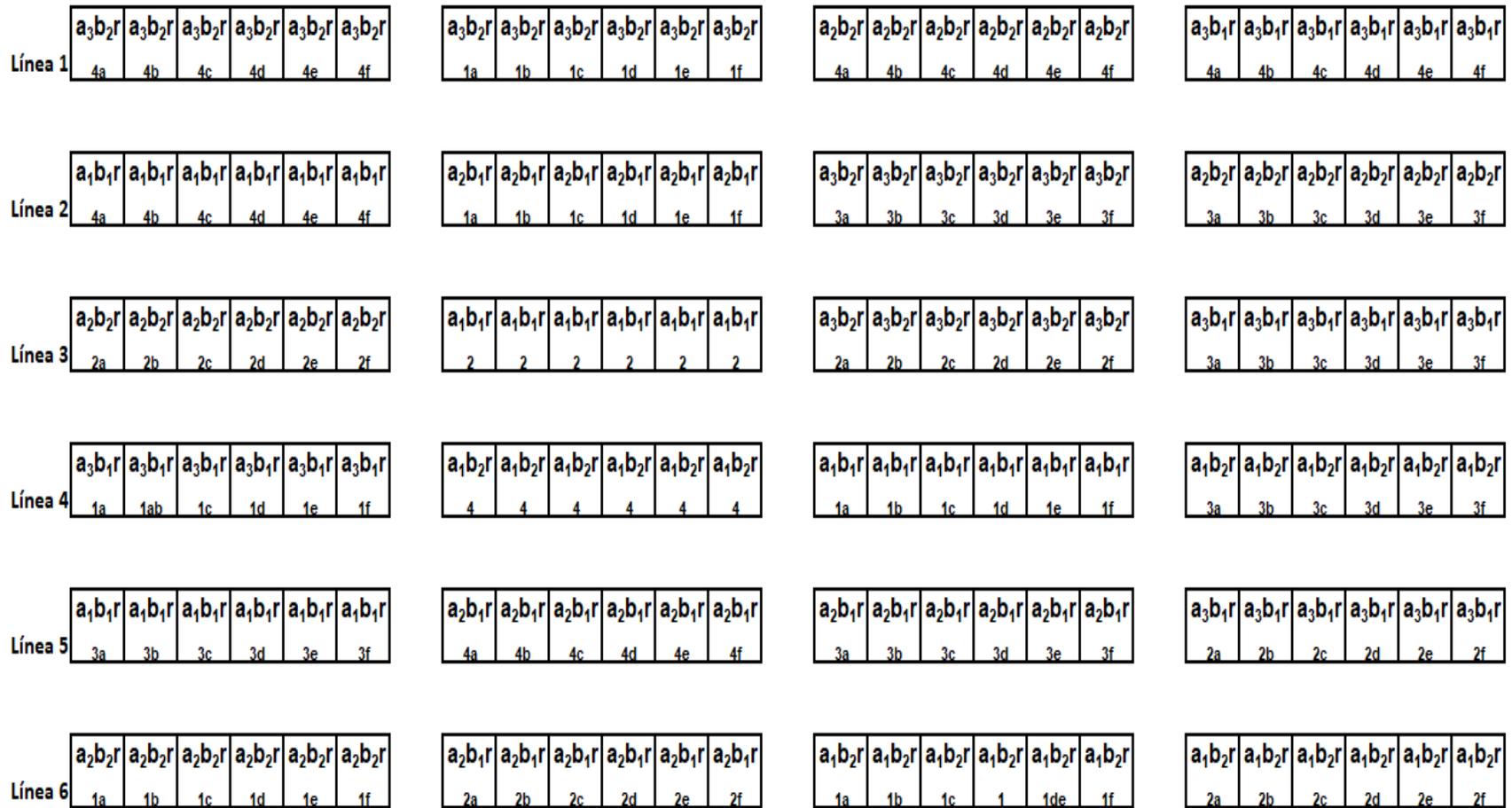
Y_{ijk} = Valor de la variable respuesta correspondiente a la repetición k del nivel i de A al nivel j de B

μ = Media general

A_i = Efecto del nivel i del factor A (procedencias)

B_j = Efecto del nivel j del factor B (sustratos)

Figura 2. Representación del experimento factorial 3 x 2 para el crecimiento de *Yucca endlichiana* en vivero.



Los diferentes tratamientos: Procedencias a1 (P1) = Coloradas, a2 (P2) = Dorado, a3 (P3) = Jaral, Tipo de suelo b1 (S1)= Origen b2 (S2) = Forestal repeticiones r1= repeticion1, r2= repeticion2, r3= repeticion3, r4= repeticion4.

AB_{ij} = Interacción AxB correspondiente al nivel i de A y nivel j de B

ε_{ijk} = Error experimental corresponde a la repetición k del nivel i de A al nivel j de B

ε_{ij} : Es el término de error o residuo. Representa la variabilidad no explicada por el modelo, como errores de la medición, variabilidad inherente, o factores no considerados.

3.6.2 Calidad de planta

Se realizó la comparación de medias considerando 19 muestras de planta de *Yucca endlichiana*. Para analizar estadísticamente los datos recopilados, se utilizó el procedimiento PROC MEANS del programa SAS® (*Statistical Analysis System*), versión 9.0. PROC MEANS es una herramienta comúnmente utilizada en análisis estadístico, (SAS Institute Inc., 2004), además, se utilizó la prueba de Welch para la comparación de medias y así examinar las diferencias entre los grupos y determinar si eran estadísticamente significativas. La prueba de Welch es una alternativa a la prueba t de Student cuando no se cumplen los supuestos de igualdad de varianzas y/o tamaños de muestra entre los grupos, dándose el último supuesto de desigualdad de muestras (Flores *et al.*, 2018).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto de suelos en el crecimiento de plántulas de tres procedencias

Los resultados obtenidos de esta investigación han proporcionado una visión detallada sobre el crecimiento de *Yucca endlichiana* en condiciones de vivero, considerando cuatro variables clave para el crecimiento de las plantas: diámetro, altura, longitud de hojas y volumen aparente. Estas variables se comparan entre las tres procedencias, los dos tipos de sustratos, el sustrato de suelo de origen (S1) y el sustrato forestal utilizado en vivero (S2), además de los tratamientos.

Cuadro 1. Variables morfológicas promedio de plántulas de *Yucca endlichiana* a 51 meses de establecidas en invernadero.

T P S	D (cm)	H (cm)	HL (cm)	VA (cm ³)
P1	2.6117 a	27.9312 a	30.2313 a	158.5291 a
P2	2.7266 a	25.7131 b	29.7090 a	160.2746 a
P3	2.7541 a	25.0965 b	26.4762 b	161.4646 a
S1	2.5146 b	23.4138 b	25.0762 b	119.9537 b
S2	2.8804 a	29.0802 a	32.5350 a	200.2252 a
1 P1S1	2.2860 d	25.5625 bc	26.2377 c	105.7179 d
2 P1S2	2.9374 ab	30.3000 a	34.2250 a	211.3403 a
3 P2S1	2.7406 abc	23.2575 bcd	26.5869 c	145.5256 bc
4 P2S2	2.7126 bc	28.1687 ac	32.8312 ab	175.0236 ab
5 P3S1	2.5171 cd	21.4212 d	22.4037 d	108.6176 cd
6 P3S2	2.9911 a	28.7719 a	30.5487 b	214.3117 a

T= tratamiento; P=procedencia; S=suelo; S1= sustrato 1; S2= sustrato 2; D= Diámetro; H= Altura; HL= Hoja más larga; VA= Volumen aparente. Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

4.1.1 Procedencias de *Yucca endlichiana*

Con respecto a las procedencias evaluadas presentaron diferencias en varias de las variables estudiadas; en particular, no se observaron diferencias estadísticas en el diámetro, por el contrario, en cuanto a la variable altura de la planta, la procedencia 1 (P1) y 3 (P3) no presentaron diferencia exhibiendo la mayor altura, mientras que la procedencia 2 (P2) mostró el menor valor en esta variable; es destacable mencionar que para la hoja más larga la P1 obtuvo el mayor valor con 30.2313 cm dejando a la P3 con las hojas más pequeñas con 26.4762 cm. En cambio, para el volumen aparente la mejor fue la P3 con 161.46 cm³ y la de menor volumen fue la P1 con 158.5291 cm³.

Esta variabilidad en el crecimiento de la *Yucca* podría estar influenciada por factores genéticos y ambientales específicos de cada procedencia principalmente, como lo muestra el estudio en donde se aclara que la supervivencia de las plantas al ser establecidas en el suelo está ligada a procesos de aclimatación, o incluso la variabilidad genética es la que actúa debido a que no se auxilió ni de riegos ni fertilización para su sobrevivencia (Sánchez *et al.*, 2020).

4.1.2 Tipo de sustrato

En el caso del diámetro basal, si se observaron diferencias significativas en entre los sustratos S1 y S2. Esto sugiere que el tipo de sustrato tiene un impacto considerable en el engrosamiento del tallo, lo que podría ser interpretado como un indicador de que otros factores, como la genética o el manejo de la planta, pueden tener un efecto más fuerte en esta variable. Al haber diferencias significativas, se podría suponer que el S2 es más efectivo para el desarrollo de esta característica, en contraste con el estudio empleado en *Begonia* f.f. verde, variedad Emperor Pink donde mencionan que dos de sus tratamientos no tuvieron diferencia significativa en el diámetro las plantas para su propagación (Acosta-Durán y Acosta-Peñaloza, 2018).

En cuanto a la variable altura, las plantas mostraron diferencias significativas entre los dos sustratos, con valores más altos para el S2 con 29.0802 cm de altura,

siendo superior frente al S1 con 23.4138 cm de altura. Este hallazgo implica que el S2 proporciona condiciones más favorables para el crecimiento en altura, lo que podría ser debido a un sustrato con mayor disponibilidad de nutrientes, con buena aireación y drenaje, que puede fomentar el crecimiento saludable de las plantas y que favorece el desarrollo vertical de las mismas. Esto es consistente con lo observado en el estudio sobre el efecto de diferentes sustratos en el crecimiento vegetativo de vitroplantas de *Ananas comusus* L. porque resalta la importancia del sustrato en términos de calidad y crecimiento equilibrado, debido a que el uso de sustratos en vivero con contenido nutricional mejorado con relación a sustratos tradicionales estériles de arena mejora los niveles de supervivencia y crecimiento (Cetre-Cortes *et al.*, 2020).

En cuanto a la longitud de hojas (HL), el S2 también mostró resultados significativamente mayores 32.5350 cm de largo en comparación con el S1 25.0762 cm de largo. Este resultado refleja diferencias en la absorción de nutrientes o en las condiciones del entorno de crecimiento, como la retención de agua y aireación o condiciones de luz, estas características pueden ser críticas para el desarrollo de las hojas y la fotosíntesis, lo que podría explicar la superioridad del S2 en este aspecto. Esto concuerda con el estudio de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. donde se ha observado que la disponibilidad de nutrientes en el sustrato afecta el tamaño y la cantidad de hojas, además las plantas que crecieron con fertilización química obtuvieron los valores más altos en altura, longitud de penca y porcentaje (Vasconcelos *et al.*, 2020).

En el volumen aparente (VA) también mostró diferencias significativas entre los sustratos, con valores más altos para las plantas en el S2. Dado que el volumen aparente es una medida que engloba tanto la altura como el diámetro, este resultado refuerza la idea de que el S2 promueve un mayor crecimiento general. En este sentido, las características de los sustratos que son formulados demuestran tener un impacto significativo en varios aspectos, incluyendo el diámetro de la piña, el diámetro del tallo, el número de hojas y las dimensiones de la planta. Estos hallazgos pueden ser de particular importancia en aplicaciones de propagación,

donde se busca maximizar la producción de biomasa (Enríquez del Valle *et al.*, 2016).

4.1.3 Tratamientos procedencia con tipo de suelo

Se observó que, en general, dentro de los seis tratamientos, las plantas de *Yucca* de la P1 y P3 exhibieron un desempeño superior en todas las variables en comparación con la P2. Resaltando que el diámetro del tallo y la altura de la planta fueron significativamente mayores en las plantas de la P1 y P3 establecidas en el sustrato forestal, indicando un crecimiento más vigoroso y robusto, además, la longitud de las hojas y el volumen aparente también fueron notablemente superiores en las plantas de la P2 en comparación con las otras procedencias. Por otro lado, se determinó que los tratamientos P1S2 y P3S2 son los mejores debido a que tienen las condiciones más eficientes para todas las variables morfológicas.

Los resultados del sustrato (mezcla de invernadero) presenta un mayor contenido orgánico, mayor porcentaje de nutrientes y una mejor estructura, lo cual se alinea con hallazgos del estudio de *Agave americana* L. en donde indica que de los diferentes sustratos utilizados, proporcionaron a las plantas crecimientos variables debido a la calidad del sustrato y la disponibilidad de nutrimentos, se resalta también que las plantas más grandes fueron las de mayor concentración de dosis en nutrimentos (Enríquez del valle *et al.*, 2013).

En general, los resultados sugieren que las muestras que involucran la combinación de la procedencia P1 y P3 tienen un mejor rendimiento en términos de diámetro, altura, longitud de hoja y volumen aéreo en comparación con la procedencia P2. Además, la combinación de P1S2 y P3S2 son los más destacados en términos de crecimiento y desarrollo de *Yucca* en el vivero.

4.2 Comparación de calidad de planta entre dos sustratos

En la comparación de los sustratos se puede observar en el Cuadro 2 que en las variables e índices morfométricos como es el peso verde aéreo, hay diferencias significativas entre sustratos, obteniéndose los valores mayores en suelo forestal.

Cuadro 2. Comparación de medias (\pm error estándar de la media) entre suelo de origen y suelo forestal Variables e índices morfométricos de calidad de planta en *Yucca endlichiana* de tres procedencias.

Variables e índices morfométricos	Grupo experimental			
	Suelo de Origen		Suelo Forestal	
Peso verde parte aérea (g)	76.69	\pm 10.41b	174.70	\pm 30.89a
Peso verde parte radicular (g)	222.08	\pm 52.52b	334.84	\pm 125.45a
Peso seco parte aérea (g)	32.72	\pm 6.26b	35.61	\pm 6.61a
Peso seco parte radicular (g)	27.62	\pm 6.25b	58.21	\pm 8.15a
Peso verde total (g)	298.78	\pm 58.19b	509.55	\pm 146.93a
Peso seco total (g)	60.34	\pm 9.64b	93.82	\pm 13.15a
IE	1.14	\pm 0.07a	1.07	\pm 0.07a
PA/PR	1.42	\pm 0.21a	0.66	\pm 0.14b
ID	26.41	\pm 5.77b	55.82	\pm 7.17a
Número de bulbos de la raíz	16.20	\pm 1.54b	20.77	\pm 2.32a

IE= Índice de esbeltez; PA/PR=Relación parte aérea y parte radicular; ID= Índice de calidad de Dickson. Letras diferentes en columnas indican diferencias estadísticas entre promedios ($p > 0.05$).

Los resultados del estudio experimental factorial 3 x 2 proporcionan una perspectiva significativa sobre el impacto del tipo de suelo en el desarrollo y morfología de las plantas. En particular, se observan las diferencias notables entre las plantas cultivadas en suelo forestal y las plantas cultivadas en suelo de origen en una serie de variables e índices morfométricos.

4.2.1 Las diferencias entre los pesos verdes

La relación entre las variables de peso verde parte aérea y peso verde parte radical con respecto a Suelo de Origen y Suelo Forestal, presentó diferencias para cada tratamiento, las plantas cultivadas en S2 exhiben un mayor peso verde tanto en la parte aérea como en la parte radical, en comparación con las plantas cultivadas en S1, el de mayor peso en S2, mostró un peso promedio de 174.70 g, mientras que el de S1 mostró un peso promedio de 76.69 g. Esta discrepancia sugiere una mayor capacidad de las plantas para acumular biomasa en un suelo forestal, posiblemente debido a la mayor disponibilidad de nutrientes y la presencia de microorganismos beneficiosos en el suelo forestal (Fernández *et al.*, 2016).

Por otro lado, en el análisis del peso Verde Total se muestra diferencias significativas entre los dos grupos experimentales. En el grupo de S2, el peso verde total promedió 509.55 g, mientras que en el S1 fue significativamente menor, con un promedio de 298.78 g.

Las diferencias sugieren que el entorno del S2 proporciona condiciones más favorables para el crecimiento de *Yucca endlichiana*. Este aumento en el peso verde total puede ser resultado de varios factores, como una mayor disponibilidad de nutrientes, mejor retención de humedad y una estructura del suelo más adecuada para el desarrollo de raíces y hojas. También podría reflejar un entorno más saludable en términos de biodiversidad microbiana, que beneficia el crecimiento vegetal, a su vez, la calidad de suelo influye en el desarrollo de la calidad de planta (Enríquez del Valle *et al.*, 2016).

4.2.2 Las diferencias entre los pesos secos

Entre los sustratos no se encontró una diferencia significativa en el peso seco de la parte aérea entre los dos grupos debido a que el promedio en el suelo de origen en peso seco de raíz es de 32.72 g mientras que por el otro lado en el S2 el promedio está en 35.61 g, en cuanto a la variable de peso seco de raíz en el S2 es significativamente mayor en comparación con las plantas cultivadas en S1.

Esto indica una mayor aportación en el sistema radical por parte de las plantas cultivadas en S2, debido a la producción de rizomas que son elementos estratégicos para almacenar agua, como una adaptación para maximizar la absorción de agua y nutrientes en un suelo más favorable, de manera similar en un estudio de agave proporcionan resultados donde muestran que las especies de *Agave* son capaces de activar mecanismos bioquímicos para mitigar el estrés hídrico, como la acumulación de antioxidantes y compuestos osmoprotectores (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014).

En cuanto al peso seco Total, esta diferencia en el peso seco total indica que el S2 no solo permite un crecimiento vegetativo mayor, sino que también conduce a un mayor contenido de biomasa de la planta. Este resultado sugiere que el entorno del S2 puede ser más propicio para el crecimiento sostenido y la resistencia de la planta, dando así similitud en los resultados del estudio de crecimiento de *Agave angustifolia* Haw. con relación a la condición nutrimental, donde indican que en suelo con fertirriego se obtiene mayor biomasa que en el testigo (Ríos-Ramírez *et al.*, 2021).

4.2.3 El contenido orgánico del sustrato

Particularmente en el caso del S2, podría ser uno de los factores clave que contribuyen a las diferencias observadas en el crecimiento y desarrollo de las plantas en comparación con el suelo de origen.

El S2 típicamente contiene una mayor cantidad de materia orgánica, lo que es una fuente importante de nutrientes para las plantas y también mejora la estructura del suelo, promoviendo la retención de agua y nutrientes, así como la actividad biológica beneficiosa (Trinidad-Santos, 2018). La presencia de una mayor cantidad de materia orgánica en el S2 podría haber proporcionado a las plantas cultivadas en este sustrato un acceso más fácil a los nutrientes esenciales, lo que resulta en un mayor crecimiento y desarrollo, como se observó en el estudio (Martínez-Reyes *et al.*, 2012).

Por otro lado, el suelo de origen, al tener una menor cantidad de materia orgánica, puede ofrecer menos nutrientes disponibles para las plantas, lo que podría haber afectado su crecimiento y desarrollo en comparación con las plantas cultivadas en S2, es un factor importante que puede influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas, como se evidencia en el estudio.

4.2.4 El contenido de humedad

El contenido de humedad del sustrato podría ser otro factor importante que contribuyó a las diferencias observadas en el crecimiento y desarrollo de las plantas entre el S2 y el S1.

En el S2, es probable que haya una mayor retención de humedad debido a la presencia de una mayor cantidad de materia orgánica y una estructura del suelo más favorable. Esta mayor retención de humedad podría haber proporcionado a las plantas un acceso más constante al agua, lo que habría contribuido a un crecimiento más vigoroso y un desarrollo más saludable en comparación con el S1, de manera similar con el estudio de *Agave americana* var. *oaxacensis* Gentry. durante su aclimatización en invernadero, mostró resultados positivos en cuanto a la retención de humedad manteniendo un sustrato rico en materia orgánica, debido a que ayuda a mantener un nivel adecuado de humedad, evitando la deshidratación y favoreciendo el crecimiento de las raíces (Cruz-García *et al.*, 2019).

Por otro lado, el S1, al tener una menor cantidad de materia orgánica y posiblemente una estructura menos favorable, podría haber presentado desafíos en términos de retención de humedad. Es posible que las plantas cultivadas en S1 hayan experimentado fluctuaciones más grandes en la disponibilidad de agua, lo que podría haber afectado su crecimiento y desarrollo de manera negativa (Pérez de los Reyes *et al.*, 2018).

Además, el contenido de humedad del sustrato también puede influir en otros aspectos del suelo, como la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana, que a su vez pueden afectar el crecimiento de las plantas (Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

4.2.5 La interacción genética de las procedencias

En cuanto a las distintas procedencias genéticas, destacamos la importancia de considerar la variabilidad genética como un factor adicional que puede influir en las diferencias observadas en el crecimiento y desarrollo de las plantas en diferentes sustratos.

La variabilidad genética entre las distintas procedencias de las plantas podría haber contribuido significativamente a las diferencias del rendimiento morfométrico observado en el estudio. Es probable que ciertos genotipos posean características genéticas que les dan una mayor capacidad para aprovechar los recursos disponibles en el S2, lo que se traduce en un crecimiento más vigoroso en comparación con otras procedencias cultivadas en S1, concuerda con que la magnitud del flujo entre las especies está determinada por varios factores, incluido el tipo de hábitats que ocupan, lo que fomenta una mayor diversidad genética y adaptación (Barraza-Morales *et al.*, 2006).

En el estudio de plasticidad fenotípica de progenies de árboles de *Pinus pseudostrobus* Lindl., superiores en producción de resina en vivero, los valores obtenidos de las características morfométricas evaluadas en plantas de 27 progenies de medios hermanos propagadas en vivero mostraron diferencias significativas en todas las características evaluadas en vivero. Por lo que se afirma que la variabilidad genética proporciona una respuesta heterogénea en las características fenotípicas de la progenie resultante bajo las condiciones de vivero, ambiente benigno de desarrollo (Chávez-García *et al.*, 2022).

4.2.6 Índice de Esbeltez

El índice de esbeltez no mostró diferencias significativas entre los dos grupos experimentales, lo que indica que la relación entre la altura y el diámetro del tallo es similar, independientemente del tipo de suelo. Esto alude que el crecimiento en altura y el desarrollo del tallo no se ven afectados significativamente por las diferencias en la calidad del suelo, contrastante con el estudio sobre determinación del crecimiento e índice de esbeltez en *Algarrobo dulce*, que determinó que el

porcentaje de vermicompostado en el sustrato y procedencia de semillas modifican que el índice de esbeltez se vuelva lento si se desempeña en un sustrato de compost tradicional, pero hace más robusta la planta de algarrobo (Massa *et al.*, 2023).

En comparación con otro estudio de la producción en vivero y respuesta morfofisiológica en campo de *Pinus leiophylla* Schl. & Cham., es contrastante con *Yucca endlichiana* debido a que en este estudio si hubo diferencias, sin embargo puede mencionarse que un índice de esbeltez bien gestionado en el vivero puede mejorar significativamente la adaptación y supervivencia de las plántulas en el campo, hasta que muestren este balance óptimo, estos hallazgos resaltan la importancia de monitorear y ajustar el índice de esbeltez para asegurar el éxito a largo plazo de las plantaciones (Buendía-Velázquez *et al.*, 2020).

Para el estudio de plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet. en Cuba, han demostrado que el único tratamiento que presenta diferencias con el resto fue el T2 debido a una aplicación adecuada de fertilización mineral lo que ha exhibido un incremento notable en el índice de esbeltez en las plantaciones de este tipo (León-Sánchez *et al.*, 2019).

4.2.7 Relación parte aérea y parte raíz (PA/PR)

La relación parte aérea/parte radical es notablemente mejor en el S2, lo que indica una dominante relación de desarrollo de la parte radical en relación con la parte aérea. Por el contrario, S1 su relación es notablemente más desproporcionada debido a que tiene menor crecimiento en la parte aérea, esto puede ser beneficioso para la estabilidad y el anclaje de las plantas, así como para la absorción de humedad, lo que es consistente con otro estudio de *Glicine max* L. donde la relación raíz/parte aérea muestra variaciones conforme avanza el desarrollo fenológico de la planta en ambos tratamientos manejados, dentro de los cuales no hubo diferencias significativas entre los sistemas de labranza estudiados (Barrios *et al.*, 2014).

En otro estudio sobre la variabilidad en la distribución de carbono en tres especies de coníferas *Pinus michoacana*, *P. martinezii* y *P. pseudostrobus* en la proporción parte aérea/raíz (A/R) presentó valores entre 1.58 y 1.96 en las tres especies, subrayan la importancia del manejo de las condiciones ambientales necesarias para mejorar la relación existente en la estructura morfológica (Morales-Hernández *et al.*, 2016).

En el estudio sobre calidad de planta de *Gmelina arborea* Roxb. producida con diferentes mezclas de sustratos en vivero, se obtuvo una variación significativa en la relación parte aérea/raíz entre diferentes sustratos, es remarcable que las plántulas en sustrato 100 % tierra de monte mostraron el valor más alto con 4.14 de relación, reflejando una mayor inversión en la parte aérea, los resultados destacan la influencia del sustrato en la distribución de recursos y sugieren que la elección adecuada del sustrato puede optimizar la calidad de las plántulas en la producción forestal (Reyes-Reyes *et al.*, 2018).

4.2.8 Índice de calidad de Dickson

El índice de calidad de Dickson, un parámetro global para evaluar la calidad de las plantas, fue significativamente mayor en el suelo forestal. Este resultado apoya y subraya la importancia de considerar el entorno edáfico, debido a que suelo forestal proporciona condiciones más favorables para el crecimiento y la calidad de las plantas, de manera similar en el caso de *Pinus devoniana* Lindl. y *Pinus douglasiana* Martinez. se observó que en los tratamientos con mayor acceso a nutrientes se obtuvo el mejor valor de índice de Dickson en la etapa de vivero (Bernaola-Paucar *et al.*, 2016).

Sin embargo, otro estudio realizado con ocho especies tropicales, una de clima templado y dos coníferas destacó adicionalmente la importancia del tipo de sustrato y técnicas de fertilización específicas, sugiriendo que estos factores pueden influir significativamente en los resultados del índice de Dickson y, por ende, en la calidad final de las plantas. Coincide en que mejorar las prácticas de vivero es crucial para el éxito de supervivencia de las plantas, subrayando la relevancia del

índice de Dickson como una herramienta integral para evaluar la calidad de las plantas en viveros (Rueda-Sánchez *et al.*, 2014).

No obstante, en otro estudio sobre plántulas de *Moringa oleífera* Lam. la poda temprana a los 10 días en el primer nudo ascendente mejoró significativamente los índices de calidad de Dickson, indicando un crecimiento más robusto y equilibrado. A diferencia de esto, para el caso de *Yucca endlichiana* en vivero, es aplicable la poda para saber si genera mayor beneficio al índice de calidad de Dickson, para ayudar a optimizar la calidad de las plántulas (Marcano *et al.*, 2023).

4.2.9 Número de bulbos de la raíz en *Yucca endlichiana*

Proporciona evidencia significativa de la relación entre el tipo de suelo y el crecimiento de los bulbos de raíz, indicando que el S2 presenta ventajas sustanciales sobre el S1. Este resultado puede ser atribuido a diferencias en nutrientes, composición orgánica, o condiciones de estructura del suelo entre los dos sustratos, que influyen en el desarrollo de las raíces, esto sugiere una posible relación con el estudio sobre aclimatación de *Agave americana* Gentry. donde menciona que la mejora en la disponibilidad de nutrientes disponibles podrían desencadenar la acumulación de sustancias de reserva disponibles para la planta (Yescas-Arreola *et al.*, 2016).

En otro estudio sobre *Agave maximiliana* Baker. menciona la importancia de aplicar auxinas de crecimiento debido a que aumenta la cantidad de la formación de raíces, para una mejor absorción de nutrientes para reserva, es importante hacer una aplicación concentraciones y combinaciones adecuadas de reguladores de crecimiento, a diferencia de ello los bulbos en *Yucca endlichiana* suelen ser más robustos (Santacruz-Ruvalcaba *et al.*, 2022).

En otro estudio de *Agave tequilana* Weber. mostró un efecto para el volumen de raíz debido a que el mayor crecimiento se alcanzó en los agaves micorrizados, debido a que en promedio su raíz aumento 20 gramos, en similitud con *Yucca endlichiana* el S2 tiene mejores condiciones para aumentar el número de bulbos en

la raíz para un mejor almacenamiento de reserva nutricional (Quiñones-Aguilar *et al.*, 2023).

5 CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos, se rechaza la hipótesis nula 1, lo que indica que, si hay diferencias significativas en las variables morfológicas de crecimiento diámetro basal, altura, hoja más larga, y volumen aparente entre los dos sustratos utilizados en el desarrollo de plántulas de *Yucca endlichiana*.

De acuerdo a los resultados encontrados, se rechaza la hipótesis nula 2, lo que indica que, si hay diferencias entre las variables e índices morfométricos peso verde y seco en parte aérea, peso verde y seco en parte radical, peso total en verde y seco, índice de esbeltez, relación parte aérea, parte radical, índice de Dickson, número de bulbos de la raíz, entre los dos sustratos utilizados en el desarrollo de las plántulas de *Yucca endlichiana*.

El suelo forestal proporciona condiciones óptimas para el crecimiento de *Yucca endlichiana*, reflejadas en una mayor acumulación de biomasa y un desarrollo de calidad en comparación al tipo de suelo de origen.

La procedencia 1 (P1) con el sustrato 2 (S2) y la procedencia 3 (P3) con el sustrato 2 (S2) muestran el mejor crecimiento y desarrollo de las plantas. Esto sugiere que estas combinaciones en particular se consideran como los mejores tratamientos (P1S2) y (P3S2) para la propagación exitosa de *Yucca endlichiana*, proporcionando condiciones óptimas para su crecimiento saludable y vigoroso.

El suelo forestal en los índices morfométricos mostró los mejores valores para índice de esbeltez, relación parte aérea y parte radical e índice de calidad de Dickson, número de bulbos de la raíz con ello este tipo de suelo proporciona mayor idoneidad para el crecimiento de *Yucca endlichiana* en vivero.

6 RECOMENDACIONES

Esto indica que algunas procedencias pueden ser más adecuadas para ciertos sustratos, lo que podría ser útil para la selección de material genético en programas de reproducción y conservación.

El suelo de origen puede utilizarse en situaciones donde la economía no sea suficiente para la compra de sustratos, por ello no se puede descartar este tipo de suelo para la propagación de *Yucca endlichiana*.

El trabajo de estudio realizado está limitado a tres procedencias en el estado de Coahuila y si hay poblaciones nuevas debería implementarse la experimentación.

En condiciones diferentes de invernadero puede variar el crecimiento y en tipos de envases, en cuanto al tamaño puede generar otros resultados por el volumen de suelo debido al mayor espacio para desarrollarse.

7 LITERATURA CITADA

- Acosta-Durán, Carlos Manuel, y Acosta-Peñaloza, Denisse. (2018). "Basura verde" como componente de sustrato en el cultivo de *Begonia* spp. en potes. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), 228-241. <https://dx.doi.org/10.15517/ma.v29i1.26456>.
- Aguilera-Rodríguez, Manuel, Aldrete, Arnulfo, Martínez-Trinidad, Tomás, y Ordáz-Chaparro, Víctor M. (2016). Producción de *Pinus montezumae* Lamb. Con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50(1), 107-118. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000100107&lng=es&tlng=es.
- Barraza-Morales, A., Sánchez Teyer, F. L., Robert, M., Esqueda, M., y Gardea, A. (2006). Variabilidad genética en *Agave angustifolia* Haw. de la Sierra Sonorense, México, determinada con marcadores AFLP. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(1), 1-8.
- Barriada-Bernal, L. Gerardo, Aquino-González, L. Victoria, Méndez-Lagunas, L. Leticia, Rodríguez-Ramírez, Juan, y Sandoval-Torres, Sadoth. (2018). Caracterización física y nutricional de frutos de yuca (*Yucca mixteca*). *Agrociencia*, 52(3), 347-359.
- Barrios, Mónica Beatriz, Buján, Alfonso, Debelis, Silvina Patricia, Sokolowski, Ana Clara, Blasón, Ángel Domingo, Rodríguez, Hernán Adrián, López, Silvia Concepción, De Grazia, Javier, Mazo, Carolina Rocío, y Gagey, María Cristina. (2014). Relación de raíz/biomasa total de Soja *Glycine max* en dos sistemas de labranza. *Terra Latinoamericana*, 32(3), 221-230. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018757792014000300221&lng=es&tlng=es.
- Basave-Villalobos, Erickson, Cetina-Alcalá, Víctor Manuel, López-López, Miguel Ángel, Trejo, Carlos, Ramírez-Herrera, Carlos, & Conde-Martínez, Víctor. (2020). Fertilización de *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth en vivero: efectos

en la calidad de planta. *Madera y bosques*, 26(3), e2632059. Epub. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632059>.

Benítez, G., Equihua, M., & Pulido Salas, M. T. (2002). Diagnóstico de la situación de los viveros oficiales de Veracruz y su papel para apoyar programas de reforestación y restauración. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8(1), 5-12. ISSN: 2007-3828. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62980101>.

Bernaola-Paucar, Rosario Marilú, Zamora Natera, Juan Francisco, Vargas Radillo, José de Jesús, Cetina Alcalá, Víctor Manuel, Rodríguez Macías, Ramón, & Salcedo Pérez, Eduardo. (2016). Calidad de planta en etapa de vivero de dos especies de pino en sistema Doble-Trasplante. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7(33), 74-93. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322016000100074&lng=es&tlng=es.

Binotto, Alexandre Francisco; Dal' Col Lúcio, Alessandro; Lopes, Sidinei José Correlations between Growth Variables and the Dickson Quality Index in Forest Seedlings *Cerne*, vol. 16, núm. 4, octubre-diciembre, 2010, pp. 457-464 Universidade Federal de Lavras Lavras, Brasil.

Buendía-Velázquez, Mayra Velen, López López, Miguel Ángel, Cetina Alcalá, Víctor Manuel, Díaz Ramos, Sara Gabriela, & Sánchez Vázquez, Oralia. (2020). Producción en vivero y respuesta morfofisiológica en campo de *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(2), 358-374. Epub http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692020000200358&lng=es&tlng=es.

Chávez-García, Alicia Sagrario, Hernández-Ramos, Jonathan, Muñoz-Flores, Hipólito Jesús, García-Magaña, J. Jesús, Gómez-Cárdenas, Martín, & Gutiérrez-Contreras, Maribel. (2022). Plasticidad fenotípica de progenies de árboles de *Pinus pseudostrobus* Lindl. superiores en producción de resina en vivero. *Madera y bosques*, 28(1), e2812381. Epub. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812381>.

- Cetre-Cortes, Ángel M., Fernández Vélez, J. A., & Corozo Quiñónez, L. (2020). Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento vegetativo de vitroplantas de piña (*Anana comosus* L. Merr) var. *perolera*. *La Técnica Revista de las Agrociencias*, 22-31.
- Cobas-López, Milagros, Sotolongo Sospedra, Rogelio, & Almora Ramos, Yuraimis. (2020). Comportamiento de los parámetros morfológicos de calidad de la planta de *Lysiloma sabicu* Benth., en vivero sobre sustratos orgánicos. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(3), 550-561. Epub http://scielo.sl.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S231034692020000300550&lng=es&tlng=es.
- Chura-Llanos, Luz Satomi, & Zirena Vilca, Franz. (2023). Importancia de las especies longevas cultivadas y los desafíos para su propagación. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25(1), 56-66. <https://dx.doi.org/10.1821/ria.2023.469>.
- Cruz-García, Hermila, Campos Ángeles, Gisela Virginia, Enríquez del Valle, José Raymundo, Rodríguez Ortiz, Gerardo, y Velasco Velasco, Vicente Arturo. (2019). Desarrollo de plantas micropropagadas de *Agave americana* var. *oaxacensis* durante su aclimatización en invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(7), 1491-1503. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1625>.
- Vasconcelos, Sonia & Ruiz-Posadas, Lucero y Moya, Edmundo y Sandoval-Villa, M. & Huerta, Nicacio. (2020). Crecimiento y tasa de intercambio de CO₂ de maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) obtenido por semilla. *Agrociencia*. 54. 911-926. [10.47163/agrociencia.v54i7.2242](https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i7.2242).
- Duryea, M. L. (1984). *Nursery cultural Practices: Impacts on seedling quality*. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. Oregon USA.

- Duryea, M. L. and T. D. Landis. (1984). Forest nursery manual. Production of Bareroot Seedlings. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. Oregon USA. 38 p.
- Enríquez del Valle, José Raymundo, Alcara Vázquez, Sergio Enrique, Rodríguez Ortiz, Gerardo, Miguel Luna, Maura Elisama, y Vázquez, Calep Manuel. (2016). Fertirriego en vivero a plantas de *Agave potatorum* Zucc. micropropagadas-aclimatizadas. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 7(5), 1167-1177. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&=S2007-09342016000501167&lng=es&tlng=es.
- Enríquez del Valle, José Raymundo, Estrada Sillas, Anabey, Rodríguez Ortiz, Gerardo, Velasco Velasco, Vicente Arturo, & Campos Ángeles, Gisela Virginia. (2013). Sustrato y dosis de fertirriego en la aclimatación de vitroplantas de *Agave americana* var. *oaxacencis*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo, 45(2), http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185386652013000200026&lng=es&tlng=es.
- Fernández I., John Cristhian, Bohórquez S., Wilson, y Rodríguez, Alia. (2016). Dinámica nutricional del cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización con N, P y K en vivero. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 10(2), 367-380. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.4702>.
- Flores, P., Ocaña, J., & Sánchez, T. (2018). Verificación de supuestos en las pruebas de comparación de medias. Una revisión. Ciencia Digital, 2(4.1.), 5-22. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.1.187>
- García-Mendoza, A.J. (2011). Agavaceae. Fasc. 88. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Instituto de Biología, UNAM, México, D. F.

- Gayosso-Rodríguez, Salomé, Borges-Gómez, Lizette, Villanueva-Couoh, Eduardo, Estrada-Botello, M. Antonio, & Garruña-Hernández, René. (2016). Sustratos para producción de flores. *Agrociencia*, 50(5), 617-631. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140531952016000500617&lng=es&tlng=es.
- González Pulido, Alina, Rodríguez Trejo, Dante Arturo, Corona Ambríz, Alejandro, y Gil Vera Castillo, José Amando. (2019). Propagación por estacas y calidad de planta en *Acer negundo* L. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(51), 224-243. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.183>.
- Hernández-Ramos, Adrián, Cano-Pineda, Antonio, Flores-López, Celestino, Hernández-Ramos, Jonathan, García-Cuevas, Xavier, Martínez-Salvador, Martin, & Martínez Ángel, Luis. (2019). Modelos para estimar biomasa de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc., en seis municipios de Coahuila. *Madera y bosques*, 25(2), e2521806. Epub. <https://doi.org/10.21829/myb.20192521806>.
- Villalón-Mendoza H., J.C. Ramos-Reyes, J.A. Vega-López, B. Marino, M.A. Muños-Palomino y F. Garza-Ocañas. (2016). Indicadores de calidad de la planta de *Quercus canby* Trel. (encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 12 (1), 46-52.
- International Union for the Conservancy of Nature (IUCN). 1998. 1997 IUCN Red List of threatened plants. Compiled by the World Conservation Monitoring Centre. Walter, K. S. and H. J. Gillett. IUCN - The World Conservation Union, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 862 p.
- INEGI. (1984). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso De Suelo y Vegetación Escala 1:250,000 Serie I, Carta G14-7.

- INEGI. (1998). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Conjunto de Datos Geológicos Vectoriales Escala 1:250,000 Serie I, Carta G14-7.
- INEGI (2002). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Suelos Síntesis de información geográfica del estado de San Luis Potosí. México.
- INEGI. (2007). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Conjunto de Datos Edafológicos Vectoriales Escala 1:250,000 Serie I, Carta G14-7.
- Julca-Otiniano, Alberto, Meneses-Florián, Liliana, Blas-Sevillano, Raúl, & Bello-Amez, Segundo. (2006). La Materia Orgánica, Importancia Y Experiencia De Su Uso En La Agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>.
- Lanuza-Lanuza, Oscar Rafael, Peguero, Guillermo, Vilchez-Mendoza, Sergio, y Casanoves, Fernando. (2021). Efecto del riego y la fertilización sobre la calidad de plántulas forestales con potencial uso para restauración del bosque tropical seco. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 18(43), 18-28. <https://dx.doi.org/10.18845/rfmk.v19i43.5805>.
- León-Sánchez, María Amparo, Reyes Pozo, Jorge Luis, Pérez León, Víctor Ernesto, Bonilla Vichot, Marta, & Herrero-Echavarría, Grisel. (2019). Esbeltez y fertilización mineral en plantaciones de *Pinus caribaea* en Cuba. *Madera y bosques*, 25(2), e2521777. Epub. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521777>.
- LIN, K.-H., WU, C.-W., & CHANG, Y.-S. (2018). Applying Dickson Quality Index, Chlorophyll Fluorescence, and Leaf Area Index for Assessing Plant Quality of *Pentas lanceolata*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(1), 169–176. <https://doi.org/10.15835/nbha47111312>.
- Marcano, Guillermo & Silva_Acuña, Ramón. (2023). Crecimiento y calidad en plántulas de moringa podadas y producidas en casa de cultivo. *Zootecnia Tropical*. 72. 1.

- Matuda E. y I. Piña. (1980). Las plantas mexicanas del género *Yucca*. Libros de México. 164 p.
- Martínez-Reyes, Magdalena, Pérez-Moreno, Jesús, Villarreal-Ruiz, Luis, Ferrera-Cerrato, Ronald, Xoconostle-Cázares, Beatriz, Vargas-Hernández, J. Jesús, y Honrubia-García, Mario. (2012). Crecimiento y contenido nutrimental de *Pinus greggii* Engelm. inoculado con el hongo comestible ectomicorrízico *Hebeloma mesophaeum* (Pers.) Quél. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 18(2), 183-192. <https://doi.org/10.5154/r.rchs.cfa.2010.11.112>.
- Massa, A., Quagliariello, R. G., Martinengo, N., Villagra, P. E., Calderón, A., & Pérez, S. (2023). Determinación del crecimiento e índice de esbeltez en algarrobo dulce, según el Porcentaje de vermicompostado en el sustrato y procedencia de semillas. Congreso forestal argentino. Web.
- Meza-Cota, Ana Bertha, Vargas-Hernández, J. Jesús, Vázquez-Badillo, Mario Ernesto, Villarreal-Quintanilla, José Ángel, López-Aguillón, Ricardo, & Flores-López, Celestino. (2022). Morfología, calidad de semillas y plántulas de *Yucca endlichiana* e implicaciones en su conservación. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 9(1), e2834. Epub. <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.2834>.
- Morales-Hernández, Jesús, Gómez Romero, Mariela, Velázquez Becerra, Crisanto, & Ambriz Parra, Enrique. (2016). Variación de la distribución de carbono entre la raíz y la parte aérea en tres especies de pino. Revista mexicana de ciencias forestales, 7(38), 59-66. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sciarttext&pid=S2007-11322016000600059&lng=es&tlng=es>.
- Negreros-Castillo, Patricia, Apodaca-Martínez, Maribel, & Mize, Carl W. (2010). Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y

roble. Madera y bosques, 16(2), 7-18. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712010000200001&lng=es&tlng=es.

Pellmyr, O., K. A. Segraves, D. M. Althoff, M. Balcázar-Lara, J. Leebens-Mack. (2007). The phylogeny of yuccas. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 43:493–501.

Pérez-de-los-Reyes, C., Pérez-de-los-Reyes, M. L., Chocano, D., Sánchez-Ormeño, M., Bravo, S., Amorós, Á. J., y García Navarro, F. J. (2018). Estudio de las propiedades de retención de humedad de suelos vitícolas en Castilla-La Mancha (España). *E3S Web of Conferences*, 50, 01034. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185001034>.

Piña, Luján, I., 1984 Las Plantas del Género *Yucca* de la Baja California, Primera Reunión Nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de las Plantas Útiles del Desierto, Memoria del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, SARH, Monterrey, NL, México, pp. 125–129.

Quiñones-Aguilar, Evangelina Esmeralda, Montoya-Martínez, Amelia Cristina, Rincón-Enríquez, Gabriel, & López-Pérez, Luis. (2023). Inoculación de bulbilos de *Agave tequilana* con hongos micorrízicos arbusculares: efecto en el crecimiento y biocontrol contra *Fusarium oxysporum*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), e3043. Epub. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1a_rt:3043.

Ramírez-Tobías, Hugo Magdaleno, Peña-Valdivia, Cecilia B., & Aguirre, J. Rogelio. (2014). Respuestas bioquímico-fisiológicas de especies de *Agave* a la restricción de humedad. *Botanical Sciences*, 92(1), 131-139., de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200742982014000100011&lng=es&tlng=es.

Reyes-Reyes, J., Pimienta de la Torre, D. de J., Rodríguez Morales, J. A., Fuentes Pérez, M. A., & Palomeque Figueroa, E. (2018). Calidad de planta de *Gmelina*

arborea Roxb. producida con diferentes mezclas de sustratos en vivero. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 9(47), 111–130. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.163>.

Ríos-Ramírez, Suzel del Carmen, Enríquez-del Valle, José Raymundo, Rodríguez-Ortiz, Gerardo, Ruíz-Luna, Judith, y Velasco-Velasco, Vicente Arturo. (2021). El crecimiento de *Agave angustifolia* Haw. con relación a la condición nutrimental. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(5), 865-873. Epub. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2638>.

Rosales Mata, S., Sigala Rodríguez, J. A., & Bustamante García, V. (2013). Producción y trasplante de planta de *Agave* en vivero (Folleto Técnico Núm. 70). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Rueda-Sánchez, Agustín, Benavides Solorio, Juan de Dios, Prieto-Ruiz, J. Ángel, Sáenz Reytez, J. Trinidad, Orozco-Gutiérrez, Gabriela, & Molina Castañeda, Alicia. (2012). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(14), 69-82., http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322012000600006&lng=es&tlng=es.

Rueda-Sánchez, Agustín, Benavides-Solorio, Juan de Dios, Saenz-Reyez, J. Trinidad, Muñoz Flores, Hipólito Jesús, Prieto-Ruiz, J. Ángel, & Orozco Gutiérrez, Gabriela. (2014). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(22), 58-73. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200711322014000200005&lng=es&tlng=es.

Rzedowski. (2006). *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 502 p. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf

- Sánchez-Aguilar, Hotón, Aldrete, Arnulfo, Vargas-Hernández, Jesús, y Ordaz-Chaparro, Víctor. (2016). Influence of container type and color on seedling growth of pine in nursery. *Agrociencia*, 50(4), 481-492.
- Sánchez, Alfonso, Coronel-Lara, Zelenia, Gutiérrez, Aldo, Vargas, Georgina, Coronado, Martha L., y Esqueda, Martín. (2020). Aclimatación y trasplante de vitroplantas de *Agave angustifolia* Haw. en condiciones silvestres. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2403>.
- Santacruz-Ruvalcaba, F., Castañeda-Nava, J. J., Villanueva-González, J. P., García-Sahagún, M. L., Portillo, L., & Contreras-Pacheco, M. L. (2022). Micropropagación de *Agave maximiliana* Baker por proliferación de yemas axilares. *Polibotánica*, (54), 139-151. Epub. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.54.9>.
- SAS Institute Inc. (2004). SAS/STAT User's Guide (Vol. 3, Ch. 13). Obtenido de https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc_91/stat_ug_7313.pdf.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional Forestal SEMARNAT-CONAFOR (2013). Inventario Forestal y de Suelos del Estado de Coahuila (1st ed., p. 140). Gobierno del Estado de Coahuila. ISBN 978-6078383009. https://transparencia.cnf.gob.mx/filesconafor/userfiles/IEFYs/IEFYs_Coahuila_2013/IEFYs_Coahuila_2013.pdf.
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. México. Segunda edición 2010. 52 p.

- Sehnen, Clenilso & Silva, Fabiano & Dornelles, Paulo & Costa, Alan & Araujo, Eduard & Mendes, Giselle. (2016). Use of physiological parameters to assess seedlings quality of *Eugenia dysenterica* DC. grown in different substrates. Australian Journal of Crop Science. 10. 842-851.10.21475/ajcs.2016.10.06.p7501.
- Soto Bravo, F., Araya Cubero, E. A., & Echandi Gurdian, C. (2019). Efecto de la densidad de siembra y volumen de sustrato sobre parámetros de riego y rendimiento de chile dulce Dulcítico, en hidroponía bajo invernadero. Agronomía Costarricense, 44(1). <https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.40001>.
- Trinidad-Santos, A. (2018). Importancia de la materia orgánica en el suelo. Agro Productividad, 9(8). <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/802>.
- Villarreal-Quintanilla, J. A., J. A. Bartolomé-Hernández, E. Estrada-Castillón, H. Ramírez-Rodríguez y S. J. Martínez-Amador. 2017. El elemento endémico de la flora vascular del Desierto Chihuahuense. Acta botánica mexicana 118: 65-96. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/abm118>. 2017.1201.
- Villaseñor, José Luis. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. Revista mexicana de biodiversidad, 87(3): 559-902.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., y Ye, K. (2012). Introducción a la estadística (9th ed.).(pp. 561-575) Pearson Educación.
- Yescas-Arreola, Elvia, Campos Ángeles, Gisela V., Enríquez del Valle, José Raymundo, Velasco Velasco, Vicente A., Rodríguez Ortiz, Gerardo, y Ruiz Luna, Judith. (2016). Aclimatación de *Agave americana* var. *oaxacensis* obtenidas in vitro. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 7(4), 911-922., http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000400911&lng=es&tlng=es.

8 ANEXOS

Anexo 1. Variables de evaluación de cada planta de *Yucca endlichiana*.



Anexo 2. Evaluación de variables para determinar el índice de Dickson de *Yucca endlichiana*.



Anexo 3. Cepellón de planta de *Yucca endlichiana* una vez retirada la bolsa de polietileno negro.



Anexo 4. Planta de *Yucca endlichiana* en agua para retirar el sustrato.



Anexo 5. Plantas de *Yucca endlichiana* sin sustrato.



Anexo 6. Evaluación de peso verde total de la planta completa de *Yucca endlichiana*.



Anexo 7. Evaluación de peso verde de la parte aérea de *Yucca endlichiana*.



Anexo 8. Evaluación de peso verde de la parte radical de *Yucca endlichiana*.



Anexo 9. Plantas de *Yucca endlichiana* en bolsas de papel Kraft.



Anexo 10. Estufa *Thermo Scientific* a 105°C para el secado de plantas de *Yucca endlichiana*.



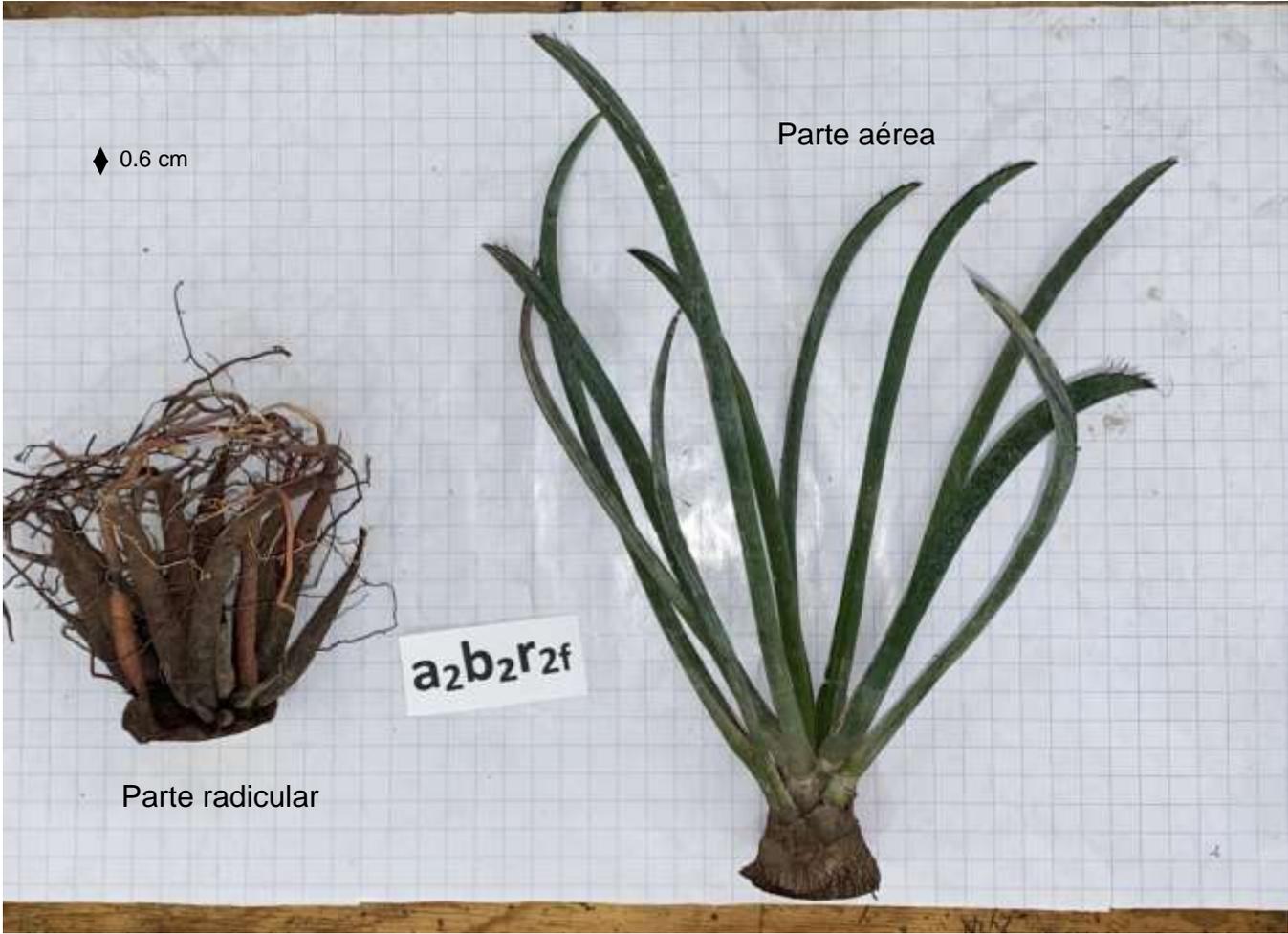
Anexo 11. Evaluación de peso seco de la parte aérea de *Yucca endlichiana*.



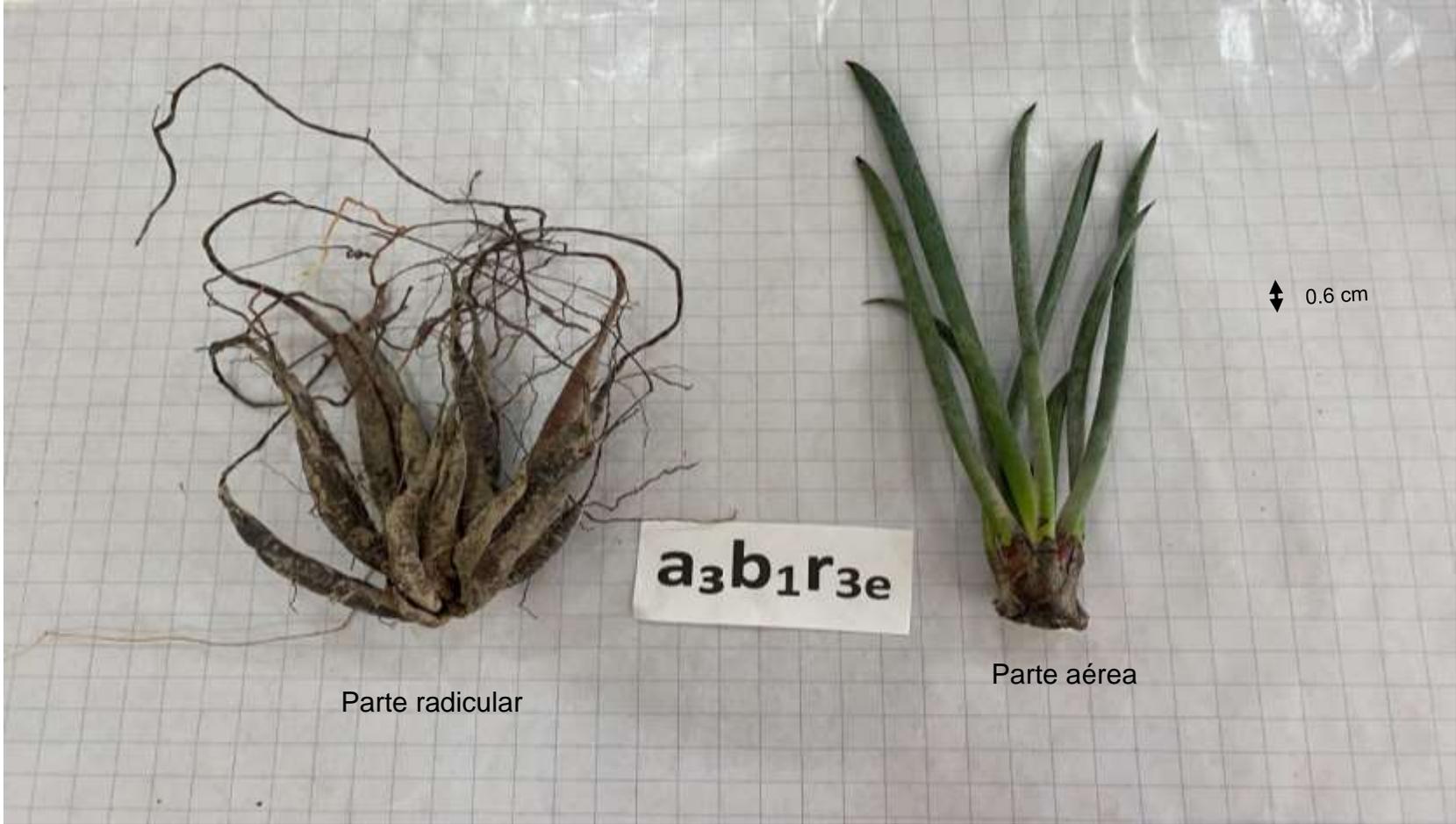
Anexo 12. Evaluación de peso seco de la parte radical de *Yucca endlichiana*.



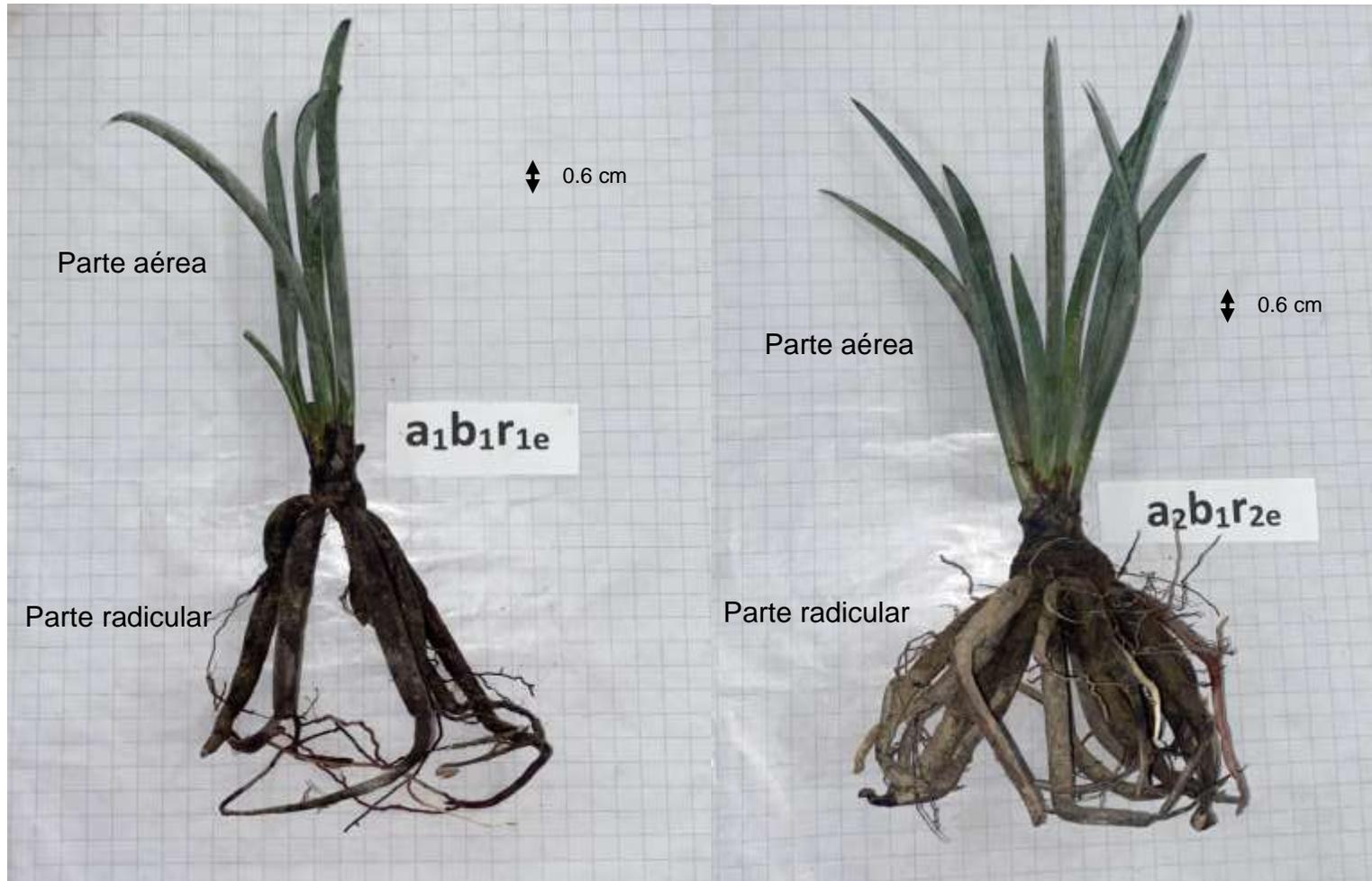
Anexo 13. Planta de *Yucca endlichiana* con su sistema radical separado para evaluar el índice de Dickson. Esta planta fue desarrollada en el sustrato de mezcla forestal de la población el Dorado.



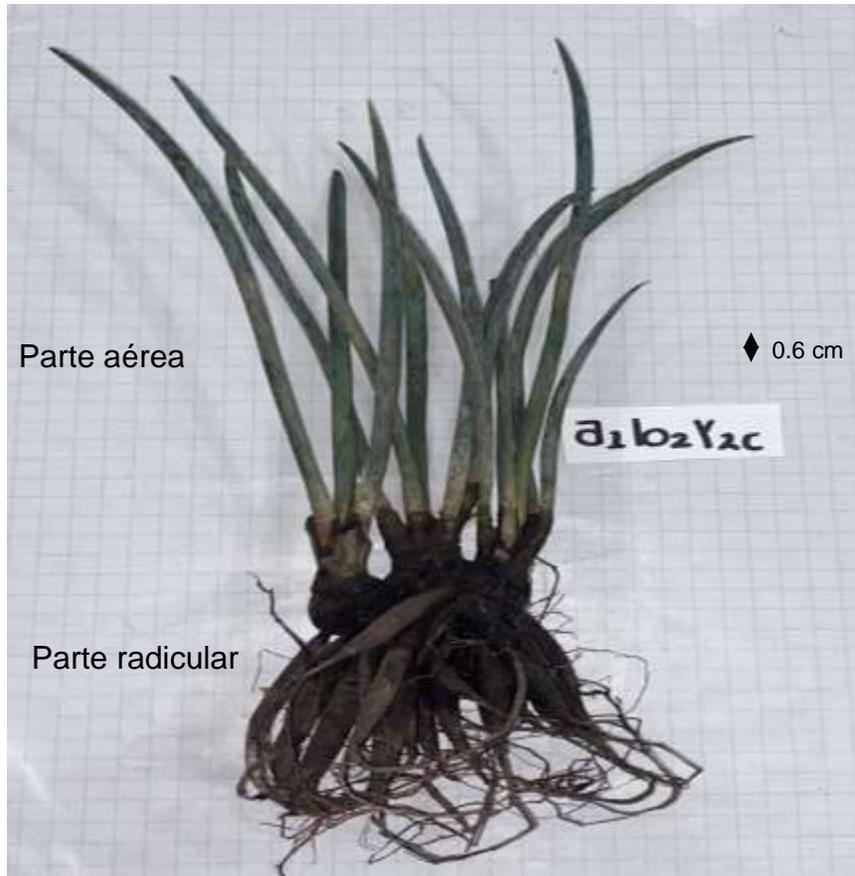
Anexo 14. Planta de *Yucca endlichiana* con su sistema radical separado para evaluar el índice de Dickson. Esta planta fue desarrollada en el sustrato de origen de la población el Jaral.



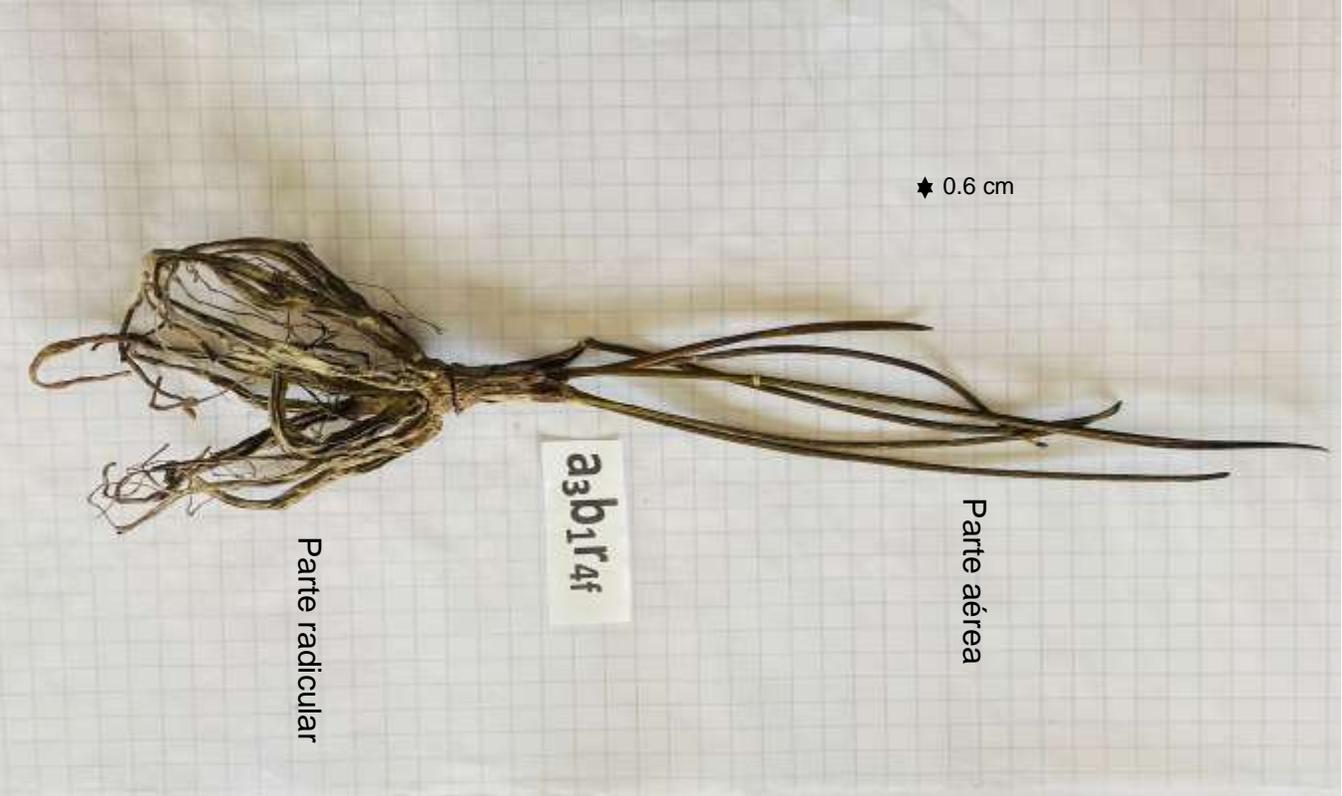
Anexo 15. Plantas de *Yucca endlichiana* con su sistema radical. A1b1r1e que corresponde a suelo de origen de la población las Coloradas. La repetición A2b1r2e que corresponde a suelo de origen de la población el Dorado.



Anexo 16. Plantas de *Yucca endlichiana* con su sistema radical. A1b2r2c que corresponde a suelo de la mezcla forestal de la población las Coloradas.



Anexo 17. Plantas de *Yucca endlichiana* con su sistema radical. A3b1r4f que corresponde a suelo de origen de la población las Coloradas.



Anexo 18. Plantas de *Yucca endlichiana* con su sistema radical. A3b1r4f que corresponde a suelo de origen de la población el Jaral.

