

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Variación Morfológica de Conos y Semillas de Cuatro Poblaciones de
Pinus nelsonii Shaw en Nuevo León y Tamaulipas

Por:

ITZEL SOLIS ESPAÑA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Variación Morfológica de Conos y Semillas de Cuatro Poblaciones de
Pinus nelsonii Shaw en Nuevo León y Tamaulipas

Por:

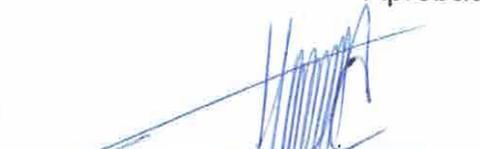
ITZEL SOLIS ESPAÑA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

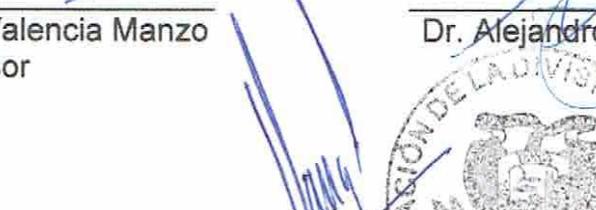
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal


M.C. Adrián Hernández Ramos
Asesor Principal Externo


M.C. Salvador Valencia Manzo
Coasesor


Dr. Alejandro Zárate Lupercio
Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2023

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor, quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir la 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 (cortar y pegar); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (autoplagio); comprar, robar o pedir prestado los datos o 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



Itzel Solis España

Matrícula: 41182801

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 mi padre el señor Hermilo Solis Hernández y a mi madre la señora Julia España Cordero, por todo su apoyo y amor que he han dado hasta el día de hoy, por los sacrificios que realizaron para que logaran mi formación. Gracias darme los ánimos para seguir adelante y apoyar cada uno de los proyectos de mi vida.

A mi hermano David Solis España, por demostrarme siempre su apoyo y su cariño, por ser mi cómplice en cada una de mis aventuras.

Al Ing. José Antonio Álvaro Méndez, por todo el cariño que me ha brindado, por él apoyo que me ha dado, por nunca dejarme sola, por confiar en mí y darme ánimos para seguir siempre adelante.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida, la fuerza y la salud para salir adelante y cumplir cada uno de mis sueños y metas.

A mi familia que son la razón por la cual me esfuerzo cada día de mi vida.

A mis amigas Jessica Nava, Karen Santiago y Marilyn Hurtado, por todos los momentos que compartimos juntas, las alegrías e incluso las tristezas, porque más que amigas se convirtieron en familia.

Al Dr. Celestino Flores López, por todo el apoyo brindado para la ejecución y la revisión de este trabajo. Gracias por compartir sus conocimientos y brindarme su apoyo incondicional.

M.C. Adrián Hernández Ramos, quien apoyo en la revisión, brindando consejos para mejorar este trabajo y por compartir un poco de sus amplios conocimientos.

Dr. Alejandro Zárate Lupercio, por haber aceptado ser mi coasesor y brindado su apoyo en la revisión de este trabajo.

M.C. Salvador Valencia Manzo, por haber aceptado ser mi coasesor y por la revisión de este trabajo, por medios de la aportación de sus conocimientos.

A todas las personas que me apoyaron de forma directa e indirectamente para la realización de este trabajo.

Al departamento Forestal y a cada uno de sus integrantes, los cuales formaron parte de mi formación académica, tanto a los docentes como al personal que labora en él.

A mi Alma Terra Mater la Universidad Autónoma Antonio Narro, por brindarme la oportunidad de prepararme profesionalmente y por darme una familia que me acompaña durante mi formación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos e hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Los pinos piñoneros de México	5
2.2 Descripción de <i>Pinus nelsonii</i> Shaw.....	6
2.3 Variación genética	7
2.4 Variación morfológica.....	8
2.5 Estudios de variación morfológica	9
2.6 Análisis multivariante.....	12
2.6.1 Análisis de componentes principales	12
2.6.2 Análisis de correlación canónica.....	13
3.MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Descripción del área de estudio	15
3.2 Características ecológicas	17
3.3 Selección del arbolado y colecta de conos	17
3.4 Evaluación de variables morfológicas de conos, semillas y escamas	18
3.5 Análisis estadístico	21
3.6 Análisis de componentes principales	22
3.7 Análisis de discriminación canónica.....	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25

4.2 Componentes principales.....	28
4.3 Discriminación canónica.....	32
5. CONCLUSIONES.....	37
6. RECOMENDACIONES.....	38
7. LITERATURA CITADA.....	39

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Estudios de variación morfológica en coníferas.....	11
Cuadro 2. Características ecológicas de las poblaciones de <i>P. nelsonii</i> en el norte de México.....	16
Cuadro 3. Variables morfológicas de conos, escamas y semillas de <i>P. nelsonii</i> , de cuatro poblaciones al noreste de México.....	27
Cuadro 4. Matriz de correlación de los eigenvalores de <i>P. nelsonii</i>	28
Cuadro 5. Relación de variables con los componentes principales para <i>P. nelsonii</i>	30
Cuadro 6. Análisis canónico de la evaluación morfológica de cono, escamas y semillas de <i>P. nelsonii</i>	32
Cuadro 7. . Coeficientes canónicos brutos empleados para el cálculo de las funciones canónicas de conos y semillas de cuatro poblaciones de <i>P. nelsonii</i> del norte de México.	34
Cuadro 8. Centroides de las poblaciones de cuatro poblaciones de <i>P. nelsonii</i>	34
Cuadro 9. Distancia cuadrada de Mahalanobis de cuatro poblaciones de <i>P. nelsonii</i>	35

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación de las poblaciones de <i>P. nelsonii</i> en el norte de México.....	15
Figura 2. Variables morfológicas evaluadas de conos de <i>P. nelsonii</i>	19
Figura 3. Variables morfológicas evaluadas para escamas de <i>P. nelsonii</i> , escala 1:1.....	20
Figura 4. Variables morfológicas evaluadas para semillas de <i>P. nelsonii</i>	21
Figura 5. Gráfica con el número de componentes principales para determinar las variables que aportan mayor diferenciación en el análisis de cono, semillas y escamas, para las cuatro poblaciones de <i>P. nelsonii</i> del noreste de México.....	29
Figura 6. Gráfica comparativa del componente 1 y el componente 2, para las cuatro poblaciones de <i>P. nelsonii</i> del noreste de México	31
Figura 7. Función canónica 1 y 2, para las cuatro poblaciones de <i>P. nelsonii</i> del noreste de México.....	36

RESUMEN

La comprensión de la variación morfológica es de importancia para comprender la respuesta de una especie. De ahí radica el interés de los estudios en relación con la variación morfológica, ya que permiten hacer la diferenciación entre poblaciones de una misma especie y conocer cuáles son las características que permiten hacer la diferenciación o cuales son las que aportan más a esta diferenciación. El objetivo de este trabajo es el describir las características morfológicas de cuatro poblaciones de *Pinus nelsonii* Shaw en Nuevo León y Tamaulipas.

La colecta fue realizada en el mes de septiembre del año 2016, por medio del método de escalado de árboles, colectando una cantidad variable de conos de cada población- para la población Joyas de San Lázaro (JSL) se realizó la colecta en 35 árboles obteniendo 219 conos, para el caso de la población de Miquihuana (M) se hizo la colecta en 42 árboles obteniendo un total de 363 conos , para la población Las Antonias (AN) se realizó la colecta en 37 árboles obteniendo 265 conos y por último la población Felipe Ángeles (FA) se hizo la colecta en 29 árboles obteniendo un total de 141 conos. Se realizó la medición de tres variables de conos, tres variables de semillas y nueve variables de escamas. Se implementó un análisis multivariado con ayuda del paquete estadístico SAS 9.0 por medios de la técnica de análisis de componentes principales. Se utilizó un análisis de discriminación canónica para saber si existe discriminación dentro de las poblaciones en base a Lambda Wilks y la distancia de Mahalanobis.

Se creó una descripción morfológica de conos, escamas y semillas, distinta a la descrita por el autor original. Las variables que más aportaron a la diferenciación de las poblaciones son las de las escamas. De acuerdo con el estadístico de Lambda Wilks entre las poblaciones existe un valor discriminante, siendo Las Antonias la que más se separa, mientras que Miquihuana y Felipe Ángeles son las más cercanas. La distancia de Mahalanobis muestra que no es posible hacer la separación de las poblaciones, ya que los centroides están muy cercanos.

Palabras clave: Componentes principales, Discriminación canónica, Distancia de Mahalanobis, Lambda Wilks.

ABSTRACT

The understanding of morphological variation is of importance to understand the response of a species. This is the reason for the interest of studies related to morphological variation, since they allow differentiation between populations of the same species and to know which are the characteristics that allow differentiation or which are the ones that contribute more to this differentiation. The objective of this work is to describe the morphological characteristics of four populations of *Pinus nelsonii* Shaw in Nuevo León and Tamaulipas.

The collection was carried out in the month of September 2016, by means of the tree scaling method, collecting a variable amount of cones from each population - for the Joyas de San Lázaro (JSL) population, the collection was carried out in 35 trees obtaining 219 cones, For the population of Miquihuana (M), 42 trees were collected, obtaining a total of 363 cones, for the population of Las Antonias (AN), 37 trees were collected, obtaining 265 cones, and finally, for the population of Felipe Ángeles (FA), 29 trees were collected, obtaining a total of 141 cones. Three cone variables, three seed variables and nine scale variables were measured. A multivariate analysis was implemented using the SAS 9.0 statistical package by means of the principal component analysis technique. A canonical discrimination analysis was used to find out if there is discrimination within populations based on Lambda Wilks and Mahalanobis distance.

A morphological description of cones, scales and seeds, different from that described by the original author, was created. The variables that contributed most to the differentiation of the populations are those of the scales. According to the Lambda Wilks statistic between populations there is a discriminant value, with Las Antonias being the most separated, while Miquihuana and Felipe Ángeles are the most perishable. The Mahalanobis distance shows that it is not possible to separate the populations, since the centroids are very close.

Keywords: Principal components, Canonical discrimination, Mahalanobis distance, Lambda Wilk

1. INTRODUCCIÓN

Norteamérica es reconocida por tener tres regiones de alta diversidad de especies de pinos las cuales son las siguientes: 1) México, 2) California y 3) sureste de EUA (Farjon y Styles, 1997). Con respecto a la primera región, México tiene una amplia variedad de pinos los cuales son gran importancia ecológica, económica y social; tiene un alto valor económico, dado que son fuente de madera, leña, pulpa, resinas, semillas comestibles, entre otros. Además, ofrecen servicios ambientales como la producción de oxígeno, la recarga de acuíferos, espacios de recreación, captura de carbono e influyen en el clima regional (García-Arévalo y González-Elizondo, 2003; Ramírez-Herrera *et al.*, 2005).

Dentro de la gran variedad de pinos que hay en México, se encuentra un grupo de pinos conocidos como piñoneros los cuales producen semillas comestibles, existen de ocho a quince pinos piñoneros los cuales se distribuyen en los estados del centro y norte del país (Perry, 1991; Farjon *et al.*, 1997). Los bosques de pinos piñoneros se encuentran confinados a las faldas de las serranías, casi siempre en lugares de transición entre bosque templado y matorrales xerófilos (Granados *et al.*, 2012).

Debido a que existe escases de recursos forestales en las zonas áridas y semiáridas, los bosques de pinos piñonero se han visto afectados por siglos por diferentes actividades humanas, como lo son: incendios forestales, sobreexplotación, cambio de uso de suelo, depredación y recolección excesiva de los piñones, entre otros (Carrillo-Flores, 2009).

Por lo anterior en la región Norte del país, especialmente en el Sierra Madre Oriental se distribuyen cuatro especies de pinos piñonero de importancia, debido a que su distribución es limitada: *Pinus cembroides* Zucc, *P. nelsonii* Shaw, *Pinus pinceana*

Gord. y *P. culminicola* Andresen & Beaman, de estas cuatro especies *P. nelsonii* y *P. pinceana* se consideran especies endémicas de México (García-Moya, 1985).

P. nelsonii especie endémica de México, tiene una distribución restringida al Norte de México, en las zonas áridas y semiáridas, las poblaciones se encuentran dispersas a lo largo de la Sierra Madre Oriental y en algunos casos las poblaciones de *P. nelsonii* pueden encontrarse asociadas con *P. cembroides*, *Pinus johannis* M.-F. Robert-Passini y *Juniperus* spp (Perry, 1991). En consecuencia, esta especie de pino piñonero se encuentra catalogada como una especie en peligro de extinción por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (Alanís-Flores *et al.*, 2004). La descripción de esta especie fue realizada por G. R. Shaw entre los años 1904-1905 basándose en la colecta realizada por Edward W. Nelson en junio de 1898 cerca de la frontera del estado de Nuevo León y del municipio de Miquihuana en el estado de Tamaulipas; la palabra *nelsonii* es honor a este naturalista (Farjon y Styles, 1997; Estrada-Castillón *et al.*, 2014). De acuerdo a lo anterior, es de importancia describir la variación morfológica de las especies, ya que es uno de los aspectos para hacer una mejor descripción de cada especie y diferenciar a sus poblaciones. Para medir la variación es necesario conocer el origen y las fuentes de la diversidad. Las características morfológicas se puede conocer la variabilidad que puede existir, la estructura genética de una población y cuáles son las herramientas metodológicas más convenientes, al igual que nos permite saber cuáles son los análisis estadísticos y los estimadores que más se adecuen según sea el objetivo del estudio (Chávez, 2003). Agregado a lo anterior los análisis de conos y semillas permiten evaluar características tanto físicas como biológicas de una población, así mismo el desarrollo de estudios de variación han fomentado la conservación de bosques y permiten establecer estrategias para la búsqueda de un aumento rentable de semillas (Berrera-Ramírez *et al.*, 2021). De la misma manera la información que se genera al evaluar los diferentes aspectos morfológicos es posible medir su variación genética o conocer que tan variable es. Una de las herramientas más útiles para evaluar al germoplasma son las técnicas estadísticas

multivariadas, ya que básicamente permiten describir o agrupar un conjunto de variables, tomando en cuenta la similitud, esto sin dejar de considerar la relación que existe entre todas las variables del estudio (Rojas, 2003).

Con base a lo anterior el propósito de este estudio fue realizar un análisis de las variables morfológicas conos, escamas y semillas de *P. nelsonii* de cuatro poblaciones en el estado de Tamaulipas y Nuevo León, a través de la implementación de técnicas de estadística multivariada.

1.1 Objetivos e hipótesis

Objetivo general

Realizar un análisis descriptivo de las variables morfológicas de conos y semillas de *P. nelsonii* en cuatro poblaciones de los estados de Tamaulipas y Nuevo León, a través de técnicas de estadística multivariada.

Objetivos específicos:

1. Comparar las características morfológicas de conos, escamas y semillas de las poblaciones evaluadas con la descripción taxonómica actual.
2. Estimar cual es la variable que aporta el mayor porcentaje de variación para diferenciar las cuatro poblaciones de *P. nelsonii*.
3. Determinar si al menos una población evaluada se puede discriminar.

Hipótesis

H₀: La suma de los primeros dos componentes no aporta el 70% de la variación

H_a : La suma de los primeros dos componentes aporta al menos el 70% de la variación.

H_0 : Ninguna población se discrimina del resto en base en el valor de Lambda Wilks y la distancia de Mahalanobis.

H_a : Al menos una población se discrimina del resto con base en el valor de Lambda Wilks y la distancia de Mahalanobis.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Los pinos piñoneros de México

Las coníferas son un grupo de árboles o arbustos que puede ser dioicos o monoicos, presentan una corteza lisa o rugosa. Presentan ramas laterales bien desarrolladas. Tiene hojas simples y pueden tener forma de agujas, escamas, lineares, lanceoladas y en ocasiones puede ser oblongas o falcadas, las hojas por lo general son persistentes por más de un año. Por lo general presentan canales resiníferos en la madera, en la corteza, las hojas y/o en los conos. Los conos de este grupo son microesporangiados (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014).

Dentro de este grupo se encuentra el género *Pinus* el cual pertenece a la familia de las pináceas, se caracteriza por tener hojas secundarias aciculares, las cuales se encuentra agrupada en fascículos de dos a ocho, en ramificaciones de entrenudos breves y de crecimiento acotado, escamas leñosas y cada escama lleva dos óvulos y su porción apical, engrosada, la cual se denomina apófisis (Hurrell y Bazzano, 2007). México es el segundo centro de diversificaciones del género *Pinus*, con 49 especies de las 120 que existen en el mundo, teniendo así un 40 % de las especies del mundo (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014).

Dentro de este género existen un grupo de *Pinus*, los cuales se lo conoce como piñoneros, a este grupo se le caracteriza porque sus semillas son comestibles, no presentan alas, por lo cual su dispersión es por medios de aves o algún otro animal y su distribución va desde el centro al norte del país (Perry, 1991; Farjon *et al.*, 1997). Los bosques de pinos piñoneros se encuentran confinados a las faldas de las serranías, casi siempre en lugares de transición entre bosques templado y matorrales xerófilos (Granados *et al.*, 2012). A consecuencia de esto, varias de las especies de pinos piñoneros se encuentran dentro en la lista de las especies en

peligro de extinción en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (Alanís-Flores *et al.*, 2004), dentro de estas especies una de las que más resalta es *P. nelsonii*.

A pesar de que la capacidad productiva de los bosques de pino piñonero es limitada, estos bosques aportan materiales, los cuales son de importancia para diversos usos de muchas de las localidades rurales; de estos bosques se obtiene semillas las cuales son comestibles, leña, resinas, postes, madera para la construcción de casa y muebles (Caballero y Ávila, 1989).

2.2 Descripción de *Pinus nelsonii* Shaw

P. nelsonii es un árbol pequeño con tronco recto, de 5 a 10 metro de altura, copa amplia de numerosas ramas delgadas ligeramente erectas u horizontales. La corteza es delgada, de color gris claro y lisa cuando el árbol es joven y se torna escamosa con placas delgadas y toma un color café con la edad. Las ramillas son delgadas, rígidas, erectas, con la base de las hojas (de los fascículos) pequeña, algunas ocasiones son de color glauco a blanco grisáceo, fascículos extendidos o erectos, persistentes por 2 o 3 años. Las acículas se encuentran en fascículos de cuatro, no se separan hasta poco antes de que el fascículo esté por caer, su longitud es de 4 a 8 cm (siempre menos a diez cm) y tiene un ancho de 0.7 a 0.8 mm, son rectas, curvadas o torcidas y de color verde oscuro. Conos femeninos solitarios o en pares (en los árboles jóvenes se suelen desarrollar en el tronco principal), de color café-rojizo oscuro, con pedúnculos muy largos curvados y persistentes, quedando adherido al árbol cuando los conos caen. Escamas de los conos de 60 a 100 piezas, de forma ovoide, se abren ligeramente para poder liberar las semillas, apófisis gruesa, irregular, levantada, umbo triangular y en algunas ocasiones con una pequeña espina débil. Semillas de forma ovoide a oblonga, de entre 12 a 15

mm de largo y 8 a 10 mm de ancho, tiene una testa dura y sin ala (Farjon *et al.*, 1997; Estrada-Castillón *et al.*, 2014).

Su distribución está restringida desde el sur de Nuevo León hasta el oeste de Tamaulipas y el estado de San Luis Potosí. Se encuentra a una altitud de 1600 a 2800 msnm. Habita en suelo calcáneo de color blanco en las partes bajas de la Sierra Madre Oriental, se encuentra en los ecotonos de vegetación de matorral y chaparrales de encino y asociada con *P. cembroides*, *P. johannis* y *Juniperus* spp (Perry, 1991).

2.3 Variación genética

De acuerdo con Alía *et al.* (2003) la alta variabilidad genética de las especies forestales es por causas de los procesos de adaptación que han tenido las especies ante diversos factores bióticos y abióticos extremos y que aseguran la persistencia de las especies frente a los riesgos a los que se encuentra sometidas. Las causas de la variación genética dentro de las especies forestales son por causa de la distribución geográfica y a las características del ambiente.

La variación genética que puede existir entre los individuos de las poblaciones se debe a las diferencias en la información genética que se encuentra contenida en las células. Esta variación se encuentra separada en componentes aditivos y no aditivos. Desde el punto de vista de mejoramiento genético, los componentes aditivos son transferidos de generación en generación vía sexual, este componente es el más importante, ya que de éste depende las características de las especies. Mientras que los componentes no aditivos, se encuentran constituidos por afectos de la interacción alélica y entre loci (Sotolongo *et al.*, s.f.).

Las especies forestales tienen una vida muy prolongada, muy heterocigóticas y han sido capaces de desarrollar mecanismos naturales para poder mantener altos niveles de variación intraespecífica, como el cruzamiento lejano y la dispersión del polen y de las semillas en una extensión amplia. El desarrollo de estos mecanismos y en combinación del ambiente natural, contribuyen a la evolución de las especies. La variación genética intraespecífica es importante para lograr la futura adaptación de las especies, y para hacer posible los distintos programas de selección y de mejoramiento genético. La variación genética puede ser evaluada por diversas técnicas. Esto puede ser a través de estudiar caracteres morfológicos y ensayo de campo o con marcadores bioquímicos y moleculares. La forma en la cual se mide la variación genética es a través de la diversidad de genes, la heterocigocidad, o el número de alelos por locus (Grauda *et al.*, 2007).

2.4 Variación morfológica

Según Chávez (2003), uno de los aspectos más importantes a la hora de hacer la caracterización de una especie son sus atributos morfológicos, el origen y la fuente de la diversidad. Se entiende como variación morfológica a las diferencias de características que tienen los individuos de una población, en relación con el fenotipo de una especie, las características que lo conforman corresponden a las características morfológicas. Estas características se denominan descriptores morfológicos y se agrupan en dos grupos: botánicos-taxonómicos y morfoagronómicos (Hidalgo, 2003).

La caracterización de una especie es estimada por medio de la variabilidad que puede existir dentro del genoma. El genoma de una especie contiene la información codificada de los genes de una especie, los cuales son necesarios para establecer la identidad morfológica, para desarrollar todos los procesos y las funciones para su supervivencia. La caracterización morfológica es la determinación de los diferentes

caracteres por medio de la utilización de descriptores los cuales permiten hacer la diferenciación taxonómica (Hidalgo, 2003).

Es de importancia el identificar marcadores morfológicos, los cuales permitan hacer la diferenciación dentro de una especie, ya que algo de estos marcadores pueden tener valor adaptativo, los cuales son útiles para el manejo, aprovechamiento y conservación de los recursos genéticos de la especie (Escobar-Alonso *et al.* 2023).

El análisis de la variabilidad morfológica no es un proceso único y éste puede tener diferentes finalidades, alguno de los objetivos que puede tener es describir la estructura de una población, medir la variabilidad de una colección, identificar duplicados y detectar combinaciones y características particulares de un individuo (Segura, 2003).

2.5 Estudios de variación morfológica

Los estudios que se han realizado acerca de variación morfológica principalmente van enfocados a conos y semillas, principalmente a longitud y ancho del cono, largo, grueso y peso de las semillas y dentro de los pocos estudios que hay acerca de las características de las acículas, están enfocados a los fascículos, a la longitud de la acícula y diámetro de las acículas.

De acuerdo con Escobar-Alonso *et al.* (2023) en su estudio de potencial de caracteres morfológicos de acículas y conos en la identificación de variedades de *Pinus pseudostrobus* Lindl, las variables forman de la acícula, longitud de la vaina, número de acículas, número de intrusiones de la hipodermis en el endodermo y la proporción de los canales resiníferos son características las cuales resultaron significativas. Aunado a esto el número de estomas y de células endodérmicas

asociadas al tamaño del haz vascular son de utilidad al momento de hacer la distinción de variedades. La unión de las características de cono y acículas aumenta la precisión al momento de distinguir la variedad.

Las características tanto anatómicas como morfológicas que tengan las acículas, han sido utilizadas ampliamente para distinguir adaptaciones dentro de las especies en condiciones ambientales y en algunas ocasiones ha sido empleadas para identificar o diferenciar especies de un mismo género, especies que son similares principalmente en el género *Pinus* (Köbölkuti *et al.*, 2017).

La implementación del análisis multivariado es una herramienta poderosa para la toma de decisiones, ya que da respuestas que son palpables e identificables (Gonzales, 2008). Ya que esta herramienta permite hacer un resumen de grandes cantidades de datos por medio de parámetros (Peña, 2002). El análisis multivariado tiene como objeto el estudio estadístico de diferentes variables medidas de una población. Este análisis puede resumir un conjunto de datos en pocas variables nuevas construidas con base en las variables originales con la mínima pérdida de información, además puede encontrar grupos de datos, clasificar nuevas observaciones en grupos definidos y relacionar dos conjuntos de variables (Peña, 2022). El análisis multivariante se centra en la búsqueda de la relación que puede existir entre las variables, la unidad experimental y la respuesta que hay entre la variable con la unidad experimental (Dallas, 1998).

En el Cuadro 1 se muestran los principales estudios que se han realizado en México acerca de la variación morfológica. Para el caso de conos y semillas las variables más utilizadas para la descripción y diferenciación entre poblaciones son el largo del cono, ancho del cono y ancho y largo de la semilla.

Cuadro 1. Estudios de variación morfológica en coníferas

Titulo	Variables que sobresalieron en la diferenciación	Autor y año
Variación de características morfológicas en conos y semillas de <i>Pinus greggii</i> Englem.	Diámetro del cono, número de semillas abortivas, número de semillas vanas, número de óvulos totales, longitud de semilla, peso de la semilla ancho y lago del cono y lago y ancho de la semilla.	López <i>et al.</i> (1993)
Variación de conos y potencial de producción de semillas de <i>Pinus oaxacana</i> Mirov en una población del estado de Tlaxcala, México.	Longitud y diámetro del cono.	Vázquez-Cuecuecha <i>et al.</i> (2004)
Morfología de acículas y conos en poblaciones naturales de <i>Pinus arizonica</i> Engelm.	Largo de la acícula por fascículo, ancho de acículas, largo del cono y largo del umbo	Rodríguez-Laguna y Capo-Arteaga (2005)
Variación morfológica de cono y semillas de cinco procedencias de <i>Pinus cembroides</i> Zucc en Hidalgo.	Longitud y lago del cono.	Romero-Gonzalez (2005)
Variación morfológica y anatómica de <i>Picea mexicana</i> Martínez en poblaciones naturales de México.	Longitud de la espina central, la longitud de la bráctea y el diámetro de cono.	Hernández-Salinas (2009)
Variación morfométrica en dos poblaciones naturales de <i>Pinus hartwegii</i> Lindl. Del estado de Veracruz	Longitud de fascículo, longitud mayor y menor de la acícula, largo del cono, peso del cono y lago, grosor y peso de las semillas.	Iglesias <i>et al.</i> (2012)
Variación Morfológica de Conos y Semillas en Cinco Poblaciones de <i>Pinus coulteri</i> D. Don, en Baja California, México.	Longitud de ala, longitud de la semilla, grosor de la semilla, diámetro del cono y longitud del umbo, quilla y espina.	Fernández-Galindo (2013)
Zonificación altitudinal de <i>Pinus patula</i> Schl. <i>et</i> Cham a partir de conos y semillas en la sierra de Huayacocotla, Veracruz, México.	Longitud y diámetro del cono.	Aparicio-Rentería <i>et al.</i> (2020)
Anatomía de la hoja de seis especies de <i>Pinus</i> del estado de Durango, México	Presencia-ausencia, color y longitud de la vaina, margen, longitud y diámetro de la acícula, número de acículas por fascículo.	Pérez-Olvera y Ceja-Romero (2019)
Características reproductivas y calidad de semilla en poblaciones fragmentadas de <i>Pinus chiapensis</i> (Martínez) Andresen	Tamaño del cono y peso de semilla llena.	Capilla-Dinorin <i>et al.</i> (2021)

2.6 Análisis multivariante

El análisis multivariado es una rama de la estadística, el cual se utiliza para el estudio de las interacciones de un gran número de variables. Este análisis es un conjunto de técnicas o de métodos que tiene el objetivo de examinar la información de un conjunto de variables sin perder la interacción que existe. Esta técnica permite realizar análisis de datos en situaciones donde la relación que existe entre ellos es muy compleja de estudiar de manera independiente. En análisis multivariado tiene una gran variedad de técnicas, las cuales son implementadas según sea la finalidad del estudio, pero a grandes rezagos las técnicas multivariantes se dividen en dos; la primera es las técnicas con funciones independientes, cuyo objetivo es hacer un pronóstico a una o varias variables dependientes a partir de los cambios que tengan de las variables independientes y la segunda son las técnicas estructurales, las cuales tienen la función de resumir la información, es decir, describir cual es el comportamiento del sistema con un número menor de variables (Garza-García *et al.*, 2013).

2.6.1 Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales es una técnica estadística que fue propuesta a principios de siglo XX por Hotelling quien se basó en los trabajos de Karl Pearson (Gonzales, 2008). Este análisis se puede generalizar en dos direcciones; la primera es cuando los datos que se tienen disponibles no corresponden a una variable, sino a similitudes o semejanzas entre elementos, la segunda es para los datos cualitativos que se presentan en una tabla de contingencia y esto conduce a un análisis de correspondencia (Peña, 2022).

Esta técnica estadística se ha desarrollado específicamente con el objetivo de reducir datos, los resultados de este análisis pueden ser utilizados en otros métodos

multivariantes, como el análisis de varianza o el de regresión. En términos generales este tipo de análisis permite reducir la complejidad de las interrelaciones entre el número de variables y el número de combinaciones lineales (Raykov y Marcoulides, 2008).

2.6.2 Análisis de correlación canónica

El análisis de correlación canónica (ADC) es una técnica estadística que se utiliza para determinar los grados de relación que existe entre dos conjuntos de variables (Garza-García *et al.*, 2013).

Este análisis tiene dos enfoques: a) obtener una función discriminante; y el segundo se emplea técnicas de correlación canónica y de componentes principales, esto con el fin de reducir la dimensión de un conjunto de datos (Pérez, 2004).

El (ADC) permite hacer la identificación de las diferencias que pueden existir en un grupo (clase, población o tratamiento), esto a partir de una serie de medidas de las características de los individuos. Este análisis hace estimaciones en funciones lineales, a partir de las variables medidas realizando una separación de los grupos de individuos al maximizar y minimizar la varianza dentro de los grupos (Cruz-Castillo *et al.*, 1994).

El análisis de discriminación canónica tiene dos propósitos, el primero es el encontrar los ejes de discriminación más grande dentro de un grupo, esto quiere decir que se encuentran las combinaciones lineales de las variables de partida con el máximo poder discriminante entre los grupos; el segundo es probar si las medidas de los grupos a lo largo de los ejes son significativamente diferentes (Lorbes *et al.*, 2015).

Actualmente aun surgido una variedad de nuevos métodos gráficos en el contexto del modelo lineal multivariado, entre los cuales se encuentra las gráficas de hipótesis-error (HE) y de estructura canónica, las cual permiten una comparación visual (Egesel *et al.*, 2011)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

Las cuatro poblaciones que forman parte de este estudio se encuentran ubicadas en la región norte de la Sierra Madre Oriental (Figura 1). La primera población es conocida como Joyas de San Lázaro, la cual se encuentra en el estado de Nuevo León, y las otras tres poblaciones son Miquihuana, Las Antonias y Felipe Ángeles, las cuales se encuentran en el estado de Tamaulipas (Cuadro 2).

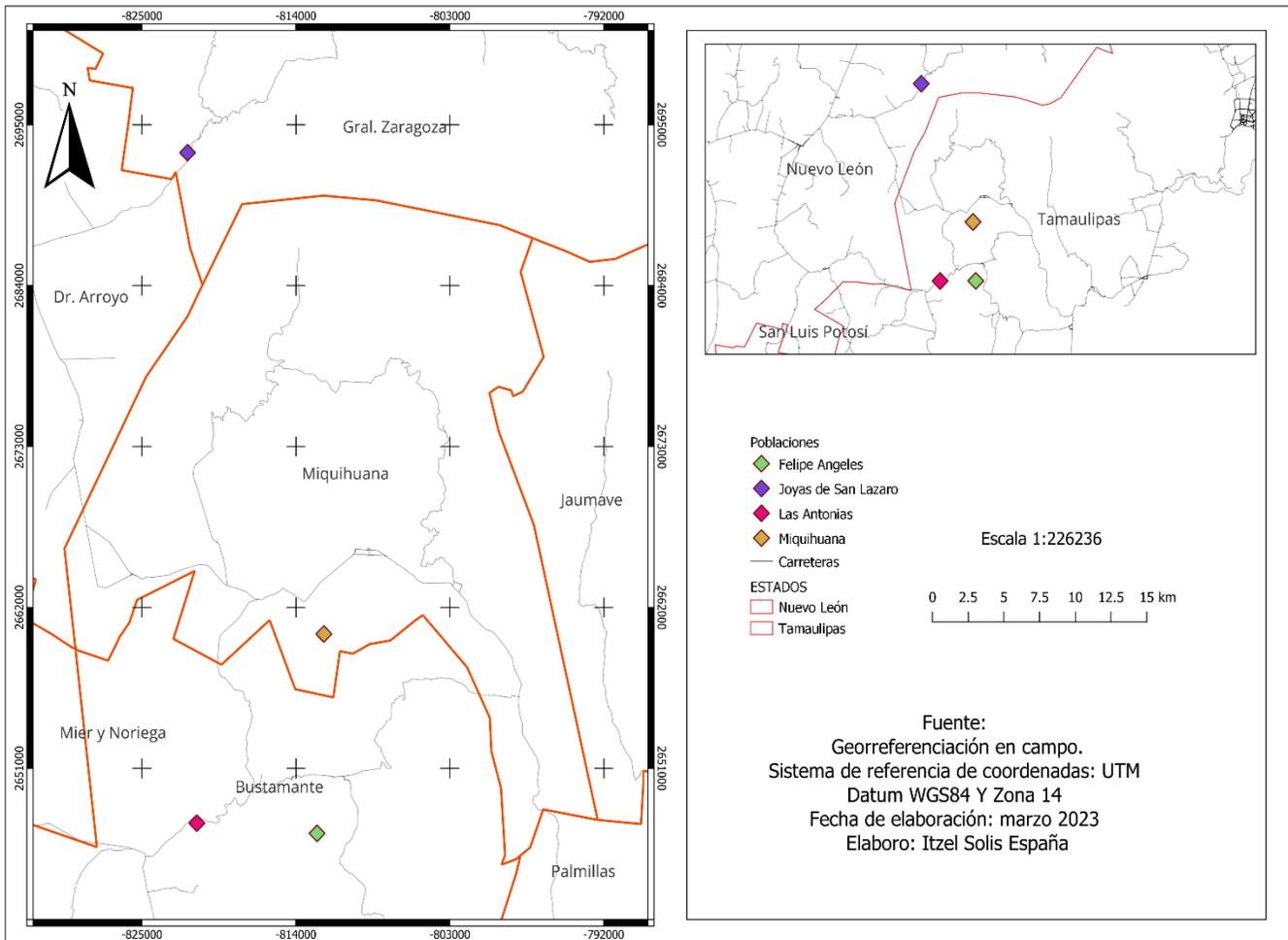


Figura 1. Ubicación de las poblaciones de *P. nelsonii* en el norte de México.

Cuadro 2. Características ecológicas de las poblaciones de *P. nelsonii* en el norte de México.

Población	Clave de identificación	Municipio ¹	Estado	Número de árboles colectados	Altitud (msnm)	Coordenadas	Clima ²	Tipo de suelo ³	Tipo de vegetación ⁴	Temperatura media anual ²
Joyas de San Lázaro	JSL	General Zaragoza	Nuevo León	35	2230	23°48'8.51"N 99°54'3.82"O	BS1k(x') Semiárido templado	Litosol	Bosque de pino encino	2 a 18 °C
Miquihuana	M	Miquihuana	Tamaulipas	42	2050	23°31'13.55"N 99°46'44.81"O	BS1k(x') Semiárido templado	Litosol	Bosque de pino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	12 a 18 °C
Las Antonias	AN	Bustamante	Tamaulipas	37	2100	23°23'57.79"N 99°51'16.77"O	BS1k(x') Semiárido templado	Litosol	Matorral desértico con crasirosulifolios	12 a 18 °C
Felipe Ángeles	FA	Bustamante	Tamaulipas	29	2030	23°24'0.30"N 99°46'19.32O	BS1k(x') Semiárido templado	Litosol	Matorral submontano con matorral subinorme	12 a 18 °C

¹Información tomada de los datos vectoriales de la capa División Política Municipal, escala 1:250000 (INEGI, 2021), ²Información tomada de los datos vectoriales de la capa climas, escala 1:1000000 (CONABIO, 1998), ³ Información tomada de los datos vectoriales de la capa edafológica, escala 1:1000000 (CONABIO, 1995),

⁴ Información tomada de los datos vectoriales de la capa usos de suelo y vegetación, escala 1:250000 (INEGI, 1997)

3.2 Características ecológicas

De acuerdo con el Cuadro 2, se muestra que las cuatro poblaciones tienen el mismo tipo de clima y de suelo, siendo la altitud y el tipo de vegetación que hay en cada lugar lo que marca la diferencia entre cada una de las poblaciones, para la población de Joyas de San Lázaro, el tipo de vegetación que presenta es de bosque de pino encino y tiene una altitud de 2230 msnm, la población de Miquihuana tiene un tipo de vegetación de bosque de pino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino y se encuentra a una altitud de 2050 msnm, la población de las Antonias cuenta con un tipo de vegetación de matorral desértico con crasi-rosulifolios y se encuentra a una altitud de 2100 msnm y por último la población de Felipe Ángeles tiene un tipo de vegetación de matorral submontano con matorral subinermes y se encuentra a una altitud de 2030 msnm.

3.3 Selección del arbolado y colecta de conos

La selección de arbolado para la colecta de conos se realizó por medio de un muestreo dirigido, en el cual se seleccionaron los árboles que tuvieran una mejor producción de conos. De cada árbol se registró las coordenadas, la altitud, exposición, la altura, el diámetro normal, diámetro de copa y se tomó en cuenta una distancia mínima entre cada árbol de 50 metros, para disminuir la posibilidad de que los árboles seleccionados tuvieran parentesco. Obteniendo un total de 988 conos entre las cuatro poblaciones.

La fecha en que se realizó la colecta fue el 16 y 17 de septiembre del año 2016. Para la colecta de los conos fue a través del método de escalado de árboles, para el caso de los conos que se encontraban en la parte más alta y en las orillas del árbol se implementó una garrocha o gancho corta conos, la colecta de los conos fue en diversas partes del árbol y los conos tenían que estar cerrados y en buen estado,

una vez que se cortaban se procedió a colocarlos en bolsas de plástico, cada bolsa de plástico previamente fue marcada con una identificación en la cual se escribió el nombre de la localidad, el número de árbol y la fecha de la colecta. Una vez que se tenía las muestras clasificadas e identificadas, el material fue llevado al laboratorio del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, para continuar posteriormente con las actividades del análisis de los conos.

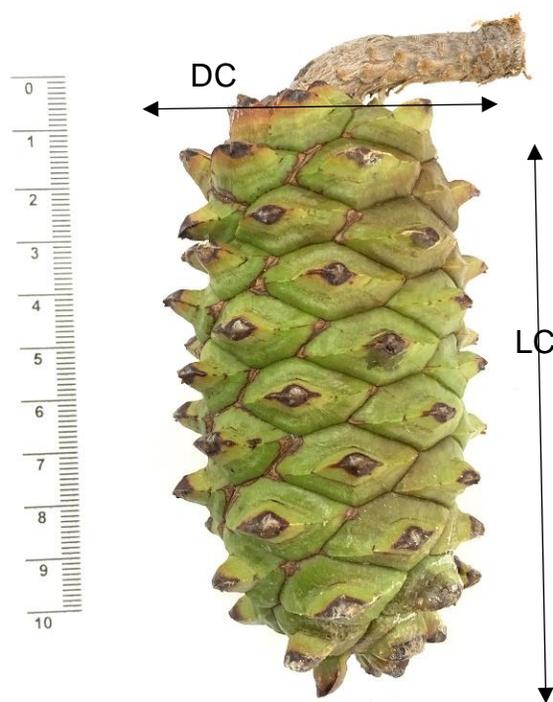
3.4 Evaluación de variables morfológicas de conos, semillas y escamas

En el laboratorio se procedió a medir las variables que se utilizarían en el análisis estadístico, estas mediciones se realizaron antes de que los conos se abrieran, es decir cuando los conos se encontraban todavía verdes. Las variables morfológicas de los conos que se midieron fueron la longitud de pedúnculo, el diámetro de la base del pedúnculo, largo y ancho del cono (Figura 2). Para la medición de la longitud de pedúnculo se utilizó un hilo y una regla de 30 cm y para el resto de las variables se utilizó pie de rey o calibrador electrónico, el largo del cono se midió desde la base hasta el apéndice y ancho de cono se midió de la parte más amplia del mismo.

Después los conos fueron guardados de forma individual en bolsa de papel de estraza y se les colocó su respectiva identificación en la cual se indicaba el nombre de la localidad a la que pertenece, el número de árbol y el número de cono. Los conos fueron expuestos al sol para que se secaran y facilitar la separación de las escamas y las semillas.

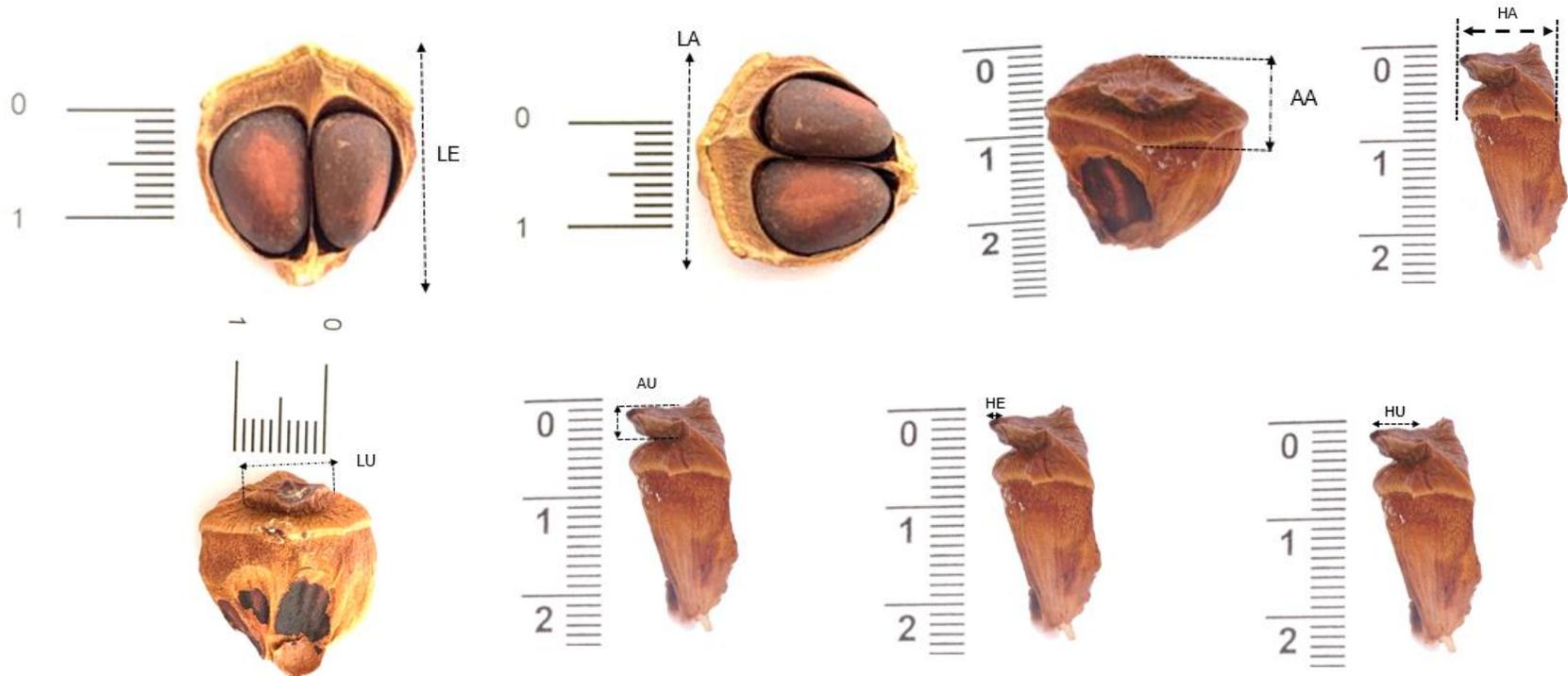
Una vez que los conos estaban secos, se destrozaron los conos y se procedió a seleccionar cinco escamas de cada uno de los conos colectados de las cuatro poblaciones, las escamas fueron colocadas en una bolsa de plástico y con un marcador negro permanente, se rotuló las bolsas en las cuales se colocaron las escamas seleccionadas, se colocó las iniciales de la población, en número de árbol

y el número de cono. Después de seleccionar las escamas, se procedió a medirlas, con ayuda de un pie de rey o calibrador electrónico de 0.1 mm de precisión. Las variables que se midieron en las escamas son, longitud de la escama (LE), longitud del apófisis (LA), ancho del apófisis (AA), altura del apófisis (HA), longitud del umbo (LU), ancho del umbo (AU), altura del umbo (HU), altura de la espina (HE) (Figura 3). Al igual que con las escamas se seleccionaron cinco semillas de cada uno de los conos colectados de las cuatro poblaciones. Se colocaron en bolsas de plástico y éstas fueron rotuladas con las claves de identificación, después de tener la semilla seleccionada se procedió a la medición de las siguientes variables, longitud de la semilla (LS), ancho de la semilla (AS), grosor de la semilla (GS) (Figura 4).



LC= Largo del cono (mm) DC=Diámetro de cono (mm)

Figura 2. Variables morfológicas evaluadas de conos de *P. nelsonii*



LE=Longitud de escama (mm); LA=Longitud de apófisis (ancho de la escama) (mm); AA=Ancho de apófisis (mm) ;HA=Altura de apófisis (mm) ;LU=Longitud del umbo (mm); AU=Ancho del umbo (mm); HU=Altura del umbo (mm); HE=Altura de la espina(mm)

Figura 3. Variables morfológicas evaluadas para escamas de *P. nelsonii*, escala 1:1

LS=Longitud de la semilla(mm); AS=Ancho de la semilla(mm);
GS=Grosor de la semilla(mm)

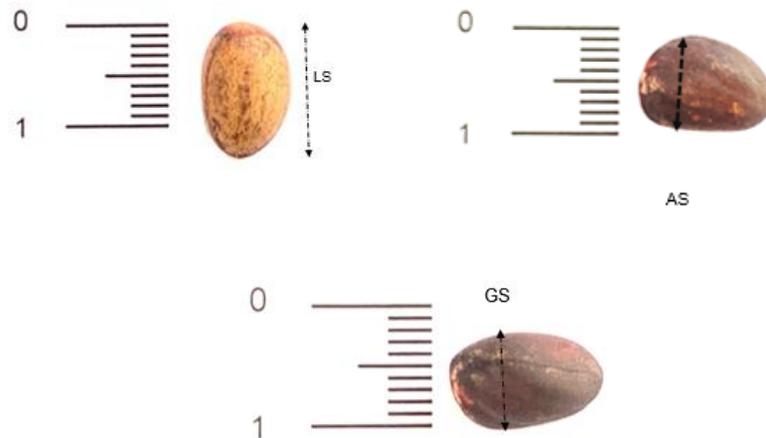


Figura 4. Variables morfológicas evaluadas para semillas de *P. nelsonii*

3.5 Análisis estadístico

Las mediciones que se le hicieron a los conos, escamas y semillas, fueron registradas en formatos de papel, y posteriormente se procedió a capturarlos en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Una vez que se tenían todos los datos capturados, se observó que dentro de la base de datos había datos faltantes, como lo fue el largo de la espina de la escama, la cual se pudo perder por diversos factores al momento de la manipulación de los conos y hacía falta semillas en algunos conos de las cuatro poblaciones.

Es por esto que se realizó una investigación para saber cual era la mejor estrategia para calcular datos faltantes de las muestras evaluadas. De acuerdo con Sotaquirá (2015), las técnicas más para la imputación de datos faltantes son por la media o mediana, imputación por regresión y la imputación por hot-deck. La imputación se

realizó mediante promedios, en el paquete estadístico SAS 9.0 (Statistical Analysis System). Una vez con la base de dato completa, se analizó para la detección de datos atípicos para evitar obtener sesgos en los resultados. Finalmente, se procedió con la descripción morfológica de las variables evaluadas para escamas, semillas y conos, esto a través del cálculo de las estadísticas descriptiva de posición, dispersión y de forma.

3.6 Análisis de componentes principales

El ACP se implementó para examinar la relación en el conjunto de variables morfológicas de *P. nelsonii* e identificar las con mayor aporte de variación. Se hizo el procedimiento PROC PRINCOMP en SAS 9.0, para obtener los componentes principales. El número de componentes óptimos se determinó de acuerdo con el porcentaje acumulado de varianza, estableciendo un mínimo de 70 % de la varianza total explicada (León, *et al.*, 2008).

Para de la determinación del número de componentes, se realizó mediante el método de grafica se SCREE, la cual se construyó en el programa RStudio, utilizado el porcentaje de la variación.

Para la selección de las variables de los componentes, se hizo por criterio propio, ya que no existe un rango para la elección de las variables, se seleccionaron aquellas cuyo valor de correlación fuera mayor ya sea negativo o positivo, ya que estas son las que tienen mayor aportación al porcentaje de la variación (Restrepo *et al.*, 2012).

Asi mismo con el programa RStudio por medios de la función ggplot se generó una gráfica de punto para hacer la comparación entre componentes.

3.7 Análisis de discriminación canónica

El análisis de discriminación canónica (ADC) se realizó con ayuda del proceso PROC CANDISC, en el paquete estadístico SAS System for Windows 9.0. El método CANDISC parte de un conjunto de datos y genera combinaciones lineales, de las variables que fueron evaluadas que resumen la variación que puede existir entre clases. El CANDISC, indica cuantas de las variables canónicas son significativas para hacer la separación (SAS Institute, 2004). Con este método se obtuvo una serie de resultados, dentro de los más importantes destacan el estadístico de Lambda Wilks y Distancia de Mahalanobis.

Garza-García *et al.* (2013) mencionan que el estadístico de Lambda Wilks expresa la proporción de la variabilidad total no debida a la diferencia que existe entre los grupos o poblaciones. Permite contrastar la hipótesis nula que de las medidas multivariantes de las poblaciones (centriolos) son iguales. Si los valores obtenidos con este estadístico se aproximan a 1 indica un gran parecido entre las poblaciones o grupo, mientras que si el valor se aproxima a 0 indica una gran diferencia entre los grupo o poblaciones.

Este estadístico se estima de la siguiente manera

$$\Lambda = \frac{|S|}{|T|}$$

Λ = valor de Lambda Wilks.

S= matriz de la varianza-covarianza combinada (se estima a partir de las matrices de la varianza-covarianza de cada grupo).

T= matriz de la varianza-covarianza total.

La distancia de Mahalanobis, es una medida de la distancia la cual fue introducida por Mahalanobis en 1936. Se implementa para determinar la similitud entre dos

variables aleatorias multidimensionales. Esta se diferencia de la distancia euclídea ya que considera la correlación que existe entre las variables (Escobedo y Plata, 2008).

De estima de la siguiente manera:

$$DM (i,j)= [(X_i - X_j)' S^{-1} (X_i-X_j)]^{1/2}$$

Donde:

DM = distancia de Mahalanobis.

X= vectores de variables de distintos puntos.

S⁻¹ =inversa de la matriz de la varianza-covarianza de las variables.

De acuerdo con datos obtenidos mientras menor sea el valor de la distancia mayor es la similitud (Tranque-Pascual *et al.*, 2022)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción morfológica de las poblaciones y descripción taxonómica de conos, escamas y semilla

Después de la realización del análisis estadístico y de hacer la investigación en la literatura sobre la descripción de *P. nelsonii*, en el Cuadro 3 se presentan los valores medio, mínimo y máximo de cada una de las variables evaluadas para conos, semillas y escamas. Con la revisión de la literatura se encontró que las únicas variables descritas acerca de los conos son el largo y ancho del cono, y el largo y ancho de la semilla.

De acuerdo con Perry (1991), Farjon *et al.* (1997) y Estrada-Castillón *et al.* (2014), el largo del cono puede medir entre 60 a 140 mm. en comparación con lo obtenidos con las mediciones, las cuatro poblaciones se encuentran dentro del rango descrito en la literatura para el largo de cono (LC).

Para el caso de ancho de cono (AC) este puede medir de 50 a 70 mm, haciendo la comparación con de los valores obtenidos con las mediciones realizadas y los valores que se encuentran en la literatura, las poblaciones de Miquihuana, Felipe Ángeles y las Antonias se encuentran dentro del rango, existe una pequeña diferencia con la población de Joyas de San Lázaro.

El largo de la semilla (LS) puede medir entre 12 a 15 mm, en comparación con los datos obtenidos para esta variable y los ya existentes dentro de la literatura, las mediciones se encuentran dentro de rango, siendo muy poca la diferencia que existe.

La última variable que se describe en la literatura es el ancho de la semilla (AS) la cual puede medir de 8 a 10 mm. Al realizar la comparación con los valores que se obtuvieron en la literatura, los datos obtenidos con las mediciones realizadas están dentro del rango van de 6.64 hasta 14.30 mm.

Entre otras variables medidas para *P. nelsonii* podemos encontrar valores del cono de 60 a 140 mm de largo y un ancho de 40 a 60 mm de ancho, la Longitud de Pedúnculo (LP) mide de 55 a 110 mm de largo, el Diámetro de la Base del Pedúnculo (DBS) es de 9 a 14 mm, en relación con la escama, tiene una largo de la escama (LE) de 22 a 29 mm, una longitud de apófisis (LA) de 21 a 27 mm, un ancho de apófisis (AA) de 11 a 15 mm, una altura de apófisis (HA) de 6 a 13 mm, una longitud de umbo (LU) de 11 a 17 mm, un ancho de umbo (AU) de 4 a 10 mm, una altura del umbo (HU) de 4 a 7 mm y una altura de espina (HE) de 0.43 a 0.51 mm, y semillas de 12 a 15 mm de largo con un ancho de 8 a 10 mm y tiene un grosor (GS) de 7 a 10 mm.

Existen diversos factores por los cuales puede existir una variación en las mediciones de las variables evaluadas entre las cuatro poblaciones y la literatura. De acuerdo con Jara (1995), existen dos fuentes de variación; la primera es por causa de las diferencias ambientales a las que se encuentran expuestos, y la otra a las condiciones genéticas de cada individuo. Zobel y Talbert (1988) describió un tercer factor, correspondiente a la interacción creada entre el genotipo y el ambiente. En general, las variaciones entre poblaciones es la suma del genotipo, el ambiente, la interacción entre genotipo y el ambiente y la edad (Vergara, 1998).

Cuadro 3. Variables morfológicas de conos, escamas y semillas de *P. nelsonii*, de cuatro poblaciones al noreste de México

Poblaciones	Características morfológicas.														
	Conos				Escamas								Semillas		
	LP (mm)	DBP (mm)	LC (mm)	AC (mm)	LE (mm)	LA (mm)	AA (mm)	HA (mm)	LU (mm)	AU (mm)	HU (mm)	HE (mm)	LS (mm)	AS (mm)	GS (mm)
Joyas de San Lázaro, Nuevo León	58.37 [¶]	9.23	103.16	56.76	22.16	20.68	10.63	7.15	10.91	4.64	4.2	0.39	13.11	8.99	7.71
	14.22 ^{¶¶}	1.82	21.13	6.56	2.22	2.14	1.4	1.57	2.88	1.11	0.92	0.13	0.84	0.73	0.58
	26.00 [§]	3.00	47.9	37.3	13.76	9.22	6.11	4.21	2.84	2.71	1.14	0.1	10.61	7.1	5.7
	100.00 [†]	14.22	149.6	82.3	29.62	27.01	15.55	14.49	16.54	10.94	7.14	0.93	16.07	11.81	9.95
	24.36 [%]	19.69	20.48	11.56	9.99	10.36	13.17	21.91	26.38	23.84	21.75	32.81	6.4	8.13	7.62
Miquihuana, Tamaulipas	50.87 [¶]	8.88	105.12	57.21	21.99	21.47	11.5	7.17	10.86	4.72	4.05	0.4	12.96	9.03	7.78
	12.08 ^{¶¶}	1.3	18.24	5.83	2.11	1.95	1.41	2.59	1.6	1.71	0.8	0.14	0.9	0.79	0.64
	25.00 [§]	5.75	61.7	26.2	10.08	11.38	5.59	1.52	3.38	2.07	0.39	0.1	7.31	6.64	5.93
	95.8 [%]	12	157.94	78.96	33.83	29.31	13.02	15.25	19.23	11.81	9.6	0.99	15.51	12.22	10.2
	23.74	14.69	17.35	10.19	9.6	9.09	12.23	36.12	14.73	36.28	19.85	33.11	6.96	8.64	8.26
Felipe Ángeles, Tamaulipas	51.18 [¶]	8.16	102.48	56.21	22.94	22.23	11.91	6.07	10.96	3.85	4.42	0.39	13	8.74	7.7
	10.17 ^{¶¶}	1.09	17.98	4.65	0.81	1.62	1.1	0.72	1.29	0.58	0.72	0.16	0.67	0.73	0.59
	25.00 [§]	5.66	49.59	43.54	17.05	16.56	6.77	2.26	2.83	2.57	0.35	0.1	11.2	6.28	6.2
	86.00 [†]	11.7	143.68	65.36	27.64	27.9	16.47	10.86	16.27	8.45	6.58	0.99	14.79	11.18	9.9
	19.88 [%]	13.31	17.54	8.28	7.92	7.3	9.3	11.9	11.82	15.27	16.39	40.82	5.21	8.44	7.69
Las Antonias	58.02 [¶]	10.28	110.11	60.37	22.67	21.83	11.42	5.82	11.61	4.36	4.44	0.55	13.87	9.15	7.91
	14.75 ^{¶¶}	1.77	20.46	4.95	1.91	1.98	1.22	0.7	1.39	0.86	0.85	0.18	0.02	0.02	0.1
	25.00 [§]	6.70	57.5	45.5	16.61	10.09	7.17	3.54	7.4	1.99	1.19	0.03	10.81	6.88	5.58
	103.00 [†]	19.9	170	72	27.87	27.01	18.61	9.87	18.72	9.93	6.96	1.14	16.38	14.3	9.94
	25.42 [%]	17.2	18.59	8.19	8.45	9.06	10.75	12.14	12.03	19.69	19.23	33.63	5.87	8.5	7.78
Descripción de <i>Pinus nelsonii</i> Shaw (Perry, 1991; Farjon et al., 1997; Estrada-Castillón et al., 2014)	----	----	60-140	50-70	----	----	----	----	----	----	----	----	12-15	8-10	----

[¶]Media, ^{¶¶}Desviación estándar, [§]valor mínimo, [†]valor máximo, [%]Coeficiente de variación (%), longitud del pedúnculo (LP), diámetro de la base del pedúnculo (DBP), longitud del cono (LC), ancho del cono (AC), longitud de la escama (LE), longitud de la apófisis (LA), ancho del apófisis (AA), altura del apófisis (HA), longitud del umbo (LU), ancho del umbo (AU), altura del umbo (HU), altura de la espina (HE), longitud de la semilla (LS), ancho de la semilla (AS), grosor de la semilla (GS).

4.2 Componentes principales

El ACP dio como resultado un total de 15 componentes, de los cuales se seleccionaron cinco componentes con una varianza total acumulada de 73.63 % (Cuadro 4; Figura 5). Este valor es similar comparado con otros estudios de variación morfológica reportados. Iglesias *et al.* (2012) evaluó la variación morfométrica de dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* Lindl. de Veracruz, a partir de las variables de acículas, conos y semillas, acumulo un 62.5 % de la variación en tres componentes en su ACP; mientras que Fernández-Galindo (2013) reporto un 75 % en 14 componentes al analizar variables morfológicas de conos y semillas en cinco poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don, en Baja California.

Cuadro 4. Matriz de correlación de los eigenvalores de *P. nelsonii*.

Componentes	Autovalor	Diferencia	Proporción	Acumulada
1	†3.81277686	0.89969101	0.2542	0.2542
2	†2.91308585	0.83514573	0.1942	0.4484
3	†2.07794012	0.83244247	0.1385	0.5869
4	†1.24549765	0.24901948	0.083	0.6700
5	†0.99647817	0.04862961	0.0664	0.7364
6	0.94784856	0.2616428	0.0632	0.7996
7	0.68620576	0.02776373	0.0457	0.8453
8	0.65844203	0.26931247	0.0439	0.8892
9	0.38912956	0.02656744	0.0259	0.9152
10	0.36256211	0.08966316	0.0242	0.9393
11	0.27289895	0.04642792	0.0182	0.9575
12	0.22647103	0.05476142	0.0151	0.9726
13	0.17170961	0.02348793	0.0114	0.9841
14	0.14822168	0.05748961	0.0099	0.994
15	0.09073207		0.006	1

† componentes principales autovalor mayor a 1 y con mayor porcentaje de variación.

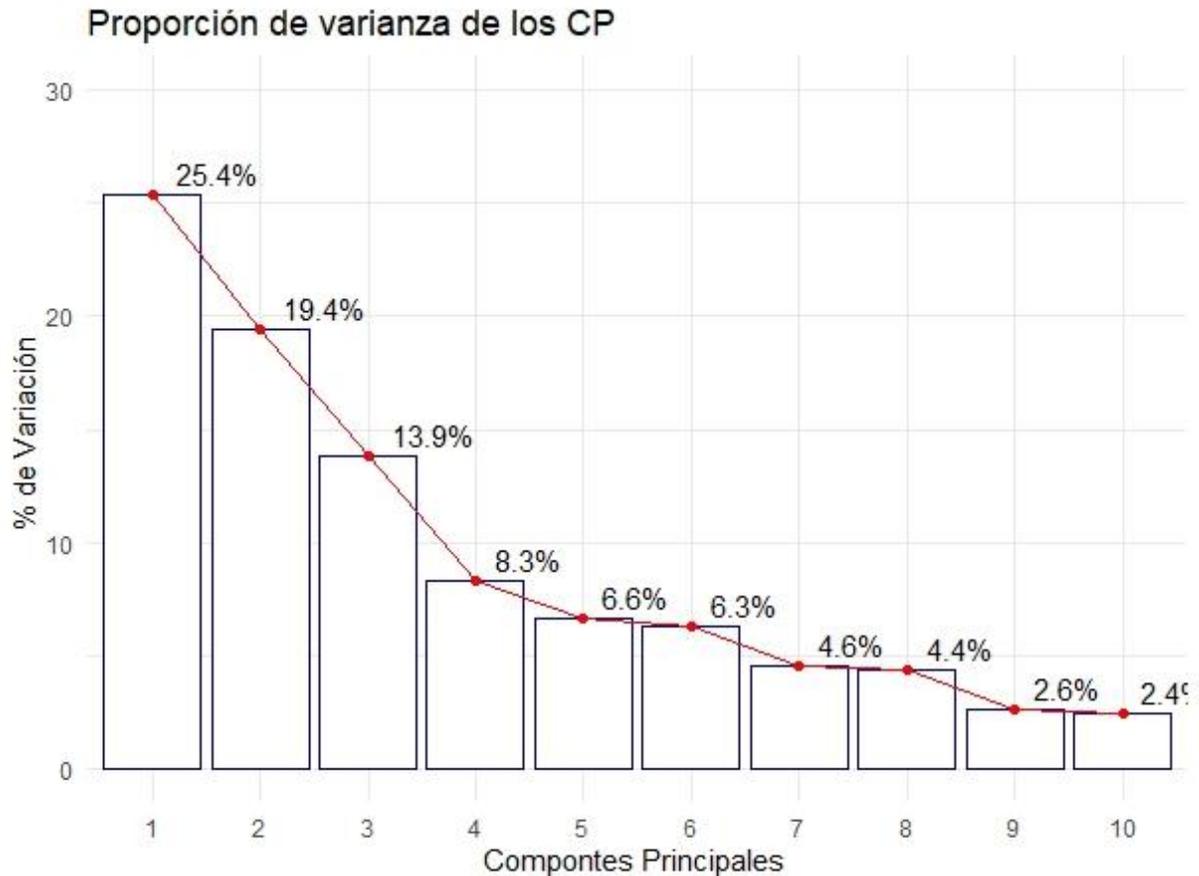


Figura 5. Gráfica con el número de componentes principales para determinar las variables que aportan mayor diferenciación en el análisis de cono, semillas y escamas, para las cuatro poblaciones de *P. nelsonii* del noreste de México.

Cada uno de los cinco componentes que aportan el 73.63 % de la variación total, cuenta con un total de catorce variables (Cuadro 5) las cuales explican la variación que existe en cada uno de los componentes, lo que quiere decir que por lo menos una de las variables evaluadas tiene correlación en alguna componente. Para el caso del componente uno las variables con mayor correlación son LE y AA en comparación con otros componentes restantes. Para el componente dos las variables con mayor correlación en comparación con el resto son LC, AC, HA y AU. Para el componente tres la variable que mayor correlación tiene es DBP. El componente cuatro las variables con mayor correlación son AS, GS, LA y HU. Por último, para el componente cinco las variables con mayor correlación son LU y HE.

En comparación con la evaluación realizada por Fernández-Galindo (2013) de *P. coulteri*, para el primero componente las variables que tiene mayor correlación fueron la longitud del cono (LC), el peso verde del cono (PVC), el peso seco del cono (PSC), la longitud de la escama (LE), ancho de la quilla (AQ) y por último el peso de mil semillas (PMILS). Los datos obtenidos por Fernández-Galindo (2013), son similares a los obtenidos del análisis de componentes principales para *P. nelsonii* (Cuadro 5), ya que son las características de los conos, semillas y escamas las que tiene mayor correlación en los componentes seleccionados.

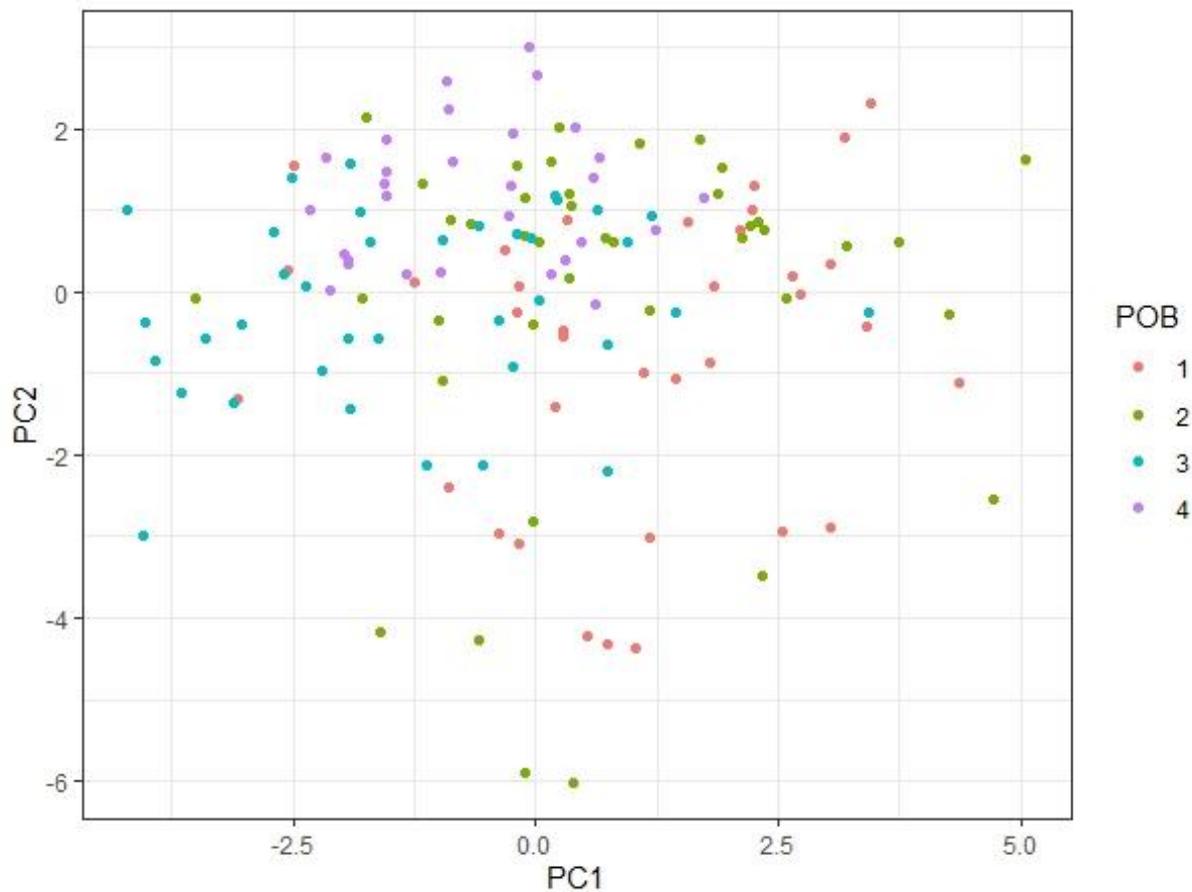
De manera general, de acuerdo con lo encontrado con Fernández-Galindo (2013) las variables que mayor aportación tiene a la variación se encuentran en los conos, semillas y escamas, esto también se observa el Cuadro 5. Así mismo se observa que mayoría de las variables con mayor correlación se encuentra agrupada en el componente uno y dos, siendo el componente dos el que mayor variable presenta (Cuadro 5).

Cuadro 5. Relación de variables con los componentes principales para *P. nelsonii*.

Características del árbol	Variables	Componente principal 1	Componente principal 2	Componente principal 3	Componente principal 4	Componente principal 5
Conos	LC	0.25	0.35[†]	0.22	0.06	0.19
	AC	0.30	0.31[†]	0.17	-0.18	-0.08
	DBP	0.15	0.34	0.44[†]	-0.03	-0.05
Semillas	AS	0.34	-0.10	-0.16	0.50[†]	-0.08
	GS	0.37	-0.09	-0.18	0.41[†]	-0.12
	LS	0.30	-0.07	-0.12	-0.10	-0.51[†]
Escamas	LE	0.35[†]	0.13	-0.27	-0.27	0.09
	LA	0.37	-0.02	-0.14	-0.46[†]	0.27
	AA	0.31[†]	-0.25	-0.24	-0.13	0.26
	HA	-0.07	0.41[†]	-0.38	0.17	0.06
	LU	0.18	-0.31	0.26	0.00	0.34[†]
	AU	0.01	0.40[†]	-0.31	0.15	0.00
	HU	0.18	-0.23	0.24	0.33[†]	0.12
HE	0.21	-0.03	0.26	-0.13	-0.56[†]	

[†] Variables con mayor correlación en cada componente principal.

De acuerdo con la Figura 6, se puede observar que las cuatro poblaciones se encuentran mezcladas, a pesar de esto existe una pequeña separación de la población Joyas de San Lázaro (1) y Miquihuana (2), pero esta separación es mínima. Esto quiere decir que las variables medidas de cono, semillas y escamas son muy similares. De igual forma se observa que las cuatro poblaciones tiene mayor asociación con el componente dos.



Dónde 1= Joyas de San Lázaro (JSL), 2= Miquihuana (M), 3= Las Antonias (AN), 4= Felipe Ángeles (FA)

Figura 6. Gráfica comparativa del componente 1 y el componente 2, para las cuatro poblaciones de *P. nelsonii* del noreste de México

4.3 Discriminación canónica

El ADC dio una serie de resultados, entre lo que más destacan se encuentra el estadístico de Lambda Wilks con un valor de 0.09666 muy cercano a 0, lo que indica que existe un poder discriminante alto.

Otro de los resultados obtenidos con ADC fue las funciones canónicas que resultaron significativas y las cuales explican la variabilidad que existe.

En el Cuadro 6, se presentan las funciones canónicas que resultaron significativas, y las cuales son las que explican la variabilidad que existe. Se obtuvieron tres funciones canónicas las cuales explican el cien por ciento de la variación (Cuadro 6), siendo la función uno la que explica la mayor variación y siendo las que mayor correlación canónica presenta, lo que indica que esta función es la que posee mayor poder discriminante.

Cuadro 6. Análisis canónico de la evaluación morfológica de cono, escamas y semillas de *P. nelsonii*.

Función canónica	Correlación canónica	Autovalor	Proporción autovalor	Proporción acumulada	Valor de la probabilidad
1	0.82	2.1127	0.55	0.55	<.0001
2	0.75	1.2666	0.33	0.88	<.0001
3	0.56	0.4662	0.12	1.0000	<.0001

En la evaluación realizada Ornelas-Álvarez (2014), para *Pinus oocarpa* Schiede, su análisis de discriminación canónica arrojó que la variación se encuentra en tres funciones con 78.7, 14.1 % y 7.2% de varianza explicada, resultados similares a los

obtenidos en este trabajo. En contraste a esto, López Upton *et al.* (2001), donde evaluaron las características morfológicas de acículas, conos y semillas de *P. oocarpa* y *Pinus pringlei* Shaw, demostraron que la variación se encuentra explicada en dos funciones con 92% y 8%. Similarmente, Hurtado-Herrera (2023), pero en *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, obtuvieron dos funciones con 71.87% y 28.13% de la variable explicada, en estos dos estudios únicamente se encuentran dos funciones canónicas. Mientras que para *P. nelsonii* la variabilidad es explicada por tres componentes. Escobar-Alonso *et al.* (2023) donde se evaluó el potencial de caracteres morfológicos de acículas y conos en la identificación de variedades *P. pseudostrobus*, se tuvo como resultado de tres coeficientes canónicos, en las cuales, para cono, acículas y para la combinación de conos y acículas la mayor variabilidad se encuentra en las dos primeras funciones. Siendo las acículas las que explican el 58% de la variación en el componente uno los conos el 72% y la combinación de ambos explican el 68%. Para este estudio no se evaluaron poblaciones, sino variedades de una especie. En este estudio las características que las características del cono fueron más eficientes que las de las acículas en el proceso de discriminación. En cambio, en el trabajo realizado por López Upton *et al.* (2001), las variables más relevantes en la separación en del componente uno son las de las acículas, como los son el número de acículas por fascículo, número de hileras de estomas en cara dorsal, número de canales resinífero interior y número de calanes resiníferos septales.

El cálculo de las funciones canónicas se realizó con la utilización de los valores no estandarizados o valores en bruto (Cuadro 7), estos valores son la base para poder obtener los valores de las funciones canónicas estandarizadas.

Los centroides (Cuadro 8; Figura 6) indican la separación que puede existir entre las cuatro poblaciones, en donde se observa que la población 3 (AN) y la población 1 (JSL) son las que más se separan, mientras que la población 2 (M) y la población 4 (FA) se encuentran mezcladas.

Cuadro 7. Coeficientes canónicos brutos empleados para el cálculo de las funciones canónicas de conos y semillas de cuatro poblaciones de *P. nelsonii* del norte de México.

Variables	CAN 1	CAN 2	CAN 3
Longitud de Pedúnculo (LP)	0.01441723	-0.02911849	-0.03550516
Diámetro de la Base del Pedúnculo (DBP)	0.56991281	-0.27757004	0.04810008
Largo del Cono (LC)	-0.01939997	0.02353061	0.01317958
Ancho de Cono (AC)	0.00989612	-0.00181684	0.09625043
Longitud de la semilla (LS)	0.41931682	1.11697138	-0.64823020
Ancho de la Semilla (AS)	-0.97095428	-0.61916211	-0.68228518
Grosor de la Semilla (GS)	0.90391763	-0.32428679	0.50548772
Largo de la Escama (LE)	0.01955488	-0.46027992	-0.81590136
Longitud de Apófisis (LA)	0.00830718	0.41933653	0.05281856
Ancho de Apófisis (AA)	0.15990202	1.1125696	0.95092708
Altura de Apófisis (HA)	-0.78693593	-0.13528569	-0.06587412
Longitud de Umbo (LU)	-0.18253215	-0.38496685	-0.03367407
Ancho de Umbo (AU)	0.91533950	-0.15755899	0.56897530
Altura del Umbo (HU)	0.18386491	0.37907819	-0.62986942
Altura de Espina (HE)	10.2184602	-1.36404286	1.05797202

La distancia cuadrada de Mahalanobis para las cuatro poblaciones es altamente significativa entre las medias poblacionales (Cuadro 9). Los valores obtenidos muestran que la población que tiene menos similitud con las demás es la población Las Antonias (AN), mientras que la población de Miquihuana (M), Felipe Ángeles (FA) y Joyas de San Lázaro son más similares, a pesar de que existe una distancia entre ellas, esta no se discrimina por completo.

Cuadro 8. Centroides de las poblaciones de cuatro poblaciones de *P. nelsonii*

Poblaciones	CAN 1	CAN 2	CAN 3
1	-0.89838116	-1.63303122	-0.48856637
2	-0.76732641	0.21797145	0.97074664
3	2.42377244	-0.01036501	-0.04319399
4	-0.89684589	1.66844129	-0.76115028

Dónde: Joyas de San Lázaro (JSL)=1, Miquihuana (M)=2, Las Antonias (AN)=3, Felipe Ángeles (FA)=4

La distancia cuadrada de Mahalanobis para las cuatro poblaciones es altamente significativa entre las medias poblacionales (Cuadro 9). Los valores obtenidos muestran que la población que tiene menos similitud con las demás es AN, mientras

que M, FA y JSL son más similares, a pesar de que existe una distancia entre ellas, esta no se discrimina por completo.

Cuadro 9. Distancia cuadrada de Mahalanobis de cuatro poblaciones de *P. nelsonii*

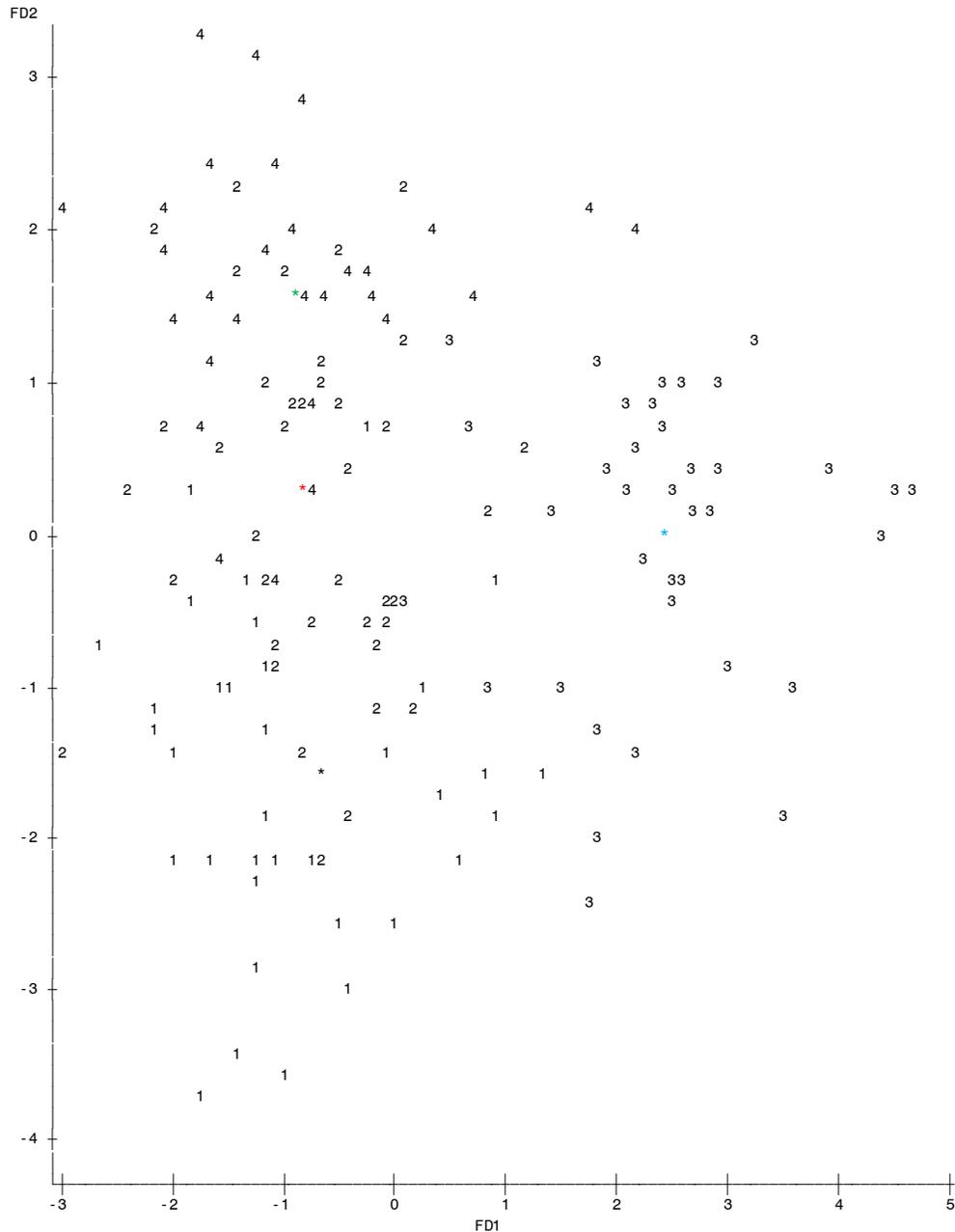
Poblaciones	1	2	3	4
1	0	5.57**	13.867**	10.97**
2		0	11.26**	5.12**
3			0	14.36**
4				0

Dónde 1= Joyas de San Lázaro (JSL), 2= Miquihuana (M), 3= Las Antonias (AN), 4= Felipe Ángeles (FA)

La población AN y la población FA en donde existe una mayor distancia, por otro lado, la población FA y M es donde existe menor distancia. El distanciamiento que existe entre poblaciones se debe a las diferencias que hay entre los cono y semillas evaluadas. Las poblaciones evaluadas dentro de este estudio cuentan con condiciones geográficas muy parecidas, debido a esto, aunque existe un distanciamiento entre poblaciones este no es muy grande.

Como se ha mencionado antes la población que más separa de las cuatro es la es la 3 (AN), debidos a que las características de cono, semillas y escamas son más pequeñas, mientras que el resto de las poblaciones las características evaluadas son más similares, siendo LE,AA,LC,AC, HA y AU son las características que marcan la diferencia. De acuerdo con los resultados obtenidos por Herrera (2023), en su evaluación encontró resultados similares, en donde las condiciones geográficas de las poblaciones evaluadas son similares, haciendo diferenciaciones entre poblaciones las características de conos y semillas que evaluó, encontrando que la distancia de Mahalanobis era altamente significativa para las tres poblaciones y la población menos similar fue Iturbide. Caso contrario a estos dos en el trabajo realizado por Donahue y López-Upton (1996), en donde evaluaron la variación morfológica geográfica en hojas, conos y semillas de *P. greggii*, en bosques naturales, la distancia de Mahalanobis resultó ser altamente significativa, las población de la región norte entre ellas tenían una distancia menor, de igual manera para las poblaciones de la región sur, ya que las condiciones geográficas y

climáticas son similares, pero al momento de realizar la comparación de las poblaciones de la región norte con la sur, la distancia de Mahalanobis aumento, ya que las condiciones geográficas de la región sur y la región norte no son iguales.



Dónde* =Centroides de las poblaciones 1= Joyas de San Lázaro (JSL), 2= Miquihuana (M), 3= Las Antonias (AN), 4= Felipe Ángeles (FA), FD1 = Función canónica 1 y FD2 = Función canónica 2.

Figura 7. Función canónica 1 y 2, para las cuatro poblaciones de *P. nelsonii* del noreste de México.

5. CONCLUSIONES

Las características que fueron evaluadas en este trabajo de cono, semillas y conos, aportan información en relación con la descripción original de la especie, ya que no existe información de las características de las escamas y muy poca información de las características de las semillas. Con esta información obtenida, la descripción de la especie es más amplia.

Se rechaza la hipótesis alterna, debido a que la suma de los dos primeros componentes no aporta el 70% de la variación.

Las variables morfológicas que más aportan a la diferenciación entre las poblaciones son LE, AA, LC, AC, HA y AU.

La población que más se separó de las cuatro evaluadas fue LA, mientras que las poblaciones que más se parecen son la de FA y M. Por ello que se acepta la H_0 , ya que ninguna de las poblaciones se discrimina del resto.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda completar la información morfología de escamas, semillas y cono, con la evaluación de las variables morfológicas de las acículas.

Se debe de realizar un estudio acerca de cuáles son los factores ambientales que afectan al crecimiento y el desarrollo de las poblaciones de *P. nelsonii*.

7. LITERATURA CITADA

- Alía R., D. Agúndez., S. C. González Martínez y A. Soto (2003). Variabilidad genética y gestión forestal. [en línea]. Ecosistemas. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/230> [2023, febrero 01]. 8p.
- Alanís-Flores, G. J., C. G. Velazco-Macías, R. Foroughbakhch-Pournavab, V. Valdez-Tamez y M.A. Alvarado-Vázquez (2004). Diversidad florística de Nuevo León: especies en categoría de riesgo. Ciencia Universidad Autónoma de Nuevo León 7(2): 209-218.
- Aparicio-Rentería A., H. Viveros-Viveros, J. Hernández-Villa, C. Sáenz-Romero, C. Ruiz-Montiel y J. A. Pineda-Posadas (2020). Zonificación altitudinal de *Pinus patula* a partir de conos y semillas en la sierra de Huayacocotla, Veracruz, México. Madera y Bosques 26(2):1-12.
- Berrera-Ramírez, R. J.J. Vargas-Hernández, R. López-Aguillón, H.J. Muñoz-Flores, E.J. Treviño-Garza y O.A. Aguirre-Calderón (2021). Influencia de factores externos e internos en el prendimiento inicial de injertos de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) Harrison. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 27(2):243–256.
- Caballero, M. y R. Ávila (1989). Importancia actual y potencial de los piñoneros en México. In Memorias del III simposio Nacional sobre pinos piñoneros. Editores Flores, J. D., L. J. Flores, M. E. García y R. H. Lira. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Saltillo, Coah pp 18–22.
- Capilla-Dinorin E., J. López-Upton, Ma. Jiménez-Casas y V. Rebolledo-Camacho (2021). Características reproductivas y calidad de semilla en poblaciones fragmentadas de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. Revista Fitotecnia Mexicana 44(2):211-219.
- Carrillo-Flores, J.A. (2009). Estructura y regeneración de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D.K. Bailey en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. Tesis de

Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Montecillo, Texcoco, Estado de México 64 p.

Chávez, J.L. (2003). Conceptos y mediciones útiles para la caracterización de germoplasma. In Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recurso fitogenéticos. Editores Franco L. t. y R. Hidalgo. Boletín Técnico No. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) Cali, Colombia. pp. 72-86.

CONABIO (La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1995. Conjunto de datos vectoriales de edafología, escala 1:1000000. Secretaria de recursos hidráulicos. México.

CONABIO (La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1998. Conjunto de datos vectoriales de clima, escala 1:1000000. Secretaria de recursos hidráulicos. México.

Garza-García, J., B. N. Morales-Serrano, y B. A. González-Cavazos. 2013. Análisis estadístico multivariante: un enfoque teórico y práctico. McGraw-Hill/Interamericana de editores, S.A. de C.V. México, DF. 703 p.

Cruz C., J.G., S. Ganeshanandam, B.R. Mackay, G.S. Lawes, C.R.O. Lawoko and D.J. Woolley (1994). Applications of canonical discriminant analysis. Hortscience. Department of Plant Science, Massey University, Palmerston North. New Zealand 29(10):1115-1119.

Dallas E.J. (1998). Applied multivariate methods for data analysis. Brooks/Cole Publishing Company. Kansas State University Kansas City. 584 p.

Di Masso, R. J., C. Pippa, P. Silva y M. Font. 2010. Componentes principales como fenotipos de sistemas biológicos complejos: Relación músculo-hueso en el ratón (*Mus musculus*). BAG Journal of Basic and Applied Genetics 21(1):15-25.

- Donahue, J. K., y J. López-Upton. 1996. Geographic variation in leaf, cone and seed morphology of *Pinus greggii* in native forests. *Forest Ecology and Management* 82 (1): 145-157.
- Egesel, C. O. F. Kahnman, y M. K. Güi. 2011. Discrimination of maize inbreds for kernel quality traits and fatty acid composition by a multivariate technique. *Acta Scientiarum Maringá, Brasil*. 33 (4):613-620.
- Escobar-Alonso S. y D. A. Rodríguez-Trejo. 2019. Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10 (55):4-38.
- Escobedo P.M.T. y J. A.M. Patas. 2008. P.CH. Mahalanobis y las aplicaciones de su distancia estadística. *Culcyt* 5(27):13-27.
- Escobar-Alonso S., J.J. Vargas-Hernández y J. López-Upton. (2023). Potencial de caracteres morfológicos de acículas y conos en la identificación de variedades de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 29(1): 99-116.
- Estrada-Castillón, E., J.A. Villarreal-Quintanilla, M.M. Salinas-Rodríguez, C.M. Cantú-Ayala, H. González-Rodríguez y J. Jiménez-Pérez. (2014). Coníferas de Nuevo León, México. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 145 p.
- Farjon, A., J.A. Pérez de la R. y B.T. Styles. (1997). Guía de campo de pinos de México y America central. Royal Botanic Gardens, Kew Oxford. 159 p.
- Farjon, A. y T. B. Styles. (1997). *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotropica*, Monograph 75. Organization for Flora Neotropica by The New York Botanical Garden New York, USA. 291 p.
- Fernández-Galindo I.M. (2013). Variación morfológica de conos y semillas en cinco poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don, en Baja California, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Santillo, Coahuila, México. 36 p.

- García-Arévalo A. y M. S. González-Elizondo. (2003). Pináceas de Durango. Instituto de Ecología Comisión Nacional Forestal México. 187 p.
- García-Moya, E. (1985). Los antecedentes y los objetivos del I Simposio Nacional Sobre Pinos Piñoneros. In Memorias del I Simposio Nacional Sobre Pinos Piñoneros Editors J.E Flores-Lara, C. M. Cantú-Anaya, J.S. Marroquín-de la Fuente. Linares, Nuevo León. pp. 1-3.
- Gernandt D.S. y Pérez-de la R. J.A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. (2014). Revista Mexicana de Biodiversidad México. 85:126-133.
- Gonzales A.L., H.L. Solano y J. Tilano. (2008) Análisis multivariado aplicando componentes principales al caso de los desplazados. Ingeniería y Desarrollo 23:119-142.
- Granados, D., M. A. Hernández y G. López. (2012). Ecología de los desiertos del mundo. Universidad Autónoma Chapingo Texcoco, Edo. de Méx., México. 503 p.
- Grauda L., A. Yanchuk y E. Kjær. (2007). Planificación nacional. In Conservación y manejo de los recursos genéticos forestales: Visión general, conceptos y algunos métodos sistemáticos Roma, Italia. pp. 27-38.
- Hurtado-Herrera M. (2023). Variación morfológica de conos y semillas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry En Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Saltillo, Coahuila, México. 79 p.
- Hidalgo R. (2003). Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. In Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recurso fitogenéticos. Editores Franco L. t. y R. Hidalgo. Boletín Técnico No. 8., Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos Cali, Colombia. pp. 85-86.
- Hurrell A. J. y D. H. Bazzano. (2007). Pinos ornamentales y forestales. Editorial LOLA, Buenos Aires. 240 p.

- Iglesias L.G., L.Y. Solís-Ramos y H. Viveros-Viveros. (2012). Variación morfológica en dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* Lindl. del estado de Veracruz. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 81:239-246.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística e Información). 2021. Conjunto de datos vectoriales de la capa de División política municipal, escala 1:250000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística e Información). 1997. Conjunto de datos vectoriales de la capa de usos de suelo y vegetación, escala 1:250000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- Jara L.F. (1995). Mejoramiento forestal y conservación de recursos genéticos forestales. Manual Técnico No. 14. CATIE Turrialba, Costa Rica. 174 p.
- Köbölkuti, Z.A., E.G. Tóth, M. Ladányi y M. Höhn, (2017). Morphological and anatomical differentiation in peripheral *Pinus sylvestris* L. populations from the Carpathian region. *Dendrobiology* 77: 105-117.
- León G.A., H.S. Llinás y J. Tilano. (2008), Análisis multivariado aplicando componentes principales al caso de los desplazados. *Ingeniería y Desarrollo Barranquilla, Colombia*. pp:199-142
- López U.L., J. Jasso, J.J. Vargas y J.C. Ayala (1993). Variación de características morfológicas en conos y semillas de *Pinus greggii*. *Agrociencias Serie Recursos Naturales Renovables* 3(1):81-95.
- López-Upton, J., V. Velazco-Fiscal, J. Jasso-Mata, C. Ramírez-Herrera, y J. J. Vargas-Hernández. 2001. Hibridación natural entre *Pinus oocarpa* y *P. pringlei*. *Acta Botánica Mexicana* (1)57: 51-56.
- Lorbes J. M., Y. García-Orellana, M. P. Milla y L. Diaz. 2014. Análisis discriminante canónico con técnicas gráficas multivariadas aplicado a un diseño con dos factores. *Avances Investigación en Ingeniería* 11(2):38-47.

- Ornelas-Álvarez, J. 2014. Variación morfológica de los pinos del grupo "Oocarpa" (Pinaceae) en el estado de Jalisco. Tesis profesional. Campus Las Agujas. Universidad de Guadalajara Zapopan, Jalisco. 55 p.
- Peña D. (2013). Análisis de datos multivariantes. Cambridge: McGraw-Hill España. 515 p.
- Pérez L. C. (2004). Técnicas de análisis multivariados de datos. Pearson Educación Madrid, España. 672 p.
- Pérez Olvera C. de la P. y J. Ceja-Romero. (2019). Anatomía de la hoja de seis especies de *Pinus* del estado de Durango, México. *Madera y Bosques* 25(1): 1-11.
- Perry, J. (1991). The pines of Mexico and Central America. Timber Press Portland, Oregon, USA. 231p.
- Prieto-Ruiz. J. A. y J. López-Upton. (2006). Colecta de semilla forestal en el género *Pinus*. Folleto Técnico No. 28. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental Valle del Guadiana Durango, México. pp. 13-17.
- Ramírez-Herrera, C., J.J. Vargas - Hernández y J. López-Upton. (2005). Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Botánica Mexicana* 72: 1-16.
- Raykov T. y G.A. Marcoulides. (2008). An Introduction to Applied Multivariate Analysis. Routledge New York. 498 p.
- Restrepo L.F., S. Posada, y R. Noguera. (2012). Aplicación del análisis de componentes principales en la evaluación de tres variedades de gramíneas. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 25 (2):258-266.
- Rodríguez-Laguna R., M. A. Capo-Arteaga. (2005). Morfología de acículas y conos en poblaciones naturales de *Pinus arizonica* Engelm. *Ra Ximhai* 1(1):131-152.

- Rojas, W. (2003). Análisis estadístico de los datos de caracterización morfológica. In Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recurso fitogenéticos. Editores Franco L. T. y R. Hidalgo. Boletín Técnico No. 8., Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos Cali, Colombia. pp. 85-86.
- Romero- González O.G. (2005). Variación morfológica de conos y semillas en cinco precedencias de *Pinus cembroides* Zucc en Hidalgo. Tesis profesional. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Tulancingo Hidalgo. 84 p.
- Segura S. (2003). Divergencias morfológicas interespecíficas del subgénero Tacsonia (Passiflora) In Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recurso fitogenéticos. Editores Franco L. t. y R. Hidalgo. Boletín Técnico No. 8., Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos Cali, Colombia. pp. 85-86.
- SAS Institute. (2004). SAS/STAT 9.1 User's Guide. Estados Unidos Americanos 5136 p.
- Schlegel, F. (1996). Ecología y enseñanza rural: nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. [en línea]. Roma. FAO Disponible en <https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s00.htm#TopOfPage> [2023, abril 08]
- Sotaquirá, M. 2021. Guía completa para el manejo de datos faltantes. [en línea] Codificandobits disponible en <https://www.codificandobits.com/blog/manejo-datos-faltantes/> [2023, marzo 4].
- Sotolongo, R., G. Geada y M. Cobas. [s.f.]. Mejoramiento genético forestal; texto para estudiantes de Ingeniería Forestal. [en línea]. Roma. FAO Disponible en: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/Mejoramie nto%20Genetico%20Forestal.pdf [2023, febrero 05].
- Torriente-Díaz, D., y V. Torres-Cárdenas. (2010). El análisis de componentes principales en la interpretación de sistemas agroecológicos para el manejo

de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal para el cultivo de la caña de azúcar. *Idesia (Arica)* 28(1): 23-32.

Tranque-Pascual, F. J., F. J. Vallejo-Sanz, A. Miranda, y A. Ponce. 2022. Uso de la distancia de Mahalanobis para el cálculo de la similitud ecológica. Aplicación en poblaciones forestales. In 8° Congreso forestal español: la ciencia forestal y su contribución a los objetivos de desarrollo sostenible. (ed). Sociedad española de ciencias forestales. Cataluña, España. pp: 5-7.

Vázquez-Cuecuecha O. G., E. O. Ramírez-García y J. Alba-Landa. 2004. Variación de conos y potencial de producción de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov en una población del estado de Tlaxcala, México. *Foresta Veracruzana* 6(2):31-36.

Vergara L. R. 1998. La variabilidad poblacional. In mejora genética forestal operativa. Editores R. Ipinza, B. Gutiérrez y V. Emhart Chile. pp. 40-48.

Zobel, B. y J. Talbert, 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa México. 545 p.