

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Variación Morfológica De Conos Y Semillas De Tres Poblaciones
De *Pinus estevezii* (Mart.) Perry En Nuevo León

Por:

MARILYN HURTADO HERRERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Variación Morfológica De Conos Y Semillas De Tres Poblaciones
De *Pinus estevezii* (Mart.) Perry En Nuevo León

Por:

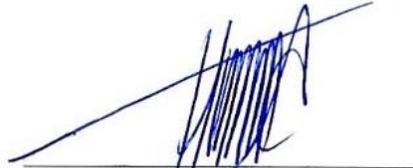
MARILYN HURTADO HERRERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría



Dr. Celestino Flores López

Asesor Principal



Dr. Alejandro Zárate Lupercio

Coasesor



M.C. Salvador Valencia Manzo

Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores

Coordinador Interino de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2023

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, graficas, 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



Marilyn Hurtado Herrera
Matricula: 41182461
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 mis padres, el señor Lorenzo Hurtado y la señora Enriqueta Herrera por su infinito amor, por su perseverancia y apoyo durante toda mi carrera, quienes realmente son los autores de este logro.

A mis abuelitos, el señor Rogelio Hurtado y la señora Lorenza González, quienes siempre me han dado su amor incondicional y creyeron firmemente en mí.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la voluntad y fuerza cada día e iluminarme con su sabiduría para poder llegar hasta aquí.

A mis padres que son el más grande tesoro que tengo, su amor es la fuerza de mi vida

A mis amigas y compañeras Jessica Nava, Karen Santiago e Itzel Solís por todos aquellos momentos compartidos, por las risas, momentos alegres y por la amistad.

Al Dr. Celestino Flores López, por dirigir este trabajo, por aquellas clases llenas de entusiasmo y profesionalidad.

Al Dr. Alejandro Zárate Lupercio, que apoyó a la revisión de este trabajo, quien para mí es un ejemplo de honestidad y trabajo.

Al M.C. Salvador Valencia, quien desde aquella primera clase mostro siempre la más grande disponibilidad de compartir sus conocimientos.

A todas aquellas personas que apoyaron directa o indirectamente a realizar este trabajo y ahora escapan de mi mente.

A todo el personal del Departamento Forestal, quienes siempre tuvieron disponibilidad para brindarme sus conocimientos.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por además de prepararme profesionalmente, me dio amistades que se convirtieron en familia, brindándome techo y comida durante toda la carrera.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo e hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry.....	5
2.1.1 Taxonomía	5
2.1.2 Importancia de la especie.....	6
2.1.3 Ecología	6
2.2 Fenotipo y variación genética	7
2.2.1 Variación morfológica y estudios relacionados.....	8
2.3 Adaptación y variación morfológica.....	9
2.4 Análisis multivariante	10
2.4.1 Análisis de componentes principales	11
2.4.2 Análisis discriminante canónico	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Localización del área de estudio	13
3.2 Descripción del área de estudio	14
3.2.1 Fisiografía	14
3.2.2 Hidrología	14
3.2.3 Edafología.....	14
3.2.4 Clima.....	14
3.2.5 Vegetación	15
3.3 Selección de árboles y colecta de conos	15

3.4 Evaluación de variables	15
3.4.1 Variables evaluadas en conos	15
3.4.2 Extracción de semillas y escamas	17
3.4.3 Variables evaluadas de las semillas	18
3.4.4 Variables evaluadas de las escamas	18
3.5 Reposición de datos faltantes	18
3.6 Eliminación de datos atípicos	21
3.7 Descripción morfológica.....	21
3.8 Análisis de componentes principales	22
3.9 Análisis discriminante canónico	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1 Descripción morfológica.....	25
4.2 Componentes principales.....	30
4.3 Discriminación canónica.....	38
5. CONCLUSIONES	43
6. RECOMENDACIONES.....	44
7. LITERATURA CITADA	45
8.ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Aspectos ecológicos de tres poblaciones de <i>Pinus estevezii</i> (Mart) Perry en estudio.....	16
Cuadro 2. Dimensiones de conos, escamas y semillas de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry (Perry, 1991) ...	25
Cuadro 3. Dimensiones de conos de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry (Domínguez-Calleros <i>et al.</i> , 2016).....	25
Cuadro 4. Dimensiones de las variables evaluadas en conos de tres poblaciones de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry.....	26
Cuadro 5. Dimensiones de las variables de escamas de tres poblaciones de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry....	27
Cuadro 6. Dimensiones de las variables evaluadas de semillas y alas de tres poblaciones de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry.....	29
Cuadro 7. Valores máximos y mínimos de las variables evaluadas en las tres poblaciones de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry.....	30
Cuadro 8. Matriz de correlación de los eigenvalores (autovalores) de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry en estudio.	32
Cuadro 9. Correlaciones de variables originales de conos y semillas con los componentes principales obtenidos en el estudio de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry.....	36
Cuadro 10. Valores de precipitación y temperaturas del periodo 2012-2014 para tres poblaciones evaluadas de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry.	38
Cuadro 11. Resumen del análisis canónico discriminante del estudio de variación morfológica de conos y semillas de tres poblaciones de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry.	39
Cuadro 12. Coeficientes canónicos brutos empleados para calcular las funciones canónicas del estudio de variación morfológica de conos y semillas de tres poblaciones de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry.....	41

Cuadro 13. Medias de clase en las variables canónicas de tres poblaciones del estudio de variación morfológica de conos y semillas de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.41

Cuadro 14. Distancia cuadrada de Mahalanobis entre las tres poblaciones del estudio de variación morfológica de conos y semillas de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.41

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica de las tres poblaciones de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry en el estado de Nuevo León, México.....	13
Figura 2. Variables evaluadas para conos de tres poblaciones <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry.....	17
Figura 3. Variables evaluadas para semillas de tres poblaciones de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry.....	19
Figura 4. Variables evaluadas de escamas de tres poblaciones de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry.....	20
Figura 5. Gráfica con el número de componentes principales para determinar las variables que aportan mayor diferenciación en el análisis de conos, escamas y semillas de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry de tres poblaciones de Nuevo León.	31
Figura 6. Gráfica comparativa de componente 1 vs componente 2, donde se muestran las tres poblaciones de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry en estudio.....	37
Figura 7. Función canónica 2 vs 1, donde se muestran las tres poblaciones de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry.....	42

RESUMEN

Los estudios de variación morfológica son importantes para diferenciar ecotipos que generan subpoblaciones genéticamente distintas y restringidas a hábitats específicos desarrollando adaptaciones para utilizarlas e introducirse a condiciones específicas para un mejor desarrollo. El objetivo general de este trabajo fue estimar que variables morfológicas de conos, escamas y semillas aportan a la diferenciación de tres poblaciones, además de discriminar o no alguna de las poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry en Nuevo León. La colecta se realizó en 2014 mediante un muestreo selectivo, tomando 10 conos por árbol, siendo 26 árboles de la población de Iturbide (IT), 28 de La Escondida (LE) y 30 de San José de Boquillas (SJB). Se midieron tres variables de conos, nueve de escamas y seis de semillas. Se compararon las dimensiones de conos, escamas y semillas con las reportadas por el autor de la especie y las obtenidas. Se realizaron análisis multivariados con el paquete estadístico SAS 9.0 a través de la técnica de análisis de componentes principales que muestra las variables que aportan a la variación entre poblaciones. Se empleó un análisis de discriminación canónica para comprobar si es que las poblaciones se pueden discriminar en base a Lambda Wilks y la distancia de Mahalanobis.

Se generó una descripción morfológica de conos, escamas y semillas distinta a la del autor original de la especie. Las variables de mayor aporte a la diferenciación entre poblaciones se encontraron en conos y escamas. Determinándose que las poblaciones estudiadas en base a Lambda Wilks tienden a discriminarse, siendo que la población de Iturbide es la más alejada de acuerdo a la distancia de Mahalanobis, mientras que La Escondida y San José de Boquillas presentaron menor distancia, siendo similares entre ellas. Se encontró una separación entre las poblaciones debido al tamaño de conos y escamas, que posiblemente se atribuye a la densidad de árboles ha^{-1} , sin embargo, de acuerdo a la media de Lambda Wilks, si se discriminan las tres poblaciones. La distancia de Mahalanobis muestra que no es posible separar las poblaciones, ya que siguen compartiendo un mismo espacio, con centroides no muy alejados entre ellas.

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

ABSTRACT

The studies of morphological variation are important to differentiate between ecotypes that generate genetically distinct subpopulations restricted to specific habitats, developing adaptations to use them and introduce themselves to specific conditions for better development. The general objective of this work was to estimate what morphological variables of cones, scales and seeds contribute to the differentiation of three populations, in addition to discriminating or not some of the populations of *Pinus estevezii* (Mart.) Perry in Nuevo León.

The collection was carried out in 2014 by selective sampling, taking 10 cones per tree. Three variables of cones, nine of scales and three of seeds were measured. A comparison was made between the dimension of cones, scales and seeds reported by the original author of the specie and those obtained. Multivariate analyzes were performed with SAS Static Package 9.0, using the principal component analysis technique, which shows which variables contribute to the variation between populations. A canonical discrimination analysis was used to test whether populations can be discriminated based on Lambda Wilks and Mahalanobis distance. A morphological description of cones, scales and seeds different from that of the original author of the specie was generated. The variables with the greatest contribution to the differentiation between populations were found in cones and scales. It was determined that the populations studied based on Lambda Wilks tend to discriminate, being that the population of Iturbide is the most distant according to the distance from Mahalanobis, while La Escondida and San José de Boquillas presented less distance, being similar between them. A separation between the populations was found due to the size of cones and scales, which is possibly attributed to the density of trees/ha-1, however, according to the mean of Lambda Wilks, the three populations are discriminated. The Mahalanobis distance shows that it is not possible to separate them, since they continue to share the same space, with centroids not too far from each other.

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

1. INTRODUCCIÓN

En México existen alrededor de 72 especies de pinos, incluyendo variedades y formas, esto lo convierte en el país con mayor número de especies registradas en todo el mundo (Perry, 1991). Siendo así, que los bosques de clima templado y frío en el país en los que predomina el género *Pinus*, representan un potencial para el desarrollo de actividades maderables y no maderables, además de aportar a los servicios ambientales (Moctezuma-López y Flores, 2020).

De acuerdo a lo anterior, los pinos son un componente de importancia dentro de la ecología de los bosques, ya que afectan a los ciclos bioquímicos, higrológicos, regulan el clima, proveen de alimento y refugio a la fauna silvestre (Richardson y Rundel, 1998). Además de aportar madera para la fabricación de muebles, leña, resinas y semillas comestibles (Farjon *et al.*, 1997).

Originalmente *Pinus estevezii* (Mart.) Perry fue descrito como *Pinus pseudostrobus* var. *estevezii* Martínez, debido a su parecido a *P. pseudostrobus* Lindl. y a *P. montezumae* Lamb, pero en mayor grado al primero, con la única diferencia de que sus ramillas son más ásperas (Martínez, 1948). Luego, Perry (1982) menciona que, al analizar muestras de oleorresinas, encontró que la composición química es completamente distinta a *P. pseudostrobus* como a *P. montezumae*, ya que en estos dos la trementina es casi completamente alfa-pineno, lo cual resulta contrastante con *Pinus estevezii* que, si contiene alfa-pineno, pero en menor cantidad y muy altos niveles de heptano y nonano.

Es importante señalar que *Pinus estevezii* tiene una distribución limitada en la Sierra Madre Oriental, en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, entre los paralelos 23°40' a 25°40'N y 99°55' a 100°30'W en altitudes que van de los 800 a 1800 msnm, donde se reportan precipitaciones de 300 a 400 mm anuales Perry (1991) con temperatura máxima de 22 °C y mínima de -3 °C.

La distribución de especies bajo diferentes condiciones altitudinales muestra variaciones morfológicas (Muños-Flores *et al.*, 2023). Esto traen consigo adaptaciones que se ven reflejadas en la parte fenotípica y esas adaptaciones se representan en mayor productividad y variación genética, considerando que esta última es la base para el mejoramiento genético (Amaral *et al.*, 2007). De ahí que, los patrones de variación son útiles para distinguir entidades taxonómicas y tomar decisiones en cuanto al manejo de estas (Sáenz-Romero *et al.*, 2012). Al realizar estudios de variación morfológica se contribuye a conocer el acervo genético de especies forestales con características deseadas, ya sean de resistencia, crecimientos e incrementos, para después emplearlas en plantaciones comerciales (Ipinza, 2015).

Con base en lo anterior, se habla de que las adaptaciones propician la acumulación de información genética que se refleja en cambios morfológicos (Hidalgo, 2003). En el caso de las características morfométricas de conos y semillas, estas ofrecen información valiosa para determinar el potencial que tienen para ser empleados como germoplasma forestal (Contreras-y-Zayas, 2009). En su análisis, Ayala-Cordero *et al.*, (2004) encontraron que si existe una correlación positiva entre el tamaño del fruto y la cantidad de semillas que producen, además de hallar que las semillas de tamaños intermedios y grandes tenían los porcentajes de germinación más altos que las pequeñas.

Así pues, las características morfológicas son el resultado de la variación genética que está estrechamente relacionada con los factores ambientales como la edafología y el clima, dado esto, las plantas han desarrollado modificaciones fenotípicas (Ramírez-Padilla y Goyes-Acosta, 2004). La variación morfológica se da en respuesta a la capacidad del genotipo de alterar su expresión en respuesta a factores climáticos (Martíns-Garbín *et al.*, 2008).

Es importante realizar análisis de variación morfológica para a través de ellos diferenciar ecotipos entre poblaciones que generan subpoblación genéticamente distinta y están restringidas a un hábitat particular, generando adaptaciones y variaciones para que a través de estas se puedan introducir en condiciones específicas para su mayor desarrollo (González-Monroy y Rojas-Martínez, 2014). Normalmente, los análisis de variación morfológica

incluyen una gran cantidad de variables, es por ello que se opta por realizar análisis multivariantes que reducen a las dimensiones para poder utilizar a las variables que proporcionan la mayor parte de la información original (Tranque-Pascual *et al.*, 2022).

En relación lo anterior se han realizado distintos estudios que pretenden brindar información precisa sobre la variación morfológica en conos y semillas de distintas especies de coníferas. Por ejemplo, Iglesias *et al.* (2012) examinaron variaciones morfométricas en dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* Lindl. del estado de Veracruz. Por otro lado, Sáenz-Romero *et al.* (2012) realizaron un trabajo con el propósito de explorar la existencia de elementos para reconocer la variedad *cornuta*, al compararla con la típica *Pinus devoniana* a lo largo de un gradiente altitudinal en el estado de Michoacán. Asimismo, el estudio de Vázquez-Cuecuecha (2004) sobre potencial de producción de semillas y variación en conos y semillas de *Pinus oaxacana* Mirov en una población del estado de Tlaxcala, México.

Por lo tanto, el propósito de este trabajo es aportar a la descripción original de *Pinus estevezii*, además de mostrar cuales son las variables de conos, escamas y semillas que más aportan a la diferenciación entre poblaciones y si es que alguna de ellas se puede discriminar al resto.

1.1 Objetivo e hipótesis

Objetivo general

Estimar las variables morfológicas de conos, escamas y semillas que diferencian a las tres poblaciones de *Pinus estevezii* en Nuevo León.

Objetivos específicos

1. Analizar de forma descriptiva las características morfológicas de conos, escamas y semillas entre tres poblaciones de *Pinus estevezii* en Nuevo León.
2. Determinar las variables morfológicas de conos, escamas y semillas que contribuyen en mayor grado a esta diferenciación entre poblaciones.

3. Determinar si se discrimina o no alguna de las poblaciones evaluadas.

Hipótesis

Ho. Las acumulaciones de los dos primeros componentes no aportan el 70% de la variación.

Ha. Al menos las acumulaciones de los dos primeros componentes aportan el 70% de la variación.

Ho. Ninguna de las poblaciones tiende a discriminarse al resto con base en el valor de Lambda Wilks y la distancia de Mahalanobis.

Ha. Al menos una población tiende a discriminarse al resto con base en el valor de Lambda Wilks y la distancia de Mahalanobis.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 *Pinus estevezii* (Mart.) Perry

Es un árbol de altura mediana que va de los 15 a 20 m, con un diámetro normal de 75 a 100 cm, copa espesa y redonda con ramas bajas, grandes y horizontales. Cuando son jóvenes tienen una apariencia arbustiva densa y ligeramente piramidal. Los árboles maduros tienen corteza gruesa y rojiza con profundas fisuras horizontales y verticales (Perry, 1991).

Las hojas están en grupos de 5, raramente 4 en algunos fascículos, de 20 a 36 cm de largo, pero más comúnmente de 20 a 30 cm, triangulares, de color verde claro, brillantes, algo tiesas y ásperas, con bordes finamente aserrados. Vainas de 15 a 30 mm de color castaño cuando son jóvenes y cenicientas después. Los conos son de color café amarillento, levemente lustrosos, largamente ovoides, acuminados, oblicuos, asimétricos y reflejados, de 10 a 13 cm de longitud; colocados en pares o en grupos de 3 a 4 en pedúnculos de 10 mm. Escamas duras y fuertes, más desarrolladas, las del lado externo del cono, de 30 mm de largo por 15 de ancho; de ápice anguloso o redondeado, apófisis subpiramidal, levantada unos 7 mm en las escamas externas; cúspide cenicienta, con espina fuerte y persistente de 1 a 1.5 mm (Martínez, 1948). La semilla es de color marrón oscuro, de 6 a 7 mm de longitud, con un ala articulada de 25 mm de largo y de 7 a 9 mm de ancho de color marrón (Perry, 1991).

2.1.1 Taxonomía

En su descripción taxonómica, originalmente Martínez (1948) llama a la especie como *Pinus pseudostrobus* var. *estevezi* debido a su parecido con *P. pseudostrobus* Lindl., y *P. montezumae* Lamb., sin embargo, él notó diferencias en el cono, lo cual hizo que lo considerará como variedad de *P. pseudostrobus*. Encontró que se distingue de *P. pseudostrobus* por sus ramillas ásperas, ya que, las bases de las brácteas son más salientes, el hipodermo es más grueso e irregular, el cono largamente ovoide y acuminado, fuerte, oblicuo y asimétrico, escamas muy duras, apófisis levantada provista de una espina

persistente. El parecido que tiene con *P. montezumae* se debe a sus hojas fuertes y por su hipodermo grueso y penetrante.

Además, existen diferencias en cuanto a la composición química de oleorresinas ya que, Perry (1982) descubrió que tanto *P. pseudostrobus* como *P. montezumae* tienen una composición química distinta a la de *Pinus estevezii*, porque este contiene niveles más bajos de alfa-pineno que los otros dos, además de contener altos niveles de heptano y nonano, componentes que no se presentan en las especies antes mencionadas, es por ello que lo reclasificó dándole el grado de especie nombrándolo *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

2.1.2 Importancia de la especie

Tapia y Nívar (2011) hacen referencia a la especie como una de las más importantes de la industria forestal en la Sierra Madre Oriental, específicamente en Nuevo León.

Sin embargo, Perry (1991) señala no haber encontrado evidencia de tocones cortados para la industria del aserrío, pero si algunos árboles que fueron cortados para su uso como leña o combustible.

2.1.3 Ecología

En su descripción, Farjon *et al.* (1997) mencionan que *P. pseudostrobus* var. *estevezi* Martínez se encuentra en un hábitat montano o de altas montañas en bosques de pino o pino-encino. De igual manera, Perry (1991) dice que las especies asociadas son *P. cembroides* Zucc. y *P. arizonica* Engelm. var. *stormiae* Martínez. Por ello, esta especie se puede encontrar más comúnmente como árboles dispersos y ocasionalmente en pequeños grupos en lugares con precipitaciones que pueden ir de los 300 a 400 mm anuales sobre altitudes que van de los 800 a 1800 msnm, con distribución restringida para los estados de Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas. En contraste Farjon *et al.* (1997) mencionan que se le puede observar desde los 850 a los 3250 msnm. Por lo tanto, los rangos altitudinales pueden ser de 800 a 3250 msnm.

2.2 Fenotipo y variación genética

El genotipo es un grupo de alelos dentro de un organismo, mientras que el fenotipo se refiere a la aparición de ciertas características, ya sean físicas, fisiológicas, de conducta o bioquímicas, que pueden ser medibles y son el resultado de la interacción del genotipo y su ambiente (Pierce, 2009).

Los caracteres que conforman el fenotipo en su mayoría corresponden a la morfología de la planta y su arquitectura, a estos se les llama descriptores morfológicos y se agrupan en botánicos-taxonómicos que corresponden a las características morfológicas que describen e identifican a la especie teniendo una alta heredabilidad con poca variación, por otra parte, están los morfoagronómicos que son las características morfológicas relevantes o de interés de tipo cualitativo y cuantitativo que en dado caso puede ser las hojas, los frutos, semillas y la arquitectura de la planta y por último están los evaluativos que aparecen como respuesta a factores bióticos como plagas y enfermedades o abióticos como estrés por temperatura, agua y nutrientes expresándose en características cualitativas (Hidalgo, 2003).

De este modo, el medio ambiente es el conjunto de componentes fisicoquímicos y biológicos capaces de causar efectos directos e indirectos, a corto y largo plazo, sobre los seres vivos (Zerón, 2011). El fenotipo es la respuesta a la interacción entre el genotipo y el medio ambiente, por ello cuando por causas ya sean naturales o artificiales, las especies llegan a un nuevo ambiente comienzan un proceso evolutivo donde aparecen variaciones genéticas para poder adaptarse a las condiciones ambientales (Hidalgo, 2003).

Entonces, la variación genética es la diferencia en el ADN que existe entre los individuos de una población o entre poblaciones. Las fuentes de variación son la mutación y la recombinación genética (Price, 2009). Dicho esto, hay que especificar que las mutaciones son el origen de la variación, ya que permiten la aparición de nuevas formas (Brauer-Herrera, 1983). Conjuntamente, la variación dentro de una misma especie es de importancia debido a que determina la forma en la que la especie es aprovechada o conservada. Cuando existe poca diferencia entre poblaciones, la pérdida de alguna no es muy grave porque solo se está

perdiendo una unidad genética, pero cuando las poblaciones son altamente distintas, eso significa que cada una representa un recurso único y hay que conservarlo (Furnier, 2004).

Toda la variabilidad se almacena en el genoma y puede aparecer en características que permitan ser identificadas o no, por ello la variación se clasifica en dos clases: la que expresa características visibles (fenotipo) y la que no presenta características visibles (genotipo), pero si procesos o productos internos que solo se pueden identificar a través de biología molecular (Hidalgo, 2003).

La variabilidad detectable visiblemente se divide en varios tipos: el primero son las características que definen la morfología y arquitectura que se utiliza para la clasificación taxonómica y botánica. El segundo se refiere a las características de manejo y producción de interés para mejoradores genéticos. Y el tercero habla de las características que aparecen como reacción al medio ambiente y son visibles. Por otro lado, la variabilidad no detectable a simple vista se denomina molecular porque identifica los productos y funciones de las células y todas las técnicas para detectar esta variabilidad son de laboratorio y se agrupan en los marcadores moleculares (Hidalgo, 2003).

2.2.1 Variación morfológica y estudios relacionados

Fernández-Galindo (2013) en su investigación variación morfológica de conos y semillas en cinco poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don, en Baja California, México, estimó la magnitud de variación morfológica de 14 variables de conos (Longitud del cono mm; AC = Ancho del cono mm, escamas (LE = Longitud de la escama mm; AQ = Ancho de la quilla mm; GE = Grosor de la escama mm; LUQE = Longitud del umbo, quilla y espina mm) y semillas (LS = Longitud de la semilla mm; AS = Ancho de la semilla mm; GS = Grosor de la semilla mm; LALA = Longitud del ala con la semilla; AALA = Ancho del ala mm) en cinco poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don, en Baja California, encontrando que las 14 variables morfológicas de las cinco poblaciones presentaron diferencias altamente significativas y las variables morfológicas longitud del ala con la semilla, longitud de la semilla, grosor de la semilla,

diámetro del cono y longitud del umbo, quilla, y espina, son las que más distinguen una población de otra.

De igual forma, se ha evaluado la variación de conos y semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl Márquez-García (2007), con el objetivo de encontrar las diferencias morfológicas entre familias de *P. pseudostrobus* en una población localizada en el municipio de Coacoatzintla, Veracruz, México. Para el cono se evaluaron datos de longitud y diámetro en mm, para semillas se evaluó la longitud y ancho. Donde en lo que respecta a conos a través de un análisis de variación se encontró que, si existe variación en el tamaño de conos, para peso de semillas se identificó un $p \leq 0.05$, lo cual indica que las diferencias son significativas entre las familias analizadas. Para el diámetro de la semilla se reportó un $P \leq 0.05$, señalando que hay diferencias significativas para diámetro de semillas. Así que la variación encontrada pudo ser observada primeramente dentro de árboles, siendo inclusive igual o más significativa que entre la variación que se da entre familias.

Por su parte, Muñoz Flores *et al.* (2023) realizaron un análisis de variación morfológica en semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. altamente productores de resina de 48 familias resineras de tres gradientes altitudinales, el primero de 2200-2400 msnm, el segundo de 2401-2600 y el tercero de 2601-2800 msnm y se evaluaron las variables: ancho, largo, peso y germinación, número de semillas por kilogramo y contenido de humedad de la semilla. Se encontraron diferencias significativas tanto como para gradientes como para familias, el tamaño, peso de la semilla y porcentajes de germinación fueron mayores en los gradientes 1 y 2; en número de semillas existe diferencia estadística ($p \leq 0.05$) entre familias en cada gradiente con 35,760 a 108,966 semillas (kg^{-1}).

2.3 Adaptación y variación morfológica

La variabilidad se desarrolla como una respuesta a la adaptación, ya que existe una relación entre los organismos y las condiciones donde se desarrollan, los individuos de una población están en una interacción dinámica de adaptación con los factores que los rodean, ya sean bióticos o abióticos, cada especie adapta la información de su genoma de acuerdo a las

necesidades para sobrevivir en un medio determinado acumulándose información genética que se expresa en variantes y se va transmitiendo (Hidalgo, 2003).

Así surgen las adaptaciones, que son rasgos heredables de la variación que se han elegido para satisfacer alguna necesidad concreta. Las adaptaciones son características que poseen los individuos como ventajas para sobrevivir y reproducirse en un ambiente dado. Los rasgos adaptativos están categorizados en morfológicos, fisiológicos y etológicos. Los rasgos morfológicos son características anatómicas que en un ambiente determinado representan una ventaja para sobrevivir y reproducirse. Los rasgos fisiológicos son características funcionales como la actividad metabólica y por último los rasgos etológicos, son comportamientos que favorecen a la supervivencia como la migración (Delgado-Iniesta, 2018).

En coníferas, las variaciones que generan la adaptación se pueden presentar en las dimensiones de conos, escamas y semillas, como menciona Viveros-Viveros (2013), las poblaciones de especies forestales con distribución a través de gradientes altitudinales tienden a diferenciarse en sus caracteres morfológicos debido a las distintas condiciones que se presentan a través de esos gradientes.

2.4 Análisis multivariante

El uso de análisis multivariados es de importancia en el análisis de variación morfológica debido a que se analiza e interpreta la información contenida en un conjunto de variables, reduciendo la cantidad de variables sin perder la interacción o grado en que se afectan unas con otras (Garza-García *et al.*, 2013). Este tipo de análisis estudia, representa e interpreta los datos que se obtienen de observar un número $p > 1$ de variables de una muestra de n individuos. Las variables son homogéneas y correlacionadas, además de que ninguna variable prepondera sobre otras y la información es multidimensional (Cuadras, 2019).

El objetivo de este tipo de análisis es resumir un conjunto de variables en pocas nuevas variables, además de transformar las variables originales con la mínima pérdida de

información, formar grupos con los datos en caso de que existan, además de clasificar nuevas observaciones en grupos definidos y relacionar dos conjuntos de variables (Peña, 2002).

2.4.1 Análisis de componentes principales

Esta técnica es uno de los primeros métodos multivariantes que se han utilizado, se trata de sintetizar datos aportados de un conjunto de variables K en un conjunto de componentes W , eso significa que $W < K$ y cada componente W es una combinación lineal de las K variables (Álvarez-Cáceres, 1995). Los componentes principales se ordenan de modo decreciente de importancia, que no estén correlacionados, el primer componente explica tanto de la variabilidad de los datos como sea posible y así cada componente secundario tome la variabilidad restante (Johnson, 2000).

El análisis de componentes principales se puede realizar sobre una matriz de varianza-covarianza de las muestras o una matriz de correlación. Para que los datos sean más fáciles de comprender y comparar en este análisis se estandarizan, para así lograr que las unidades medidas sean comparables (Johnson, 2000).

2.4.2 Análisis discriminante canónico

Son análisis del tipo multivariante en donde se busca explicar las diferencias que existen entre grupos (poblaciones) con el objetivo de clasificar nuevas observaciones en los grupos preestablecidos a partir de determinados atributos que se conocen. Para esto, a través de los datos de las mediciones se generan variables canónicas que son combinaciones lineales que resumen la variación entre las clases. En cierto grado son muy semejantes a los componentes principales, pero la diferencia radica en que en el análisis de componentes principales se obtienen nuevas variables (Componentes) que tratan de explicar la variación, mientras que el análisis discriminante, a través de una variable nueva, busca las razones de la separación de las poblaciones. Una de las utilidades más importantes de las funciones canónicas, es el poder visualizar la distancia real entre poblaciones en espacios bidimensionales para definir

si se discriminan o no (Johnson, 2000; Garza-García *et al.*, 2013). Es por ello por lo que se seleccionó este método para poder discriminar a las poblaciones.

La separación de las poblaciones o grupos, es medida a través de Lambda Wilks que evalúa la capacidad discriminante de la función y expresa la proporción de la varianza total explicada por los puntajes discriminantes. Por su parte, la distancia de Mahalanobis expresa una medida de disimilaridad, es decir, cuando más pequeño es su valor, más parecidas son las poblaciones.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

En el año 2014 del 13 al 28 de diciembre se realizaron las colectas de conos de *Pinus estevezii* en tres poblaciones del estado de Nuevo León. La primera corresponde a San José de Boquillas (SJB), Santiago, con coordenadas $25^{\circ}21'18.88''N$ $100^{\circ}19'5.85''O$ a 1813 msnm, la segunda corresponde a Iturbide (IT), municipio, con las coordenadas $24^{\circ}43'9.21''N$ $99^{\circ}53'49.55''O$ a 1507 msnm y la tercera fue La Escondida (LE), Aramberri, con coordenadas $24^{\circ}10'45.44''N$ $99^{\circ}54'37.84''O$ a 1925 msnm (Figura 1).

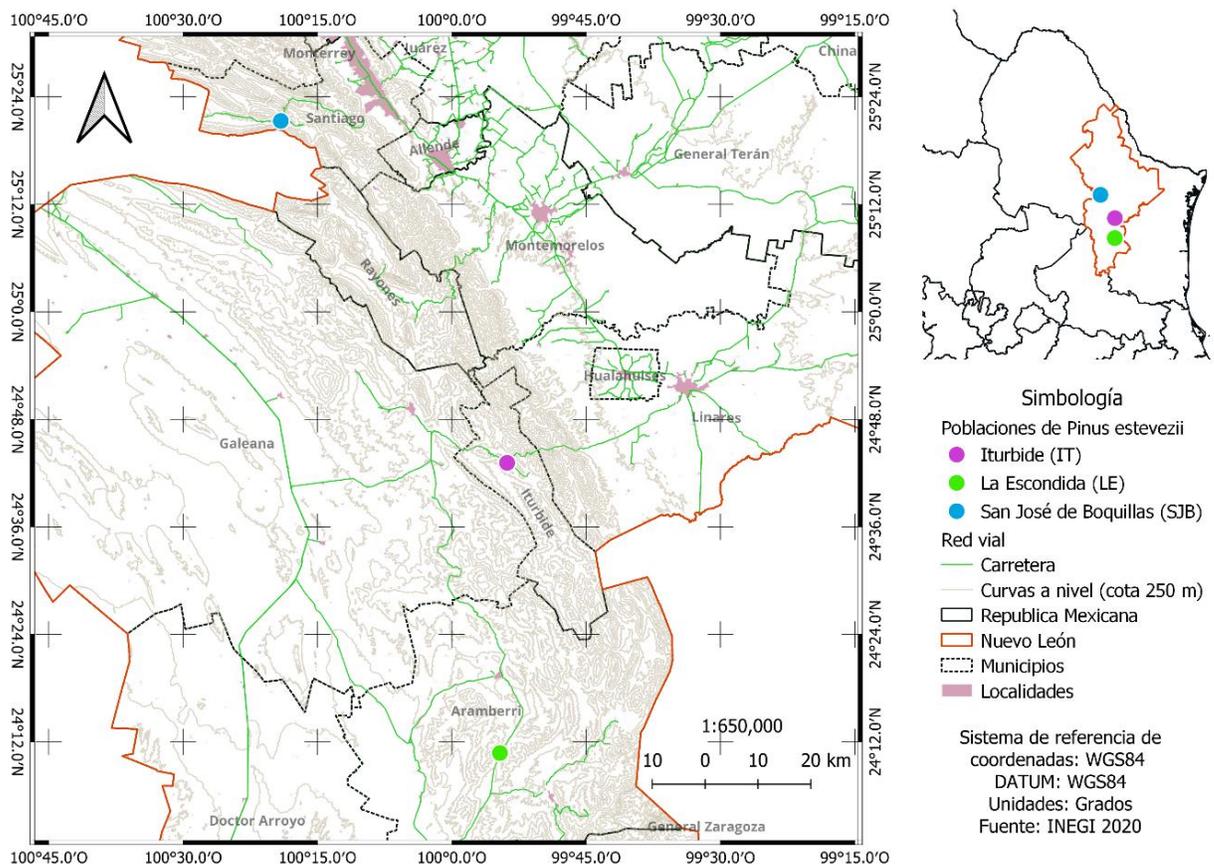


Figura 1. Ubicación geográfica de las tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry en el estado de Nuevo León, México.

3.2 Descripción del área de estudio

3.2.1 Fisiografía

Las tres poblaciones se encuentran en la subprovincia fisiográfica denominada Gran Sierra Plegada de la Provincia Sierra Madre Oriental (INEGI, 2001a; INEGI, 2001b), dicha provincia alcanza una altitud de 3,900 msnm y se extiende 1,000 km con un ancho que va desde 60 hasta 200 km con relieves montañosos, colinas, valles y planicies, la vegetación es perennifolia y caducifolia como encinos y pinos (Baca-Venegas, 2000) (Cuadro 1).

3.2.2 Hidrología

La población Iturbide (IT) se ubica dentro de Región Hidrológica 25 San Fernando Soto La Marina, en la cuenca Río San Fernando, dentro de la subcuenca El Ebanito-El Conejo. El sitio denominado La Escondida (LE) se localiza en la misma región hidrológica y cuenca, a excepción de la subcuenca que pertenece a Arroyo Alto Blanco. La localidad San José de Boquillas (SJB) se halla en la Región Hidrológica 24 Bravo Conchos, en la cuenca Río Bravo-San Juan de la subcuenca Tunalillo-El Potrero (CONABIO, 1998a; CONABIO, 1998b) (Cuadro 1).

3.2.3 Edafología

Para las tres poblaciones se reportan suelos litosoles (INIFAP y CONABIO 1995), los cuales son suelos someros, con material parental, de roca continua o de materiales no consolidados, estos suelos se encuentran en regiones secas, cálidas y frías, tienen potencial para el pastoreo en estación húmeda y para uso forestal (FAO, 2007) (Cuadro 1).

3.2.4 Clima

San José de Boquillas (SJB) e Iturbide (IT) reportaron climas de tipo semicálido subhúmedo (A)C(w1) con temperatura media anual de 18 a 20 °C, para el mes más caluroso mayor de

22 °C y el más frío menor a 18 °C, con precipitación anual de 500 a 600 mm. Para La Escondida (LE) el clima es semiárido templado BS1k(x') con temperatura media anual de 16 a 18 °C, máxima de 22 °C y mínima de -3 °C con precipitación de 500 a 600 mm anuales (García y CONABIO, 1998) (Cuadro 1).

3.2.5 Vegetación

De acuerdo con INEGI (2021) las poblaciones se encuentran dentro de bosques de pino-encino, que son comunidades con una gran distribución ocupando una vasta superficie en los sistemas montañosos del país, donde se encuentran distintas especies de *Pinus* y *Quercus* (López-Cano, 2018) (Cuadro 1).

3.3 Selección de árboles y colecta de conos

En la selección de los árboles se tomó en cuenta aquellos que tuvieron producción de conos, y que al menos tuvieran una distancia mínima de 50 m entre árbol y árbol. De la población La Escondida (LE) se seleccionaron 28 árboles, de San José de Boquillas (SJB) 30 y de Iturbide (IT) 27, a cada árbol seleccionado, se le cortaron los 10 conos desarrollados (evitando los conos abortados) y cada uno de estos se colocó en una bolsa de papel y que fue etiquetada con el acrónimo de la población, el número de árbol y número de cono.

3.4 Evaluación de variables

3.4.1 Variables evaluadas en conos

La primera variable fue el peso en gramos de cada uno de los conos (PC), el cual se obtuvo con una báscula digital con precisión de 0.01 gr. La segunda variable obtenida fue el largo de cada cono (LC) (Figura 2), que se midió en milímetros con la ayuda un vernier digital de 0.01 mm de precisión. La tercera variable medida fueron dos diámetros (DC) en milímetros tomados en forma de cruz en la parte más ancha de cada cono (Figura 2), cabe señalar que

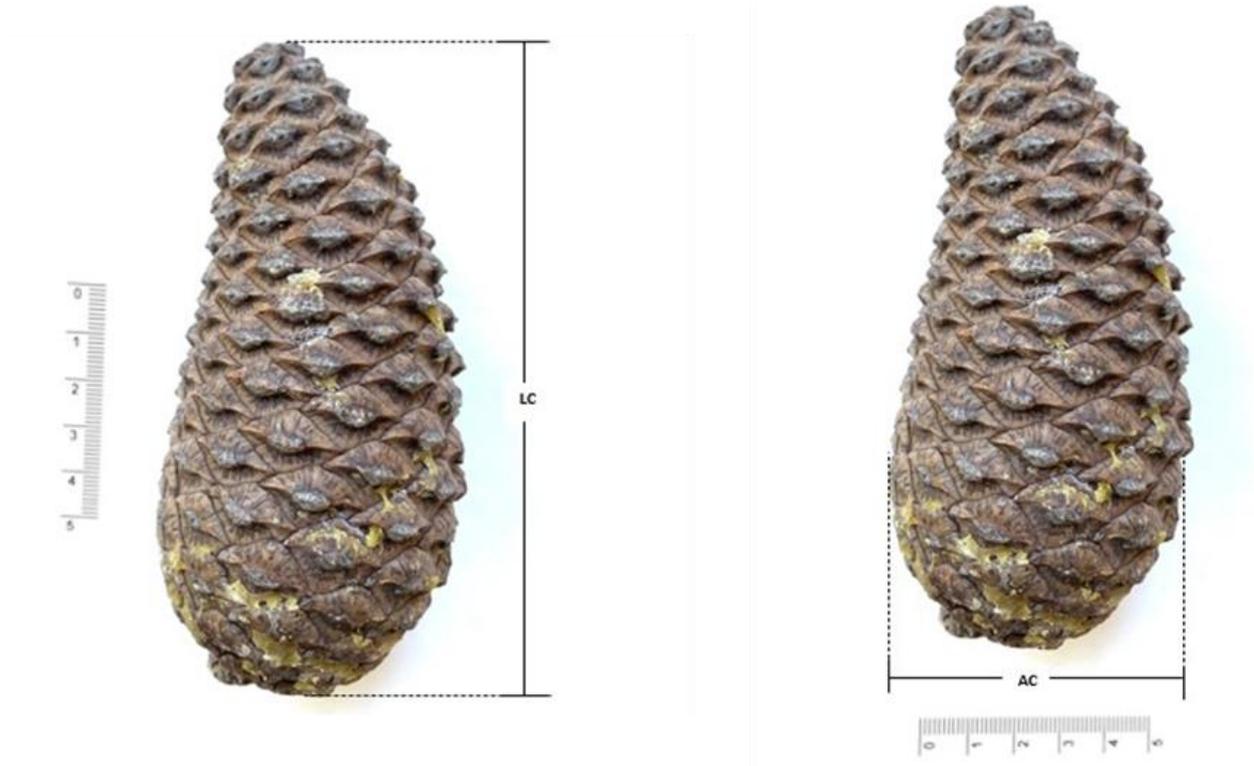
Cuadro 1. Aspectos ecológicos de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart) Perry en estudio.

Población	Acronimo	Localización	Árboles colectados	Coordenadas y altitud	Fisiografía	Clima	Temperatura media anual	Edafología	Uso de suelo y vegetación	Cuenca Hidrológica
San José de Boquillas	SJB	Santiago, Nuevo León	30	25°21'18.88"N 100°19'5.85"O 1813 msnm	Provincia Sierra Madre Oriental Subprovincia Gran Sierra Plegada	(A)C(w1) Semicálido subhúmedo	18-20 °C Precipitación de 500-600 mm	Litosol	Bosque de pino-encino	RH-24 Bravo Conchos Cuenca Río Bravo-San Juan
Iturbide	IT	Iturbide, Nuevo León	26	24°43'9.21"N 99°53'49.55"O 1507 msnm		(A)C(w1) Semicálido subhúmedo	18-20 °C Precipitación de 500-600 mm	Litosol	Bosque de pino-encino	RH- 25 San Fernando Soto La Marina Cuenca Río San Fernando
La Escondida	LE	Aramberri, Nuevo León	28	24°10'45.44"N 99°54'37.84"O 1925 msnm		BS1k(x´) Semiárido templado	16-18 °C Precipitación de 500-600 mm	Litosol	Bosque de pino-encino	RH- 25 San Fernando Soto La Marina Cuenca Río San Fernando

Dónde: RH = Región Hidrológica

Fisiografía obtenida de (INEGI, 2001a; INEGI, 2001b), Clima y temperatura obtenido de García y CONABIO (1998), Edafología obtenida de INIFAP y CONABIO (1995), Uso de suelo y vegetación obtenido de INEGI (2021), Hidrología obtenida de CONABIO (1998a) y CONABIO (1998b).

algunos conos ya estaban abriendo sus escamas y con la finalidad de poder tomar las mediciones, estos se colocaron en una prensa para facilitar la toma de datos de diámetro.



Dónde: Longitud del cono (LC) y Diámetro del cono (DC) en mm.

Figura 2. Variables evaluadas para conos de tres poblaciones *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

3.4.2 Extracción de semillas y escamas

Una vez obtenidas las mediciones anteriores, los conos fueron sacudidos uno por uno para extraer las semillas de los que ya estaban abriendo, dichas semillas fueron colocadas en bolsas identificándolas según su población, árbol y número de cono correspondiente.

Al concluir este proceso, cada cono fue sumergido completamente en agua durante una hora para después ser colocados en la estufa de secado a una temperatura de 40°C durante una semana para así facilitar que abrieran y liberaran toda la semilla.

Cuando los conos se retiraron de la estufa, las escamas no abrieron por completo, por ello fue necesario recurrir a un proceso mecánico de cortado. En donde con la ayuda de una

prensa, cada cono era sostenido de forma horizontal para posteriormente ser cortados a 1/3 de la base con la ayuda de una sierra alternante inalámbrica.

Después del cortado, las escamas eran removidas del cono manualmente hasta llegar a la parte media, donde se extraían las 5 escamas y 10 semillas más grandes, dichas escamas y semillas fueron colocadas en bolsas debidamente etiquetadas con el nombre de la población, el número de árbol y el número de cono.

3.4.3 Variables evaluadas de las semillas

Para las 10 semillas seleccionadas, con ayuda de un vernier digital de 0.01 mm de precisión, la primera variable que se midió fue la longitud de la semilla (LS), la segunda variable fue el ancho de semilla (AS), la tercera variable fue el grosor de la semilla (GS), la cuarta variable fue la longitud de ala (LAL) y por último se tomó el ancho del ala (AAL). Todas las variables fueron medidas en milímetros (Figura 3).

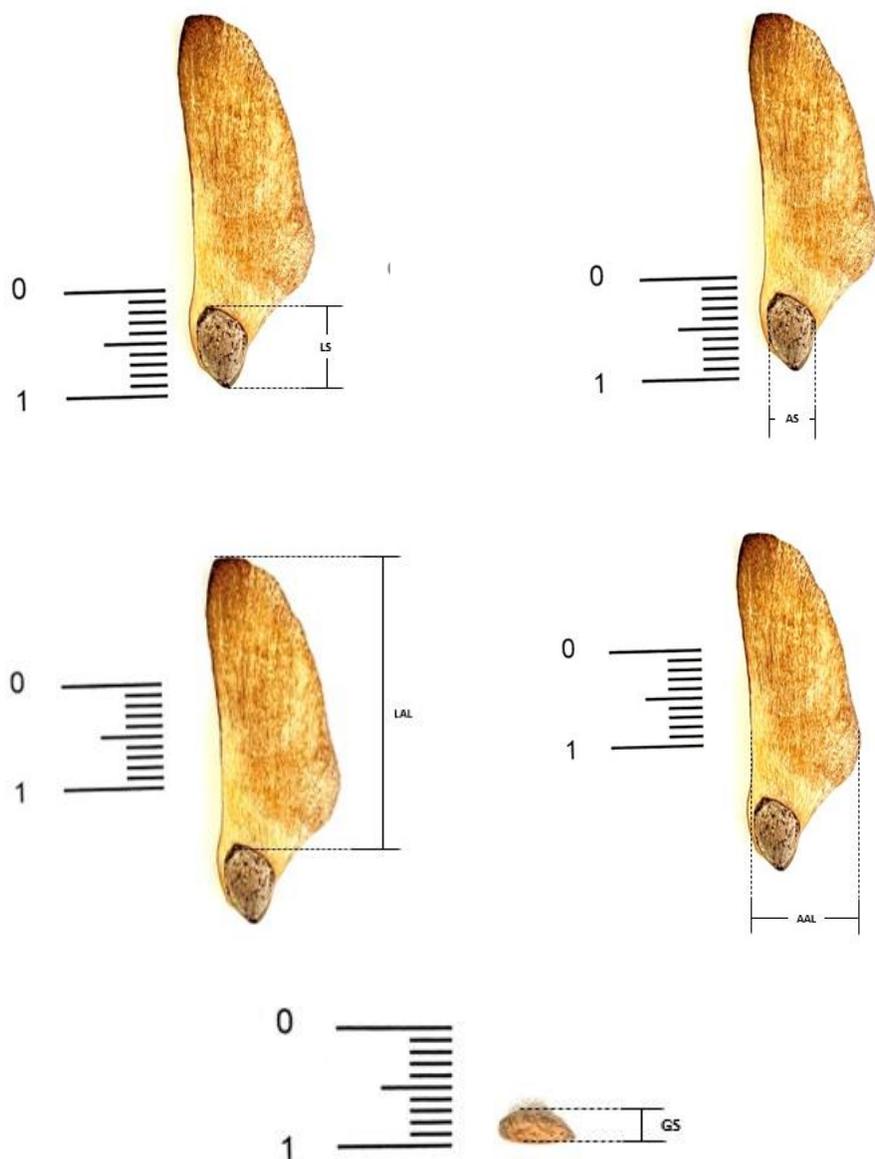
3.4.4 Variables evaluadas de las escamas

Para las escamas la primera variable que se midió con un vernier digital de precisión 0.01 fue la longitud de la escama (LE), la segunda fue la longitud de la apófisis (LA), la tercera el ancho de apófisis (AA), la cuarta altura de apófisis (HA), la quinta longitud del umbo (LU), la sexta fue el ancho del umbo (AU), la séptima altura del umbo (HU) y la octava fue la altura de la espina (HE). Todas las variables se midieron en milímetros (Figura 4).

3.5 Reposición de datos faltantes

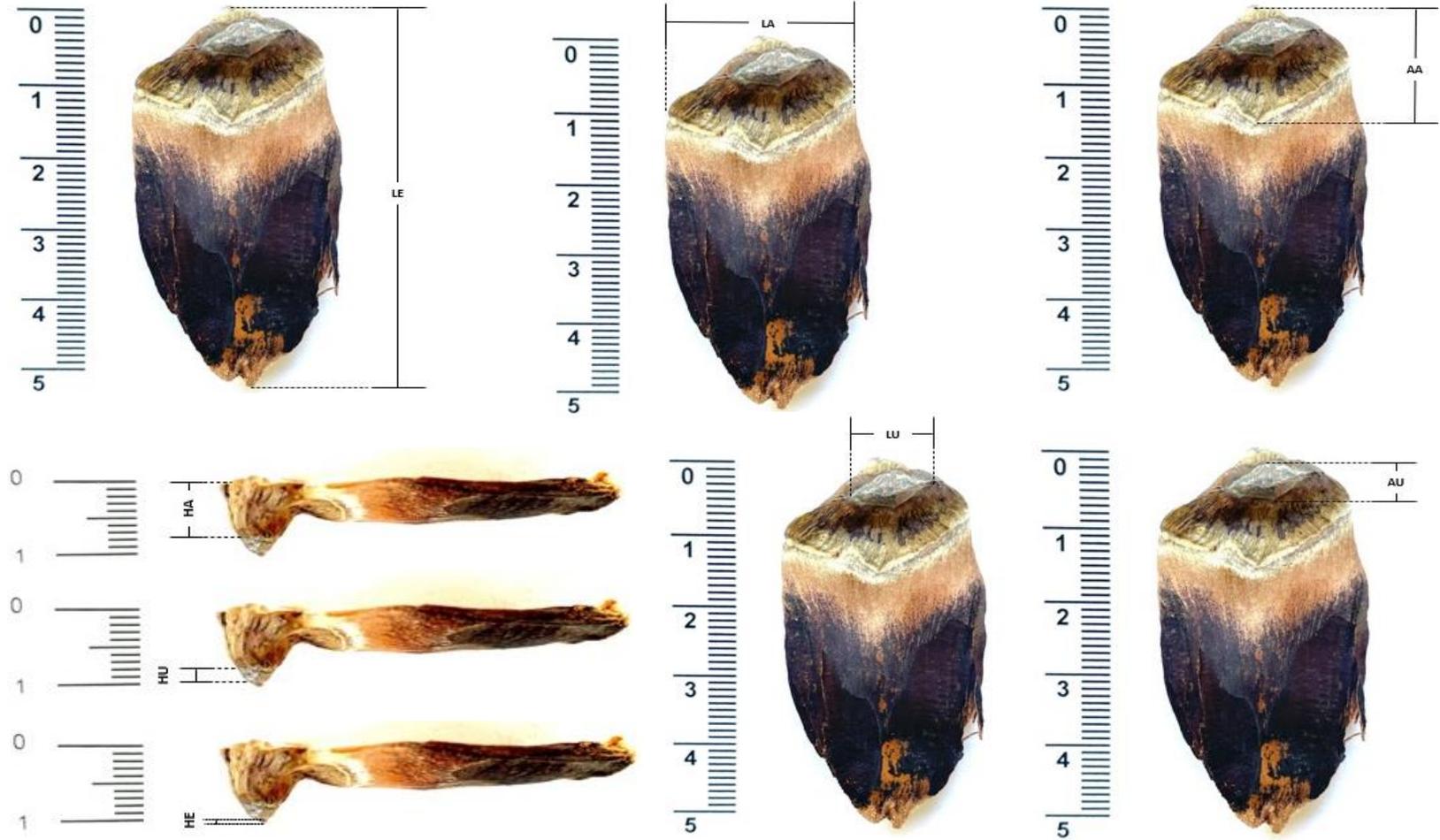
Debido a que, durante la evaluación de conos, escamas y semillas, se recibió apoyo de varias personas, algunas muestras se extraviaron durante este proceso. El extravío de dichas muestras conllevó a la pérdida de datos de dimensiones de conos, escamas y semillas, por lo tanto, se recurrió al método descrito por Useche-Castro y Mesa-Ávila (2006), que

corresponde al de imputación simple a través de la media, donde el dato faltante de cada una de las variables se llena con la media de los datos no faltantes.



Dónde: Longitud de la semilla (LS), Ancho de la semilla (AS), Longitud de ala (LAL), Ancho del ala (AAL) y Grosor de semilla (GS) en mm.

Figura 3. Variables evaluadas para semillas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



Dónde: Longitud de escama (LE), Longitud de apófisis (LA), Ancho de apófisis (AA), Altura de apófisis (HA), Longitud del umbo (LU), Ancho del umbo (AU), Altura del umbo (HU) y Altura de espina (HE) en mm.

Figura 4. Variables evaluadas de escamas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry

En este caso los datos de árboles a los que les faltaban conos, pero si tenían algunos, estos fueron sustituidos con el promedio de los existentes, una vez realizado esto, se llenaron los datos de árboles a los que les faltaban todos los datos con el promedio general de toda la población para todas las variables, esto se realizó ya que solo faltaban 2 conos y se consideró que no afectaban significativamente a las estadísticas poblacionales. En el caso particular de la altura de la espina (HE), para las tres poblaciones (SJB, IT, LE) donde no se tenía el dato, este se calculó a través de la metodología de imputación simple por regresión, que consiste en utilizar modelos de regresión para imputar información en la variable Y (dependiente), a partir de un grupo de variables X (Independiente) correlacionadas (Medina y Galván, 2007).

El procedimiento consistió eliminar las observaciones con datos incompletos, realizar un análisis de correlación en el paquete estadístico SAS 9.0 con el procedimiento PROC CORR para obtener la variable independiente que más se correlacionara a la altura de espina (HE) quien es la variable de respuesta y después se ajustó una ecuación de regresión para predecir los valores faltantes. Las ecuaciones que a continuación se muestran fueron las correspondientes para cada población: Iturbide (IT) $Y = 0.25243567 + 0.0108949 (LA)$, La Escondida (LE) $Y = 0.28347847 + 0.02806718 (HU)$ y San José de Boquillas (SJB) $Y = 0.48315325 + (-0.01120715) (LU)$.

3.6 Eliminación de datos atípicos

Una vez completas las bases de datos de las tres poblaciones tanto de conos, semillas y escamas, a través de SAS 9.0 con el procedimiento PROC UNIVARIATE se realizó la identificación de outliers examinando la distribución de las observaciones de cada variable, tomando como atípicos aquellos que estuvieran fuera de los rangos de distribución que se establecieron gráficamente a través de diagramas de caja.

3.7 Descripción morfológica

Con la descripción que presentan Perry (1991) y Domínguez Calleros *et al.* (2016) se realizó un resumen donde se describen las dimensiones de conos, escamas y semillas de *Pinus*

estevezii que colectaron (Cuadro 2 y 3), se realizó una comparación con las variables descritas por los autores y las evaluadas con los datos obtenidos en SAS 9.0 a través de PROC MEANS (Cuadro 4, 5 y 6).

3.8 Análisis de componentes principales

A través de un análisis de componentes principales, se transformaron las variables correlacionadas de respuesta en un número menor de variables no correlacionadas a las cuales se les llamó componentes principales, donde estos tratan de explicar el mayor grado de variación (Johnson, 2000). Dicho análisis se realizó en el programa SAS 9.0 con el procedimiento PROC PRINCOMP. El grado de aportación a la variación que se debe explicar en los componentes se estableció, como menciona Johnson (2000), quien dice que para datos de campo se debe explicar entre el 70-75% de la variación total a través de la acumulación de los componentes.

Para determinar el número de componentes que generaban la diferenciación del 70-75% se utilizó el método de gráfica SCREE, que se construyó con el programa SigmaPlot 10.0, utilizando los valores de cada eigenvalor (autovalor) contra el recíproco. A partir de que los puntos de la gráfica comenzaron a nivelarse y eran muy cercanos a cero, estos componentes se descartaron (Johnson, 2000).

Para cada componente, por criterio propio se seleccionaron las variables con mayor correlación tanto positiva como negativa, ya que estas son las que más aportan al porcentaje de variación que explica cada componente (Johnson, 2000; Restrepo *et al.*, 2012; Cambrón-Sandoval *et al.*, 2014).

3.9 Análisis discriminante canónico

Para estimar si existía separación entre poblaciones se analizaron los datos a través del procedimiento discriminante canónico (CANDISC) en el programa SAS 9.0.

Dentro del CANDISC, se calculó el valor de Lambda Wilks y la distancia de Mahalanobis.

Lambda Wilks se calcula de la siguiente manera:

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

Λ = Valor de Lambda Wilks.

$|W|$ = Determinante de la matriz de varianza y covarianza dentro de cada grupo, es decir, la variación no explicada.

$|T|$ = Determinante de la matriz de varianza y covarianza del conjunto de datos.

De acuerdo con Garza-García *et al.* (2013), si el valor de Lambda Wilks es cercano a cero, esto indica discriminación, si es cercano a uno indica poca diferencia entre los grupos.

Luego se definió la correlación canónica que mide el grado en el que se diferencian las medias por cada una de las funciones. La correlación canónica oscila entre cero y uno, un valor cercano a cero indica que no se puede explicar la existencia de los grupos por medio de las variables discriminantes escogidas, un valor cercano a 1 indica una fuerte relación entre el grupo de pertenencia y los valores de la función discriminante (Garza-García *et al.*, 2013). La correlación canónica se expresa así:

$$\text{Correlación canónica} = \sqrt{1 - \Lambda}$$

Λ = Valor de lambda Wilks

Las dos primeras funciones canónicas se definen a partir de los valores de los datos no estandarizados (en bruto) como se muestra a continuación:

$$CAN1=XIJ*(xi)\dots n$$

$$CAN2=XIJ*(xi)\dots n$$

CAN1 = Primera función canónica en bruto

CAN2 = Segunda función canónica en bruto

XIJ = valor de la variable canónica para la variable evaluada

xi = media de la variable (del total de los árboles).

Después de tener las funciones canónicas se midió la distancia de Mahalanobis que existía entre los centroides de cada población, dicha distancia se calcula así:

$$d_{ij} = [(X_i - X_j) S^{-1} (X_i - X_j)]^{\frac{1}{2}}$$

d_{ij} = Distancia de Mahalanobis

X = los vectores de variables morfológicas de los distintos puntos i y j

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

Esta distancia se interpreta como una medida de disimilitud entre los centros de las poblaciones. Entre menor es el valor de distancia, mayor es la similitud (Tranque-Pascual *et al.*, 2022).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción morfológica

Los Cuadros 2 y 3 muestran las dimensiones que obtuvieron Perry (1991) y Domínguez-Calleros *et al.* (2016) en sus respectivas evaluaciones de distintas poblaciones dentro del municipio de Iturbide, Nuevo León, mientras que los Cuadros 4 al 6 muestran los resultados obtenidos en cuanto a dimensiones de las distintas variables evaluadas en las poblaciones estudiadas.

Cuadro 2. Dimensiones de conos, escamas y semillas de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry (Perry, 1991).

Población	Conos (mm)		Semillas (mm)			Escamas (mm)
	LC	DC	LS	LAL	AAL	LE
Iturbide, Nuevo León	100 - 130	70 - 80	6 - 7	25	7 - 9	12 - 15

Dónde: Longitud del cono (LC), Diámetro del cono (DC), Longitud de la semilla (LS), Longitud de ala (LAL), Ancho del ala (AAL) y Longitud de escama (LE).

Cuadro 3. Dimensiones de conos de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry (Domínguez-Calleros *et al.*, 2016).

Población	Conos (mm)	
	LC	DC
Santa Rosa, Iturbide, Nuevo León	116	55
Iturbide, Nuevo León	99	52
Bosque-Escuela, Iturbide Nuevo León	120	46

Donde Longitud del cono (LC), Diámetro del cono (DC)

La variable LC que señala Perry (1991) en Iturbide va de 100-130 mm (Cuadro 2). Domínguez Calleros *et al.* (2016) reporta dimensiones de 99 a 120 mm (Cuadro 3), mientras que en este trabajo se encontró que LC en la población IT va de 65.71-155.64 mm con una media de 106.7063 mm. La población LE registro una media de LC de 115.777 y con mínimas y máximas de 84.77-154.27 mm. En la población SJB se determinó un promedio de

112.353 con extremos que van de los 52.65-160.47 mm para la misma variable (Cuadro 4) (Anexo 1). Siendo así, que los rangos para esta variable en las tres poblaciones evaluadas no coinciden con ninguna de las descripciones de los autores anteriores, ya que en la evaluación realizada se encuentran desde los 52.65-160.47 mm.

Cuadro 4. Dimensiones de las variables evaluadas en conos de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

Población	Variable	Media	Error estándar	Desviación estándar	Máximo	Mínimo	Coefficiente de variación
Iturbide (IT)	LC	106.7063	0.9672	15.5963	155.64	65.71	14.6161
	DC	54.0281	0.4325	6.9748	71.59	35.05	12.9097
	PC	83.8933	1.5437	24.8927	157.27	28.98	29.6718
La Escondida (LE)	LC	115.777	0.9067	15.1735	154.16	84.77	13.1058
	DC	59.423	0.3732	6.2449	78.39	43.71	10.51105
	PC	106.4323	1.556	26.0371	174.68	58.66	24.4635
San José de Boquillas (SJB)	LC	112.3533	1.0711	18.552	160.47	52.65	16.5122
	DC	53.0715	0.4079	7.0655	83.65	38.08	13.3133
	PC	85.6395	1.7696	30.6504	179.98	31.39	35.7901

Dónde: Longitud del cono (LC) en mm, Diámetro del cono (DC) en mm y Peso de cono (PC) en gr.

El DC reportado por Perry (1991) para Iturbide se encuentra de 70-80 mm (Cuadro 2). Domínguez Calleros *et al.* (2016) registró para esta variable dimensiones de 46-55 mm (Cuadro 3). En los resultados encontrados se visualiza a esta variable para la población IT con valores desde 35.05-71.59 mm con valor medio de 54.0281mm. En el caso de la población LE se obtuvo un promedio de 59.423 mm, con datos que van desde 43.71-78.39 mm. Para el caso específico de la población SJB se registraron valores a partir 38.08-83.65 mm, generando un promedio de 53.0715 mm para la variable (Cuadro 4) (Anexo 2). Obtenido una distribución de DC de 35.05-83-65 mm aproximándose más a la descripción de Perry (1991).

Se aporta que el PC de las tres poblaciones de estudio oscila entre 28.98-179.98 gr. (Cuadro 4) (Anexo 3).

Cuadro 5. Dimensiones de las variables de escamas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

Población	Variable	Media	Error estándar	Desviación estándar	Máximo	Mínimo	C.V
Iturbide (IT)	LE	34.4651	0.1349	4.8667	50.6900	13.4700	13.7226
	LA	15.3701	0.0595	2.1455	23.9400	10.1800	13.9593
	AA	10.3591	0.0478	1.7261	17.2500	6.1100	16.6622
	HA	6.4233	0.0659	2.3764	12.9200	2.2700	36.9974
	LU	6.0167	0.0378	1.3658	10.6800	2.9100	22.7011
	AU	4.5598	0.0336	1.2118	8.8800	1.7900	26.5765
	HU	2.6600	0.0363	1.3091	5.6000	0.2300	49.1262
	HE	0.4100	0.0044	0.1621	1.2000	0.0100	39.1526
La escondida (LE)	LE	37.6591	0.1224	4.5830	54.4200	25.5000	12.1699
	LA	17.3915	0.0555	2.0783	25.0400	11.2200	11.9504
	AA	11.2387	0.0451	1.6876	17.3600	7.0200	15.0163
	HA	3.7397	0.0253	0.9497	7.7700	1.4300	25.3960
	LU	6.9088	0.0324	1.2147	11.4500	3.7100	17.5824
	AU	3.5174	0.0193	0.7254	5.8900	0.4900	20.6247
	HU	2.1045	0.0218	0.8189	5.3200	0.3900	38.9156
	HE	0.3411	0.0038	0.1432	0.8400	0.0900	41.9968
San José de Boquillas (SJB)	LE	36.0104	0.1231	4.7677	54.6100	18.7800	13.2398
	LA	16.6608	0.0771	2.9876	29.6500	10.3700	17.9324
	AA	10.8848	0.0398	1.5424	16.8800	6.7300	14.1702
	HA	3.8791	0.0272	1.0563	7.9300	1.4300	27.2323
	LU	6.5987	0.0315	1.2202	11.3800	3.0600	18.4923
	AU	3.5222	0.0141	0.5481	5.3100	2.0400	15.5615
	HU	2.0102	0.0184	0.7152	5.3000	0.5600	35.5827
	HE	0.4094	0.0040	0.1565	0.9900	0.0900	38.2241

Dónde: Longitud de escama (LE) en mm, Longitud de apófisis (LA) en mm, Ancho de apófisis (AA) en mm, Altura de apófisis (HA) en mm, Longitud del umbo (LU) en mm, Ancho del umbo (AU) en mm, Altura del umbo (HU) en mm, Altura de espina (HE) en mm y Coeficiente de variación (CV).

En las características evaluadas en escamas para la variable LE en Iturbide, Perry (1991) registró valores de los 12-15 mm (Cuadro 2). En la población IT las dimensiones estuvieron entre 13.47-50.69 mm, con un promedio de 34.46. En la localidad LE se encontraron dentro de 25.50-54.42 mm con una media de 37.65 mm. Dentro de la población SJB la mínima y máxima se colocaron en los valores de 18.78-54.61 siendo su media 36.01 mm (Cuadro 5)

(Anexo 4). Por ellos se afirma que las dimensiones de longitud de escama van de 13.47 a 54.61 mm.

En cuanto a la variable LA, se encontró que los valores dentro de los que se encuentran las tres poblaciones van de 10.18-29.65 mm (Cuadro 5) (Anexo 5). Por consiguiente, la variable AA evidencia datos para todas las poblaciones evaluadas a partir de los 6.11-17.36 mm (Cuadro 5) (Anexo 6). En lo que se refiere a la variable HA, los valores rondan entre los 1.43-12.92 mm (Cuadro 5) (Anexo 7). La variable LU se registró entre 2.91-11.45 mm para las tres poblaciones (Cuadro 5) (Anexo 8). AU se colocó en 0.49-8.88 mm (Cuadro 5) (Anexo 9). La variable HU se encontró de 0.23-5.60 mm (Cuadro 5) (Anexo 10). Para HE se estimó de 0.01-1.20 mm (Cuadro 5) (Anexo 11).

Las dimensiones de la variable LS que reporta Perry (1991) en Iturbide están entre 6-7 mm (Cuadro 2), mientras que en el análisis se encontró que para la población IT, estas dimensiones están entre 4.39-9.2 mm con una media de 6.8618. Para la población LE, las evaluaciones muestran datos de 3.90-9.36 y en promedio de 6.2764 mm. Por otra parte, SJB muestra un rango de 4-9.18 mm (Cuadro 6) (Anexo 12). Lo cual aporta dimensiones distintas a las de Perry (1991) para esta variable que se pueden encontrar desde los 3.90-9.36 mm.

Los valores de la variable AS son una aportación relevante, y para las tres poblaciones se visualizaron entre los 2.45-6.37 mm (Cuadro 6) (Anexo 13).

Por otro lado, la variable GS se reportó desde 1.35-6.25 mm dentro de los cuales se encuentran las 3 poblaciones (Cuadro 6) (Anexo 14).

La LAL que describe Perry (1991) se observó en 25 mm para Iturbide (Cuadro 2). Mientras que para IT en la evaluación se determinó un rango de 2.95-32.9 con media de 17.7606 mm. Para la población LE los valores superiores e inferiores se encuentran entre 9.15-34.4 con promedio de 20.5979 mm. En la población SJB, las observaciones están entre 5.6-34.85 mm, siendo la media de 19.1433 mm. (Cuadro 6) (Anexo 15) Con base a esto se asume que los

valores para la variable LAL se pueden encontrar desde los 2.95-34.85 mm lo cual no coincide con la descripción del autor de la especie.

Para AAL señalada por Perry (1991) se registraron dimensiones de 7-9 mm en Iturbide (Cuadro 2). La evaluación para IT evidenció que los valores de la variable van desde 4.92-13.5 y en promedio de 8.5595 mm. Mientras tanto, la población LE aportó mínimas y máximas de 3.20-17.98 mm. Por último, la población SJB mostró datos de 4.8-14.22 mm con una media de 8.6527 mm (Cuadro 6) (Anexo 16). Siendo así, se asienta que los valores de esta variable no coinciden con los registrados por el autor, ya que en las poblaciones de estudio se encontraron valores de 3.20-17.98 mm.

Cuadro 6. Dimensiones de las variables evaluadas de semillas y alas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

Población	Variable	Media	Error estándar	Desviación estándar	Máximo	Mínimo	Coefficiente de variación
Iturbide (IT)	LS	6.8618	0.0132	0.6740	9.20	4.39	9.8226
	AS	4.1802	0.0085	0.4382	5.84	2.63	10.4839
	GS	2.7988	0.0061	0.3159	5.93	1.43	11.2879
	LAL	19.7606	0.0632	3.2239	32.90	2.95	16.3147
	AAL	8.5595	0.0210	1.0755	13.50	4.92	12.5655
La Escondida (LE)	LS	6.2764	0.0160	0.8504	9.36	3.90	13.5492
	AS	4.1359	0.0102	0.5429	6.37	2.50	13.1285
	GS	2.8900	0.0060	0.3196	4.48	1.59	11.0454
	LAL	20.5979	0.0695	3.6823	34.4	9.15	17.8770
San José de Boquillas (SJB)	AAL	8.7025	0.0263	1.3920	17.98	3.20	15.9953
	LS	6.5008	0.0123	0.6790	9.18	4.00	10.4452
	AS	4.2409	0.0098	0.5405	5.98	2.45	12.7464
	GS	2.8010	0.0057	0.3168	6.25	1.35	11.3132
	LAL	19.1433	0.0604	3.3108	34.85	5.60	17.2952
	AAL	8.6527	0.0243	1.3329	14.22	4.80	15.4053

Dónde: Longitud de la semilla (LS) en mm, Ancho de la semilla (AS) en mm, Longitud de ala (LAL) en mm, Ancho del ala (AAL) en mm y Grosor de semilla (GS) en mm.

Se muestra el resumen de las dimensiones máximas y mínimas de todas las variables de *Pinus estevezii* que fueron medidas en las tres poblaciones, demostrando que son distintas a las

reportadas por el autor original (Cuadro 2), además de que algunas variables no estaban en la descripción original y aquí se integraron (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores máximos y mínimos de las variables evaluadas en las tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

Variable	Máximo	Mínimo
Longitud del cono (LC, mm)	160.47	52.65
Diámetro del cono (DC, mm)	83.65	35.05
Peso de cono (PC, gr)	179.98	28.98
Longitud de escama (LE, mm)	54.61	13.47
Longitud de apófisis (LA, mm)	29.65	10.18
Ancho de apófisis (AA, mm)	17.36	6.11
Altura de apófisis (HA, mm)	12.92	1.43
Longitud del umbo (LU, mm)	11.45	2.91
Ancho del umbo (AU, mm)	8.88	0.49
Altura del umbo (HU, mm)	5.60	0.23
Altura de espina (HE, mm)	1.20	0.01
Longitud de la semilla (LS, mm)	9.36	3.90
Ancho de la semilla (AS, mm)	6.37	2.45
Grosor de semilla (GS, mm)	6.25	1.35
Longitud de ala (LAL, mm)	34.85	2.95
Ancho del ala (AAL, mm)	17.98	3.20

4.2 Componentes principales

De acuerdo con la metodología mencionada por Johnson (2000), se utilizaron los primeros cuatro componentes principales para explicar el 73.20% de la variación total de las poblaciones, ya que después del cuarto componente la aportación que tienen es muy cercana a cero (Figura 5).

El análisis indicó que el primer componente principal explica el 39.63% de la variación total encontrada, el segundo explica el 17.6%, mientras que el tercero aporta el 8.5% y el cuarto indica el 7.47%. Estos cuatro componentes aportan una variación acumulada del 73.2% de la variación total de las poblaciones (Cuadro 8).

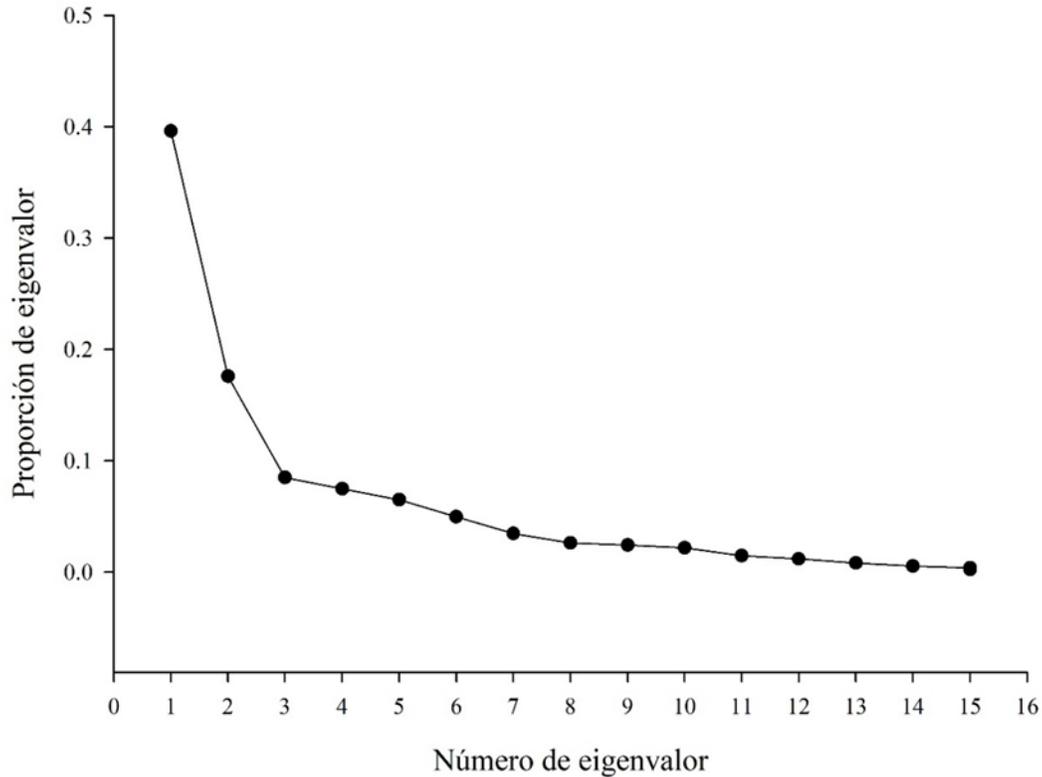


Figura 5. Gráfica con el número de componentes principales para determinar las variables que aportan mayor diferenciación en el análisis de conos, escamas y semillas de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry de tres poblaciones de Nuevo León.

A diferencia de Fernández-Galindo (2013) que estudió la variación morfológica de conos y semillas en cinco poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don, en Baja California, México, evaluando variables como longitud del cono (LC), diámetro del cono (DC), peso verde del cono (PVC), peso seco del cono (PSC), longitud de la escama (LE), ancho de la quilla (AQ), grosor de la escama (GE), longitud de la semilla (LS), ancho de la semilla (AS), grosor de la semilla (GS), longitud del ala con la semilla (LALA), ancho del ala (AALA), longitud del umbo, quilla y espina (LUQE). Encontró que el primer componente principal explica el 66% de la variación y el segundo explica el 9%, teniendo una variación acumulada en los dos primeros componentes de 75%.

Cuadro 8. Matriz de correlación de los eigenvalores (autovalores) de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry en estudio.

Componente	Autovalor	Diferencia	Proporción	Acumulada
1 †	6.34073233	3.52530833	0.3963	0.3963
2 †	2.81542400	1.45492422	0.1760	0.5723
3 †	1.36049978	0.16578166	0.0850	0.6573
4 †	1.19471811	0.1539503	0.0747	0.7320
5	1.04076781	0.24748947	0.0650	0.7970
6	0.79327834	0.23863348	0.0496	0.8466
7	0.55464486	0.13699782	0.0347	0.8813
8	0.41764704	0.02686995	0.0261	0.9074
9	0.39077709	0.04116028	0.0244	0.9318
10	0.34961681	0.11592686	0.0219	0.9536
11	0.23368995	0.04257777	0.0146	0.9682
12	0.19111217	0.05968201	0.0119	0.9802
13	0.13143017	0.04675217	0.0082	0.9884
14	0.08467800	0.02400317	0.0053	0.9937
15	0.06067483	0.02036610	0.0038	0.9975
16	0.04030873		0.0025	1.0000

†: Componentes principales con mayor porcentaje de variación.

En contraste, Iglesias *et al.* (2012) en su análisis de variación morfométrica en dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* Lindl. del estado de Veracruz evaluó longitud del fascículo (LF), longitud de las acículas mayor (LAM) y menor (LAME), y longitud del braquiblasto (LB), peso del cono (PC), largo del cono (LC), ancho de la base del cono (ABC) y ancho del ápice del cono (AAC), largo de semilla (LS), grosor de semilla (GS) y peso de cada semilla (PS). Donde los tres primeros componentes explicaron el 62,5% de la variación en los datos, el primero explica el 31.4%, el segundo 16.7% y el tercero 14.4%.

Por otra parte, en el estudio de variación morfológica en conos y semillas de *Pinus strobus* L., en Quebec, Beaulieu y Simon (1995), evaluaron 10 poblaciones distribuidas en distintas altitudes en cuatro distintas regiones de Quebec, ellos midieron variables como ancho y largo de conos, total de escamas, ancho y largo de escamas centrales, total de semillas, longitud de semillas y semillas sanas. El primer componente explicó el 57% de la variación, mientras

que el segundo tenía el 27%, y juntos explicaban el 84% de la variación total de las poblaciones.

La diferencia en el número de componentes y su aportación para la diferenciación, con base a lo que menciona Rehfeldt (1991), radica en que las poblaciones que se encuentran a menor altitud presentan potenciales más elevados de crecimiento, porque se encuentran en condiciones climáticas más favorables a diferencia de las que se encuentran en mayor altitud que tienen menor crecimiento para poder evitar daños por heladas. Es decir, al distribuirse en rangos de altitud más amplios pueden expresar más variabilidad.

Las poblaciones evaluadas en este trabajo están entre 1507 y los 1925 msnm y se requirieron cuatro componentes para tan solo explicar el 73.20% de la variación total. A diferencia de Fernández-Galindo (2013), que con dos componentes logra explicar el 75% de la variación, esto se debe a que las poblaciones que él estudió se encuentran distribuidas desde 1070 a los 2150 msnm, siendo un rango más amplio de distribución en comparación a las poblaciones aquí evaluadas. De igual forma que Fernández-Galindo (2013), las poblaciones evaluadas por Beaulieu y Simon (1995), están distribuidas desde los 92 a los 3590 msnm, lo cual es un rango más amplio de distribución, y por ende con mayor potencial de expresar más variación como menciona Rehfeldt (1991).

En el Cuadro 9 se muestran las variables y el grado de correlación con cada uno de los cuatro componentes que aportan el 73.20% de la variación total de las poblaciones. Se obtuvo que para *Pinus estevezii* las variables que con más correlación al componente principal 1 fueron longitud de cono (LC), diámetro de cono (DC), peso de cono (PC), longitud de escama (LE), longitud de apófisis (LA), ancho de apófisis (AA) y ancho de ala (AAL) (Cuadro 9).

En similitud con *Pinus coulteri* evaluado por Fernández-Galindo (2013) en donde las variables de más aporte para este componente fueron la longitud del cono (LC) = 0.282, peso verde del cono (PVC) = 0.303, peso seco del cono (PSC) = 0.304, longitud de escama (LE) = 0.280, ancho de quilla (AQ) = 0.285 y peso de mil semillas (PMILS) = 0.293. Siendo muy similar a lo encontrado en este estudio.

En contraste, Iglesias *et al.* (2012) mencionan que la mayor correlación al primer componente la aportaron longitud del fascículo (LAME) = 0.919832, largo de la acícula menor (LAME) = 0.887825 y largo de la acícula mayor (LAM) = 0.848835, la diferencia entre las variables que aportan a este componente, radican en que Iglesias *et al.* (2012) evaluó también acículas, quienes aportan al primer componente, mientras que en el presente trabajo no se evaluaron.

De forma muy parecida a este estudio, Beaulieu y Simon (1995) reportaron que las variables de mayor aporte al componente principal 1, son la longitud de cono, el ancho del cono, la longitud y ancho de escamas y, por último, la longitud de semillas.

De manera general, se puede decir que para todos los casos a excepción de Iglesias *et al.* (2012), las características que más aportaron a la variación del primer componente se encuentran en conos y escamas. Es preciso aclarar que Iglesias *et al.* (2012) evaluaron características de las hojas que son quienes más aportan al primer componente, mientras que en este trabajo como en el de en el de Fernández-Galindo (2013) y Beaulieu y Simon (1995), las hojas no fueron evaluadas.

Para el segundo componente, las variables de mayor aportación fueron altura de apófisis (HA), ancho de umbo (AU) y la altura de umbo (HU) (Cuadro 9). Sin embargo, Fernández-Galindo (2013), encontró que el diámetro de cono (DC) = 0.285, la longitud del umbo, quilla y espina (LUQE) = 0.641, longitud de semilla (LS) = -0.343 y grosor de semilla (GS) = -0.285. El trabajo que Iglesias *et al.* (2012) señala que las variables con más correlación fueron el largo de la semilla (LS) = 0.730893, largo cono (LC) = 0.623302, y peso de cono (PC) = 0.601478. De forma distinta, Beaulieu y Simon (1995) determinaron que las variables más correlacionadas al segundo componente eran la longitud, el total de semillas y semillas sanas, además de longitud de escamas, y número de escamas.

Al observar detenidamente, se nota que las características que aportaron más en este componente para *Pinus estevezii* se concentran particularmente en escamas, mientras que para *Pinus coulteri* resaltan variables en conos, escamas y semillas, por otro lado, en *Pinus*

hartwegii las características que más aportan estuvieron en conos y semillas y para *Pinus strobus* en semillas y escamas.

Para el tercer componente se encontró que las variables de mayor aporte son longitud de semilla (LS), ancho de semilla (AS) y grosor de semilla (GS) (Cuadro 9). Siendo muy parecido a lo que reporta Iglesias *et al.* (2012) quien menciona haber encontrado que las variables más importantes para el tercer componente fueron peso (0.5760) y grosor de semillas (0.5332).

Las variables que más aportaron a variación del cuarto componente fueron la longitud del umbo (LU) y la longitud del ala (ALA) (Cuadro 9).

En la Figura 6, se observa que la población Iturbide (IT, población 2) se separa de San José de Boquillas (SJB, población 1) y La Escondida (LE, población 3). Analizando las características morfológicas descritas en el Cuadro 4 y 5 se denota que las características evaluadas para conos y escamas de la población 2, tienen dimensiones menores, dichas características fueron las que aportaron mayor correlación para la diferenciación al componente principal uno (Cuadro 9) y son las que hacen que la población uno se separe del resto.

Esta diferenciación en el tamaño del cono podría explicarse por varios factores, uno de ellos podría ser la altitud, como encontraron Viveros-Viveros *et al.* (2013), en su estudio de variación altitudinal en caracteres morfológicos de *Pinus patula* Schl. et Cham., en el estado de Oaxaca (México) y su uso en la zonificación. Ese estudio se realizó en trece poblaciones distribuidas a partir de 2450 a 3050 msnm, encontrando que las poblaciones de mayor altitud presentaron conos más gruesos, las escamas de los mismos presentaron quillas más anchas y fascículos con vainas más largas, mientras que las poblaciones de menor altitud mostraron conos menos gruesos, con escamas con quillas más angostas y fascículos con vainas más cortas.

Cuadro 9. Correlaciones de variables originales de conos y semillas con los componentes principales obtenidos en el estudio de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

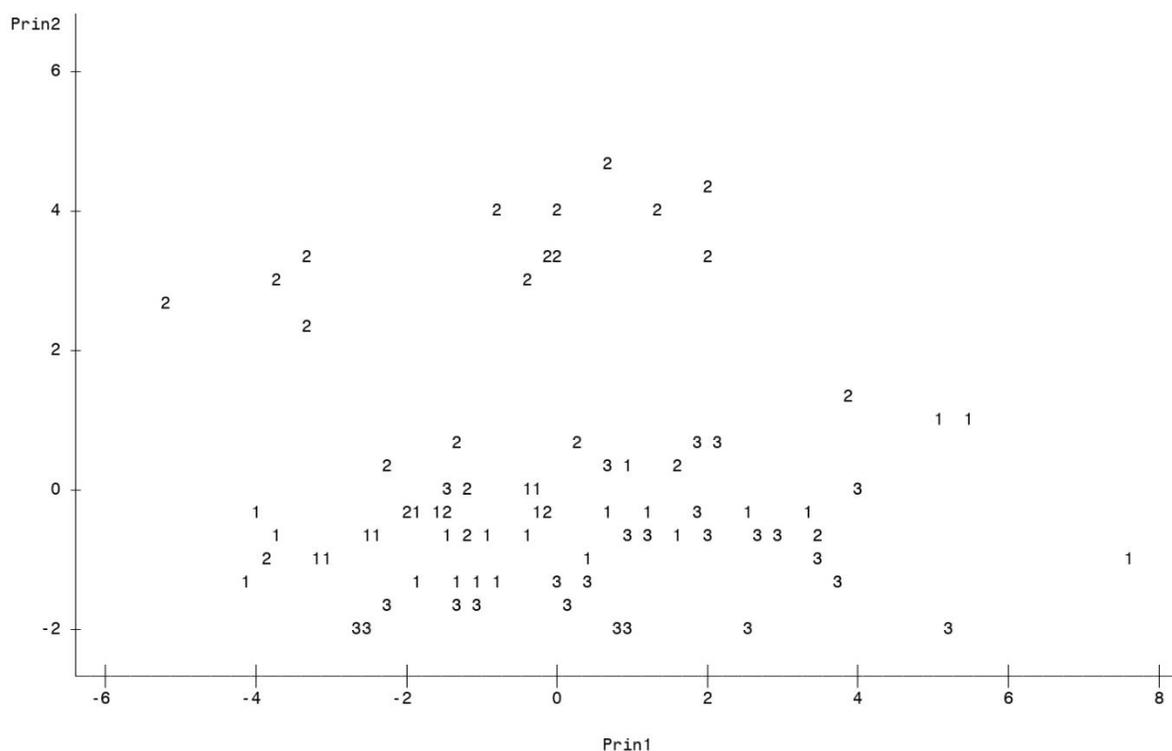
Característica del árbol	Variable	Componente principal 1	Componente principal 2	Componente principal 3	Componente principal 4
Proporción		39.63%	17.6%	8.5%	7.47%
Cono	LC	0.316141 ††	-0.031046	-0.165968	0.007514
	DC	0.316387 ††	-0.02764	-0.09016	0.300124
	PC	0.359244 ††	-0.050597	-0.155099	0.152938
	LE	0.331183 ††	0.005594	-0.209132	-0.343127
	LA	0.334768 ††	-0.152458	0.029039	0.196233
	AA	0.305777 ††	-0.06865	-0.190395	-0.323144
Escama	HA	0.004724	0.558849 ††	-0.175444	-0.022023
	LU	0.213002	-0.147675	-0.027522	0.448874††
	AU	0.05683	0.535945 ††	-0.074382	0.151731
	HU	0.076307	0.488351 ††	-0.238033	0.205421
	HE	0.0201	0.155263	0.058645	-0.062021
	LS	0.073245	0.262543	0.550599††	-0.292626
Semillas	AS	0.222553	0.113393	0.542999††	0.151519
	GS	0.253534	0.018153	0.363733††	0.127396
	LAL	0.298544	0.014063	-0.070357	-0.470486††
	AAL	0.304131 ††	0.038201	0.164354	-0.092731

††: Variables con mayor correlación a cada componente principal.

A diferencia de los autores antes mencionados, en este trabajo el factor de altitud no es muy relevante en las dimensiones del cono, ya que las poblaciones evaluadas van de 1507 a los 1925 msnm (Cuadro 1), lo cual no representa cambios en la altitud significativos.

Otro factor importante en el desarrollo de los árboles es el clima, Márquez-Ramírez *et al.* (2007) dicen que cada árbol puede responder de manera diferente a variaciones en las condiciones climáticas anuales respecto a la producción de conos y semillas. En este caso, el clima en las tres poblaciones evaluadas es muy similar (Cuadro 1) tanto en temperaturas como en precipitaciones. Por ello se tomaron datos anuales de 2012 a 2014 de estaciones meteorológicas cercanas a cada una de las poblaciones (Cuadro 10) para confirmar que no se hubiese presentado un fenómeno climático atípico en alguna de las poblaciones, lo cual

podría causar la separación de estas, sin embargo, se encontró que las temperaturas y las precipitaciones fueron muy parecidas en las tres poblaciones.



Dónde: 1 = San José de Boquillas (SJB), 2 = Iturbide (IT), 3 = La Escondida (LE), Prin1 = Componente principal 1 y Prin2 = Componente principal 2

Figura 6. Gráfica comparativa de componente 1 vs componente 2, donde se muestran las tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry en estudio.

Ya que se descarta la posibilidad que la diferenciación se deba al clima y a la altitud, se considera que esta se debe a la densidad de árboles por hectárea. En el análisis de crecimiento y producción de *Pinus pinea* L., en Chile en función de la densidad de plantación realizado por Loewe-Muñoz *et al.* (2020) se describe como la densidad de plantación tuvo un impacto significativo en el crecimiento y producción de conos, en las plantaciones con densidades altas (1667 arb ha⁻¹) la producción fue de 892 ± 563 conos ha⁻¹, mientras que en las densidades bajas (500 arb ha⁻¹) fue de 2,511 ± 563 conos ha⁻¹. Sin embargo, para los fines de este trabajo no se tenían datos de densidad.

Cuadro 10. Valores de precipitación y temperaturas del periodo 2012-2014 para tres poblaciones evaluadas de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

Población	Nombre y número de estación meteorológica	Año	Precipitación anual acumulada	Temperatura máxima promedio	Temperatura mínima promedio
IT	Santa rosa 19193	2012	429.80	23.5585	2.0481
		2013	1621.30	22.6756	3.6846
		2014	1034.20	23.9779	4.4890
		Total	3085.30	23.4040	3.4073
LE	La ascensión 19193	2012	353.50	26.6475	6.8948
		2013	796.40	25.2655	7.4214
		2014	879.0	22.4000	7.0530
		Total	2018.90	24.7710	7.1231
SJB	Laguna de Sánchez 19033	2012	575.70	23.8497	7.4590
		2013	1625.40	23.2767	7.9863
		2014	1153.90	23.1178	7.3616
		Total	3355.0	23.4147	7.6023

Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida y SJB = San José de Boquillas

4.3 Discriminación canónica

Se obtuvo un valor de Lambda Wilks de 0.1273, el cual es muy cercano a 0, lo que significa que si existe separación entre las poblaciones. La correlación canónica de las funciones discriminantes canónicas mostró que si existe un valor alto de correlación (0.93) lo que significa que si se puede explicar la separación de los grupos a través de las variables discriminantes que se utilizaron según indica Garza-García *et al.* (2013).

En el Cuadro 11 se muestra como las dos funciones canónicas son estadísticamente significativas $P < 0.001$ y explican el 100% de la variabilidad total, la primera función canónica explicó el 71.87% y la segunda el 28.13%. Por ello, se afirma que las medias de los grupos se encuentran en subespacios.

De igual manera López Upton *et al.* (2001) al evaluar nueve características morfológicas y anatómicas de acículas, conos y semillas de las taxas para determinar la hibridación natural

entre *Pinus oocarpa* Schiede y *P. pringlei* Shaw también encontraron que el 100% de la variabilidad está explicada en las dos primeras variables canónicas, siendo altamente significativas ambas. La primera variable canónica explicó 92% de la variación y la segunda el 8.1%.

Por otra parte, Beaulieu y Simon (1995), en las dos primeras funciones canónicas solo encontraron el 63% de la variación en su análisis de variación morfológica en conos y semillas de *Pinus strobus* en Quebec.

En contraste a los resultados de este estudio Ornelas-Álvarez (2014), que estudio la variación morfológica de los pinos del grupo “Oocarpa” (Pinaceae) en el estado de Jalisco, donde evaluó características de ramillas, acículas, conos, escamas y semillas de *Pinus georginae* Pérez de la Rosa, *P. luzmariae* Pérez de la Rosa y *P. oocarpa* var. *praetermissa*, demostró que la primera función canónica explica el 78.7% de la variación, la segunda el 14.1% y la tercera el 7.2%, acumulando un 100%.

En consecuencia, se puede decir que las medias de las poblaciones estudiadas en este análisis y en el de López-Upton (2001), las medias en cada caso están en distintos espacios, pero para cada análisis, las medias son muy próximas a una recta dentro de un cuadrante, lo que indica que las poblaciones caen dentro de un subgrupo. Por otra parte, los estudios de Beaulieu y Simon (1995) y Ornelas-Álvarez (2014) son distintos a este, ya que el número de funciones canónicas indican que sus medias no son próximas a una recta dentro del espacio muestral.

Cuadro 11. Resumen del análisis canónico discriminante del estudio de variación morfológica de conos y semillas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

Funciones canónicas	Correlación canónica	Autovalor	Proporción autovalor	Proporción acumulada	Valor de la probabilidad
1	0.857101	2.7682	0.7187	0.7187	<.0001
2	0.721112	1.0833	0.2813	1	<.0001

Las medias de población en las variables canónicas están realizadas en base a los valores de las funciones canónicas estandarizadas, para poder calcular las funciones canónicas es

necesario utilizar los valores no estandarizados (en bruto) que se emplearon para definir las dos primeras funciones canónicas (Cuadro 12). Estas medias representan el centro de las poblaciones que se muestran en el Cuadro 13. Se observa que las poblaciones si tienen distintos centroides con base a los valores canónicos medios para cada una (Cuadro 13) y la distancia cuadrada de Mahalanobis se mostró altamente significativa entre las poblaciones (Cuadro 14). López-Upton *et al.* (2001) mostraron que los valores medios canónicos de las taxas evaluadas la discriminación se mantiene, conservando separados los árboles de las dos especies parentales (*Pinus oocarpa* CAN1=7.1230, CAN2=-1.1881) (*Pinus pringlei* CAN1=-7.1099, CAN2=-1.1881) y de los híbridos putativos (CAN1=-0.0130, CAN2=2.3697).

La distancia cuadrada de Mahalanobis se mostró altamente significativa entre las medias de las poblaciones (Cuadro 14), los valores entre poblaciones muestran que la menos similar de las otras dos es la de Iturbide (IT), mientras que las poblaciones San José de Boquillas (SJB) y La Escondida (LE) son más similares, aunque si existe una distancia de Mahalanobis entre ellas, no se puede decir que se discriminan por completo, pero si se asume que esta similitud entre la población SJB y LE se debe a que sus dimensiones en conos, escamas y semillas fueron muy análogas, mientras que IT mostraba valores más bajos para esas características.

De igual forma, Donahue y López-Upton (1996), al evaluar la variación morfológica geográfica en hojas, conos y semillas de *Pinus greggii* Englem., en bosques naturales, encontraron que la distancia de Mahalanobis era altamente significativa, las poblaciones que se encontraban en la región norte, entre ellas tenían una distancia menor, al igual que las de la región sur entre ellas mismas, pero al comparar la distancia entre poblaciones del sur y el norte, esta aumentaba su valor, incluso llegando a ser lo doble y hasta lo triple.

Las poblaciones evaluadas en este estudio pertenecen a un área geográfica muy similar, es por ello, que la distancia de Mahalanobis que se encontró entre ellas, no es tan grande como la distancias que encontraron Donahue y López-Upton (1996) evaluando bosques que se encontraban, tanto en el norte, como en el centro del país.

Cuadro 12. Coeficientes canónicos brutos empleados para calcular las funciones canónicas del estudio de variación morfológica de conos y semillas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

Variable	CAN1	CAN2
Longitud del cono (LC, mm)	-0.000338141	-0.024458035
Diámetro del cono (DC, mm)	0.053234764	0.181743697
Peso de cono (PC, gr)	0.003315167	0.020668918
Longitud de escama (LE, mm)	-0.071309632	-0.324994393
Longitud de apófisis (LA, mm)	0.060744493	-0.16725076
Ancho de apófisis (AA, mm)	0.414983205	-0.061928519
Altura de apófisis (HA, mm)	-0.908453974	-0.222382646
Longitud del umbo (LU, mm)	-0.015760538	-0.446583905
Ancho del umbo (AU, mm)	-0.664700806	0.839944039
Altura del umbo (HU, mm)	1.305214828	0.301044763
Altura de espina (HE, mm)	-4.577394874	-3.893321371
Longitud de la semilla (LS, mm)	-0.618903316	0.105680643
Ancho de la semilla (AS, mm)	-1.011106748	-2.576219474
Grosor de semilla (GS, mm)	2.173560824	1.825875199
Longitud de ala (LAL, mm)	0.044720606	0.47773149
Ancho del ala (AAL, mm)	-0.318413367	-0.428514084

Cuadro 13. Medias de clase en las variables canónicas de tres poblaciones del estudio de variación morfológica de conos y semillas de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

Población	CAN1	CAN2
1	0.242807	-1.362830
2	-2.236526	0.610591
3	1.816623	0.893197

Dónde: San José de Boquillas (SJB) = 1, Iturbide (IT) = 2 y La Escondida (LE) = 3

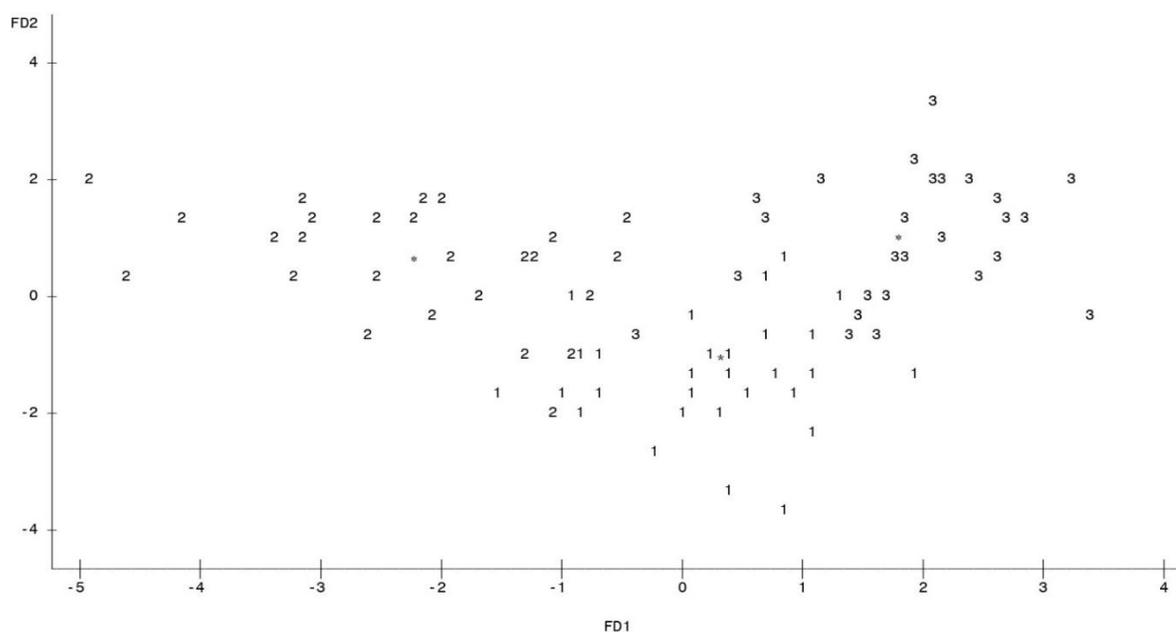
Cuadro 14. Distancia cuadrada de Mahalanobis entre las tres poblaciones del estudio de variación morfológica de conos y semillas de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

Población	1	2	3
1	0	10.04**	7.56**
2		0	16.50**
3			0

Dónde: San José de Boquillas (SJB) = 1, Iturbide (IT) = 2 y La Escondida (LE) = 3

La Figura 7 muestra la distribución de las poblaciones en sus respectivos espacios canónicos con respecto a sus centroides. Donde se observa que la población LE (población 3) y SJB (población 1) se encuentran más mezcladas y no se alejan tanto como la población IT (población 2) que se encuentra un poco intercalada con la SJB (población 1).

Por otro lado, López-Upton *et al.* (2001) y Ornelas-Álvarez (2014), sí pudieron discriminar y diferenciar claramente las especies que evaluaron. Esto se debe a que ellos evaluaron especies muy contrastantes, a pesar de que los datos se tomaron en el mismo rodal para el caso de López-Upton *et al.* (2001) las especies eran distintas, las parentales (*Pinus ocarpa*, *Pinus pringlei*) y sus hibridaciones, además dentro de sus evaluaciones incluyeron más variables de las hojas aparte de las de conos y semillas como hizo Ornelas-Álvarez (2014). A pesar de estas diferencias en las evaluaciones de los autores anteriores, quienes sí discriminaron especies distintas y más variables que permitían determinar la separación, este trabajo demuestra que dentro de la misma especie existen diferencias que permiten separar a las poblaciones, podría ser que al agregar más variables se pudiese encontrar mayor grado de separación o inclusive llegar a discriminar alguna de las poblaciones.



Dónde: * = Centroides de las poblaciones, San José de Boquillas (SJB) = 1, Iturbide (IT) = 2, La escondida (LE) = 3, FD1 = Función canónica 1 y FD2 = Función canónica 2.

Figura 7. Función canónica 2 vs 1, donde se muestran las tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

5. CONCLUSIONES

Las características evaluadas en conos, escamas, semillas y alas son distintas entre poblaciones y también al compararlas con el autor original, se contribuyó a la descripción de variables tanto en conos como en escamas, semillas y alas para las tres poblaciones.

Se rechaza la hipótesis alterna, ya que la acumulación de los dos primeros componentes no aportó el porcentaje de variación esperado (70%).

Las variables morfológicas de mayor aporte a la diferenciación entre las poblaciones fueron longitud de cono (LC), diámetro de cono (DC), peso de cono (PC), longitud de escama (LE), longitud de apófisis (LA), ancho de apófisis (AA) y ancho de ala (AAL).

La población que más se separó del resto, fue Iturbide (IT), teniendo conos, escamas y semillas más pequeñas que las otras dos poblaciones. La escondida (LE) y San José de Boquillas (SJB) mostraban ser más similares y más cercanas, teniendo dimensiones de conos, escamas y semillas más parecidas entre ellas. Por lo tanto, se acepta H_0 , ya que ninguna de las poblaciones tiende a discriminarse al resto.

6. RECOMENDACIONES

Se debe realizar un muestreo para obtener el dato de densidad de *Pinus estevezii* en cada una de las poblaciones para determinar si esto tiene una relación directa en la producción y tamaño de conos.

Se debe considerar la evaluación e inclusión de características de anatomía y morfología de las acículas que pudiesen aportar más a la diferenciación entre las poblaciones.

7. LITERATURA CITADA

- Álvarez-Cáceres, R. 1995. Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS: aplicación a las ciencias de la salud. Díaz de Santos, S.A. Madrid, España. 389 p.
- Amaral, W., Thomson L., y Yanchuk A. 2007. Conservación de los recursos genéticos en su ambiente natural. *In* Conservación y manejo de los recursos genéticos forestales. Vol. 1: visión general, conceptos y algunos métodos sistemáticos. (eds). FAO, FLD y Bioversity International. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia. pp: 1-4.
- Ayala-Cordero, G., T. Terrazas, L. López-Mata, C. Trejo. 2004. Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckei*. *Interciencia* 29 (12): 692-697.
- Baca-Venegas, J. M. 2000. Caracterización de la estructura vertical y horizontal en bosques de pino-encino. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León, Campus Linares, Linares Nuevo León, México. 105 p.
- Brauer-Herrera, O. 1983. Fitogenética aplicada. Limusa S.A. México, D.F. 518p.
- Cambrón-Sandoval, V. H., H. Suzán-Azpiri, C. Sáenz-Romero, y N. Sánchez-Vargas. 2014. Desarrollo de *Pinus pseudostrobus* bajo distintos ambientes de crecimiento en jardín común. *Madera y Bosques* 20(1): 47-57.
- CONABIO (La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1998 a. Conjunto de datos vectoriales cuencas hidrológicas, escala 1:250000. Comisión Nacional de Agua. México
- CONABIO (La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1998 b. Conjunto de datos vectoriales subcuencas hidrológicas, escala 1:1000000. Secretaria de recursos hidráulicos. México.
- Contreras-y-Zayas, J. L. 2009. Análisis de conos de *Pinus oaxacana* Mirov, de una población natural ubicada en Los Molinos, Perote, Veracruz. Tesis profesional maestro en genética forestal. Universidad Veracruzana, Campus Xalapa. Xalapa, Veracruz. 50 p.
- Cuadras, C. M. 2019. Nuevos métodos de análisis multivariante. CMC Editions. Barcelona. 288 p.

- 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.
- Delgado-Iniesta, J. A. 2018. Evolución, variación genética, especiación y filogenia. *In* Psicobiología. (ed). Redolar-Ripoll. Médica Panamericana, España. pp: 549-577.
- Domínguez-Calleros, P. A., J. J. Navar-Chaidez, M. Pompa-García, y E. J. Treviño-Garza. 2016. Producción de conos y semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. En Nuevo León, México. *Foresta Veracruzana* 18(2): 29-36.
- FAO. 2007. Descripción, distribución, uso y manejo der grupos de suelos de referencia. *In* Base referencial mundial del recurso suelo: Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. FAO, Roma. pp: 67-96.
- Farjon, A., J. A. Pérez-De la Rosa, y B. T. Styles. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. Continental Printing, Bélgica. Bélgica, Unión Europea. 151 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 ingeniero forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Campus Saltillo. Saltillo, Coahuila, México. 36 p.
- Furnier, G. R. 2004. Métodos para medir variación genética en las plantas. *In* manejo de recursos genéticos forestales. (ed). J. J. Vargas, B. Bermejo, y T. Ledig. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México y Comisión Nacional Forestal, Zapopan. pp: 21-29.
- García, E., CONABIO (La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1998. Conjunto de datos vectoriales de climas, escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 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.
- González-Monroy, R. M., y A. E. Rojas-Martínez. 2014. La relevancia evolutiva de los ecotipos. *Elementos* 21(95): 49-54.

- Hidalgo, R. 2003. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. *In* análisis estadístico de datos de caracterización corfológica de recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8. (eds). T.L. Franco, y R. Hidalgo. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. pp. 2-26.
- Iglesias, L.G., L.Y. Solís-Ramos, y H. Viveros-Viveros. 2012. Variación morfométricas en dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* Lindl. del estado de Veracruz. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 81(1): 239-246.
- INEGI (Instituto nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2001a. Conjunto de datos vectoriales fisiográficos, escala 1:1000000, serie I. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI (Instituto nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2001b. Conjunto de datos vectoriales provincias fisiográficas, escala 1:1000000, serie I. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- INEGI (Instituto nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2021. Conjunto de datos vectoriales uso de suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias), CONABIO (La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1995. Edafología, escala 1:250000. Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Ipinza-Carmona, R. 2015. El papel de la conservación genética. *In* Conservación de recursos genéticos forestales, principios y prácticas. (eds). B. Gutiérrez., R. Ipinza., y S. Barros. Instituto Forestal, Chile. pp: 11-16.
- Johnson, D. E. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International Thomson Editores. México, 566 p.
- Loewe-Muñoz, V., R. Del Río, y M. Balzarini. 2020. Stone pine (*Pinus pinea*) growth and cone yield as a function of planting density in Chile. *Bosque* 41(3): 381-386.
- López-Cano, R. 2018. Vegetación y flora. *In* Atlas de flora y fauna del Estado de México. (eds). G. J. Ceballos-González, E. L. Islas-Flores, E. Ponce-Guevara, y C. Cruz-González. Fondo Editorial. Estado de México, México. 220 p.

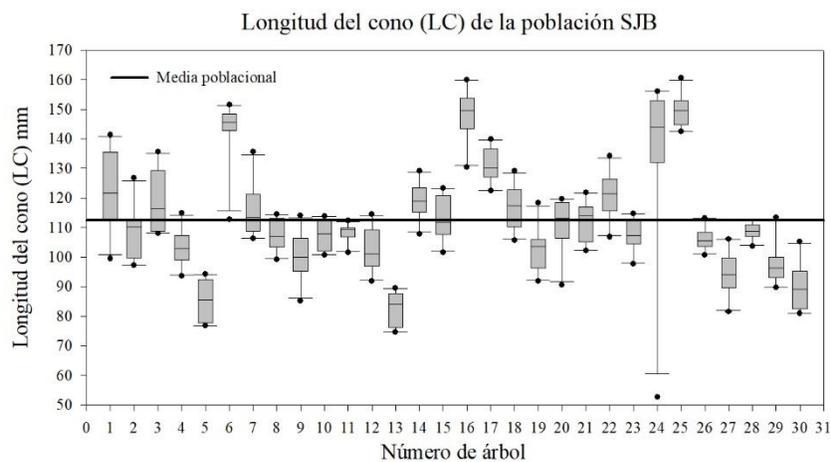
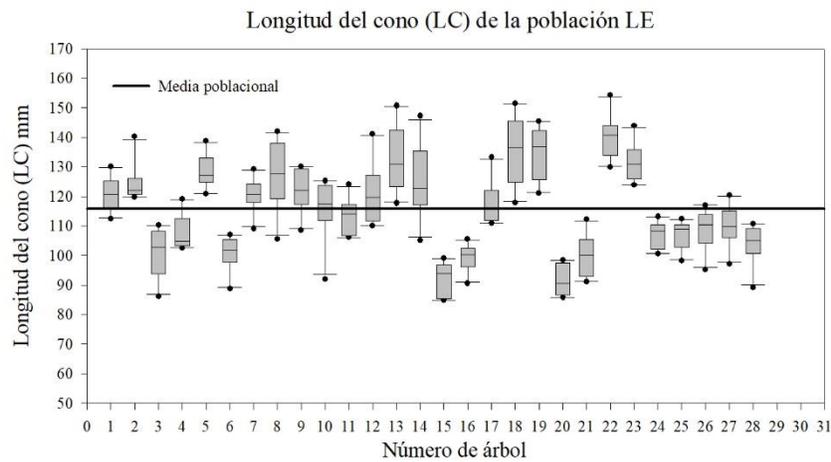
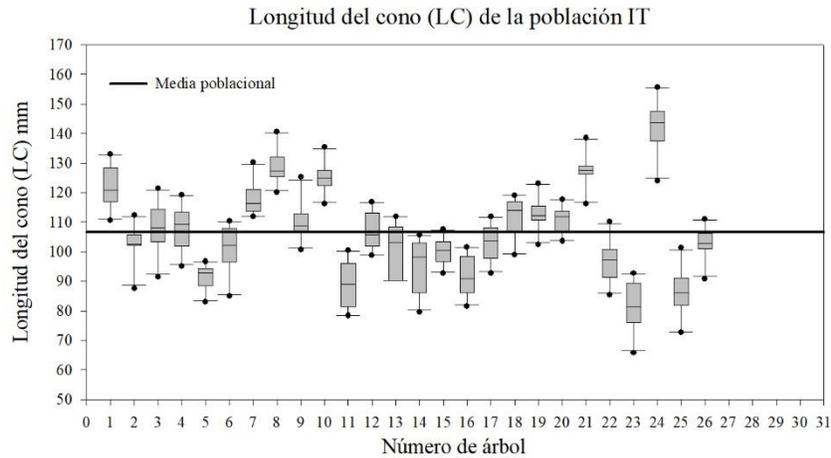
- López-Upton, J., V. Velazco-Fiscal, J. Jasso-Mata, C. Ramírez-Herrera, y J. J. Vargas-Hernández. 2001. Hibridación natural entre *Pinus oocarpa* y *P. pringlei*. Acta Botánica Mexicana (1)57: 51-56.
- Márquez-Ramírez, J., V. Rebolledo-Camacho, y J. L. Contreras-y-Zayas. 2007. Variación de conos de *Pinus oaxacana* Mirov en una población de los molinos, municipio de Perote, Veracruz. Foresta Veracruzana 9(2): 45-50.
- Márquez-García, A. V. 2007. Variación de conos y semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. del Esquilón, Coacoatzintla, Veracruz, México. Tesis profesional maestro en ecología forestal. Universidad Veracruzana, Campus Xalapa. Xalapa, Veracruz, México. 42 p.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. Ediciones Botas S.A de C.V. México, D.F. 361 p.
- Martíns-Garbín, P., R. Zas-Arregui, y L. Sampedro-Pérez. 2008. Plasticidad fenotípica de *Pinus pinaster* frente a la disponibilidad de nutrientes. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 24(1): 67-73.
- Medina, F., y M. Galván. 2007. Imputación de datos: teoría y práctica. Naciones Unidas. Santiago de Chile. 84 p.
- Moctezuma-López, G., y A. Flores. 2020. Importancia económica del pino (*Pinus spp.*) como recurso natural en México. Mexicana de Ciencias Forestales 11(60): 162-185.
- Muñoz-Flores, H. J., J. T. Sáenz-Reyes, M. Gómez-Cárdenas, J. Hernández-Ramos, y R. Barrera-Ramírez. 2023. Variación morfológica en semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. altamente productores de resina. Acta Universitaria 33(1):1-14.
- Ornelas-Álvarez, J. 2014. Variación morfológica de los pinos del grupo "Oocarpa" (Pinaceae) en el estado de Jalisco. Tesis profesional licenciado en biología. Campus Las Agujas. Zapopan, Jalisco. 55p.
- Peña, D. 2002. Análisis de datos multivalentes. McGraw-Hill Interamericana de España S.L. España. 560 p.
- Perry, J. P. 1982. The taxonomy and chemistry of *Pinus Estevezii*. Journal of the Arnold Arboretum 63(2): 187-98.
- Perry, J. P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Pres, Inc. Honk Kong. 231 p.
- Pierce, B. A. 2009. Genética, un enfoque conceptual. Medica Panamericana. Madrid, España. 730 p.

- Ramírez-Padilla, B. R., y R. I. Goyes-Acosta. 2004. Botánica generalidades, morfología y anatomía de plantas superiores. Universidad del Cauca, Popayan, Colombia. 195 p.
- Rehfeldt, G. E. 1991. A model of genetic variation for *Pinus ponderosa* in the Inland Northwest (U.S.A.): applications in gene resource management. Canadian Journal of Forest Research 21(1): 1491-1500.
- Restrepo, L. F., S. L. Posada, y R. Noguera. 2012. Aplicación del análisis por componentes principales en la evaluación de tres variedades de pasto. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 25(1): 258-266.
- Richardson, D. M., and P. L. Rundel. 1998. Ecology and Biogeography of *Pinus*: an introduction. In Ecology and biogeography of *Pinus*. (ed). D. Richardson. Cambridge University Press. Cambridge, UK. pp: 3-46.
- Sáenz-Romero, C., S. Aguilar-Aguilar, M. A. Silva-Farías, X. Madrigal-Sánchez, S. Lara-Cabrera, y J. López-Upton. 2012. Variación morfológica altitudinal entre poblaciones de *Pinus devoniana* Lindl. y la variedad putativa *cornuta* Martínez en Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(13): 17-28.
- Tapia, J., y J. Návar. 2011. Ajuste de modelos de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en bosques de pino de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, México. Foresta Veracruzana 13(2): 19-28.
- 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.
- Useche-Castro, L. M., y D. M. Mesa-Ávila. 2006. Una introducción a la imputación de valores perdidos. Terra Nueva Etapa 22(31): 127-151.
- Vázquez-Cuecuecha, O.G. 2004. Potencial de producción de semillas y variación en conos y semillas de *Pinus oaxacana* Mirov en una población del estado de Tlaxcala, México. Tesis profesional maestro en ecología forestal. Universidad Veracruzana, Campus Xalapa. Xalapa, Veracruz, México. 39 p.

- Viveros-Viveros, H., A. R. Camarillo-Luna, C. Sáenz-Romero, y A. Aparicio-Rentería. 2013. Variación altitudinal en caracteres morfológicos de *Pinus patula* en el estado de Oaxaca (México) y su uso en la zonificación. *Bosque* 34(2): 173-179.
- Zerón, A. 2011. Biotipos, fenotipos y genotipos ¿Qué biotipo tenemos? *Revista Mexicana de Periodontología* 2(1): 22-33.

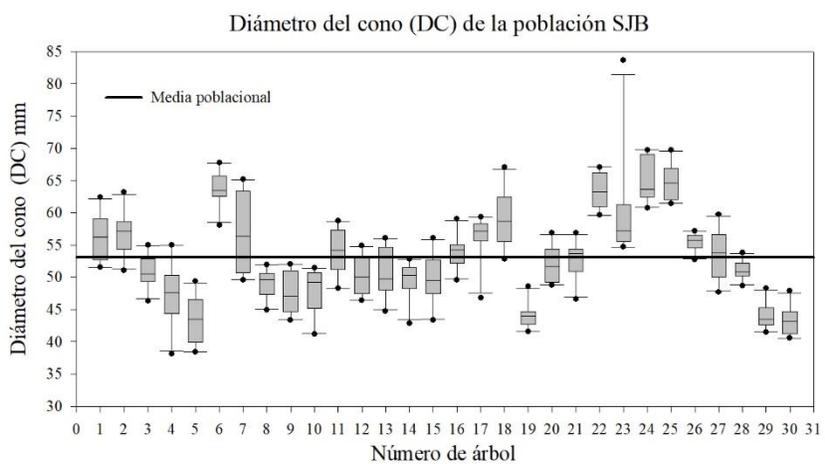
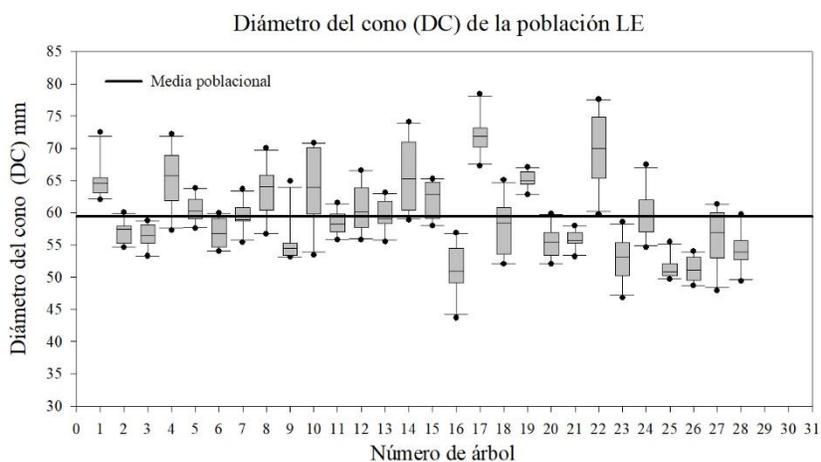
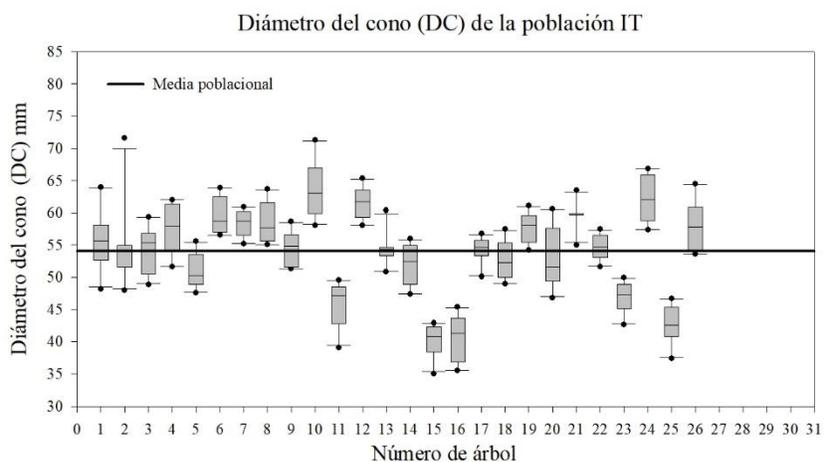
8. ANEXOS

Anexo 1. Longitud de los conos evaluados de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



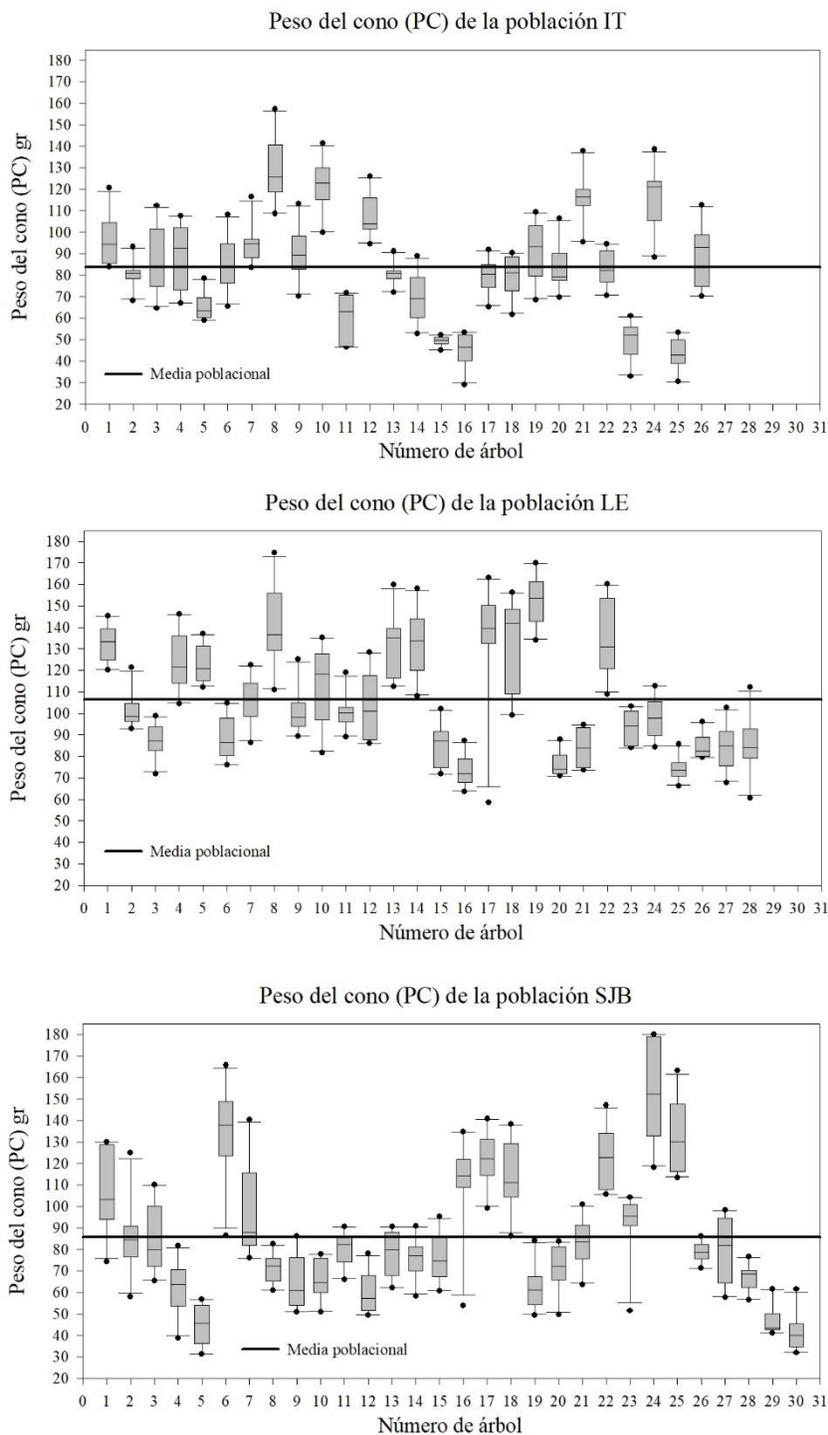
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y LC = longitud del cono.

Anexo 2. Diámetro de los conos evaluados de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



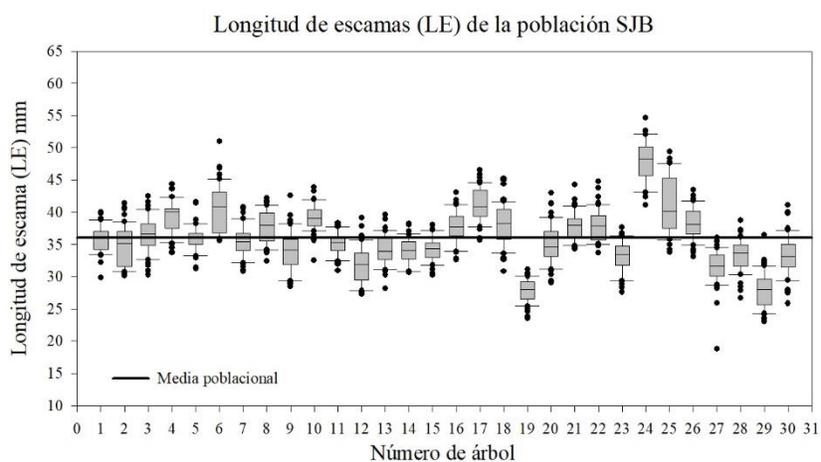
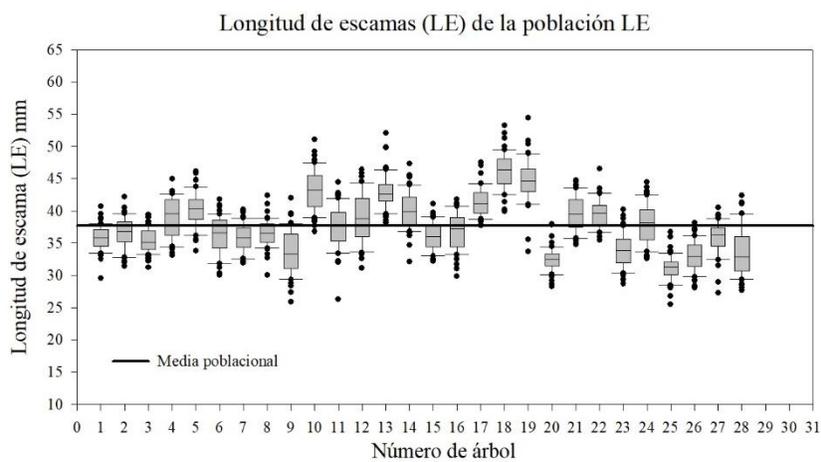
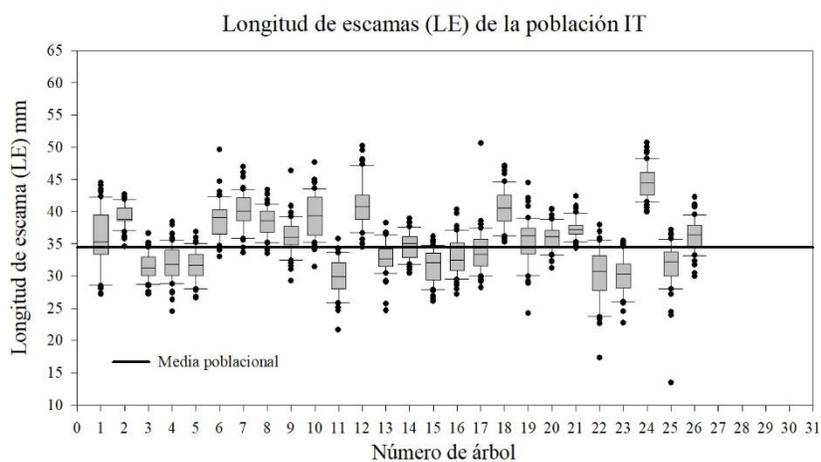
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y DC = diámetro del cono.

Anexo 3. Peso de los conos evaluados de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



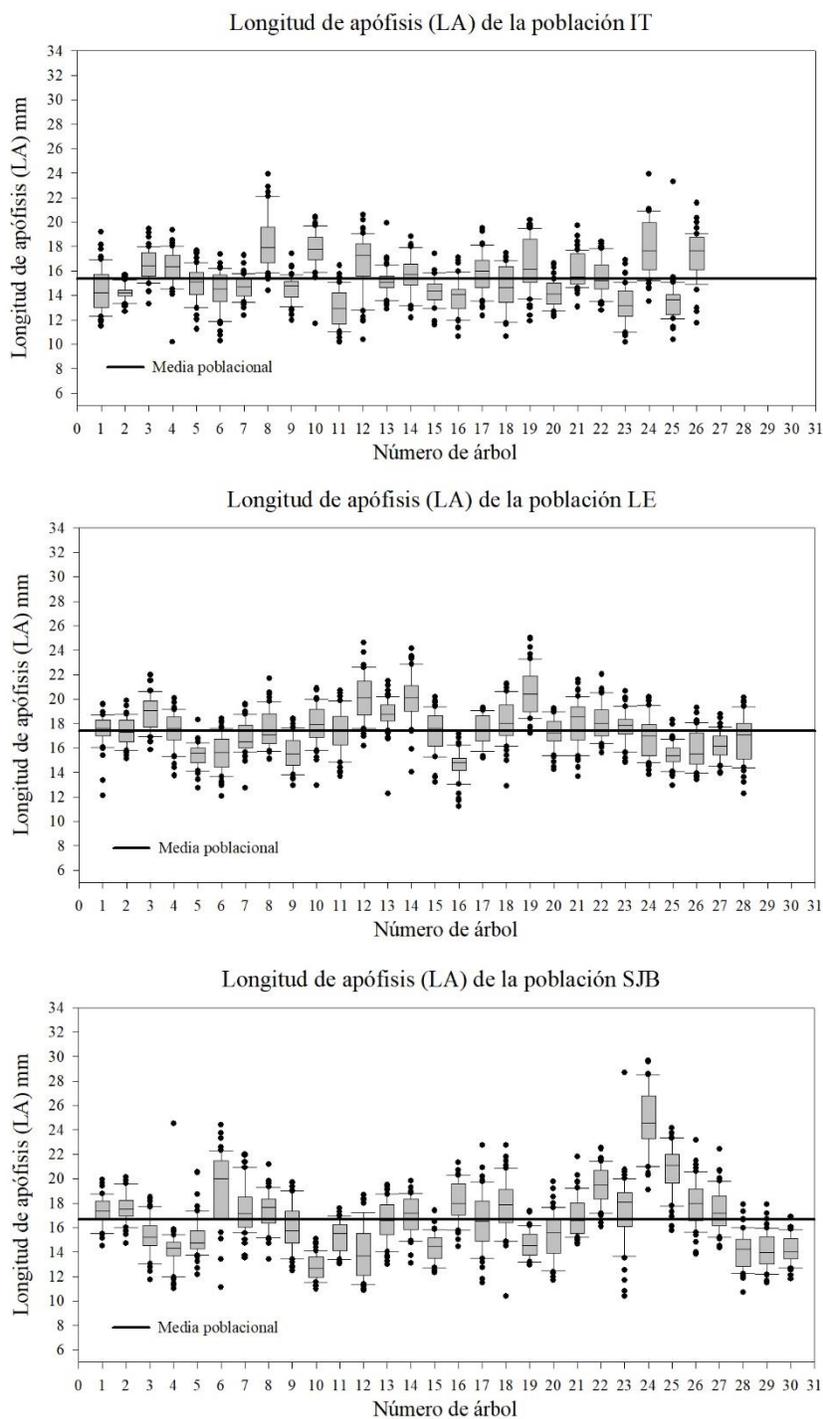
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y PC = peso del cono.

Anexo 4. Longitud de las escamas evaluadas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



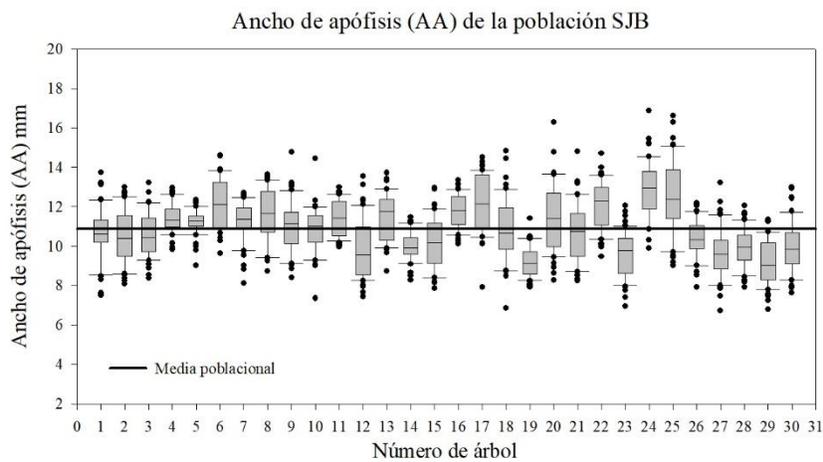
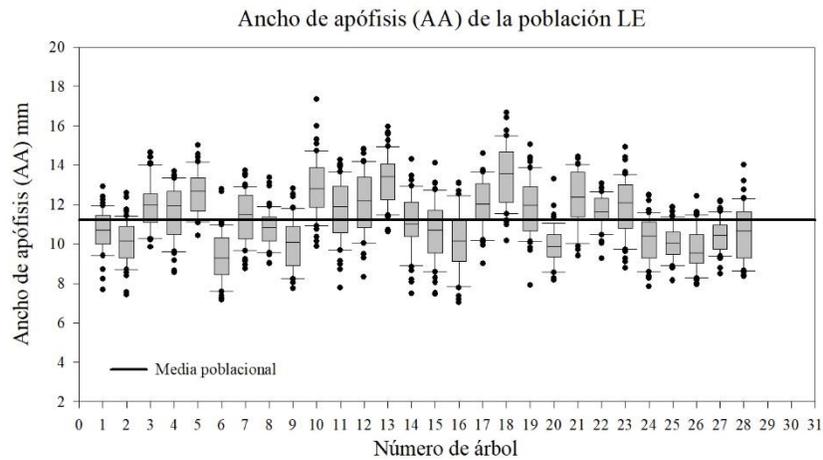
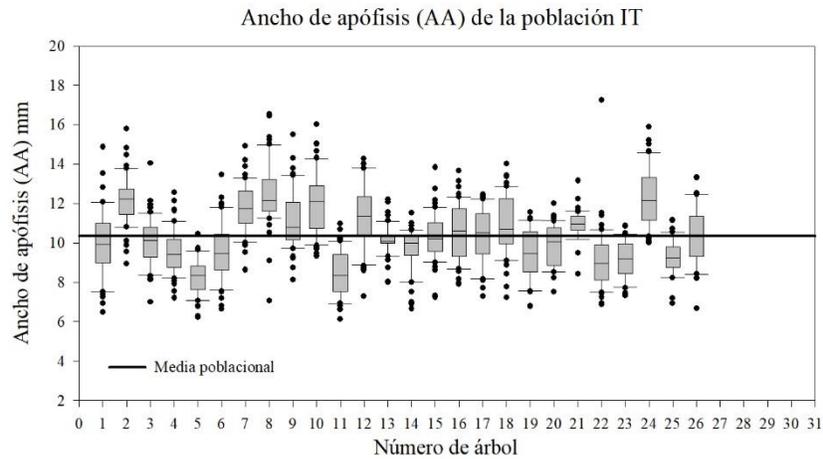
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y LE= Longitud de escama.

Anexo 5. Longitud de apófisis de las escamas evaluadas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



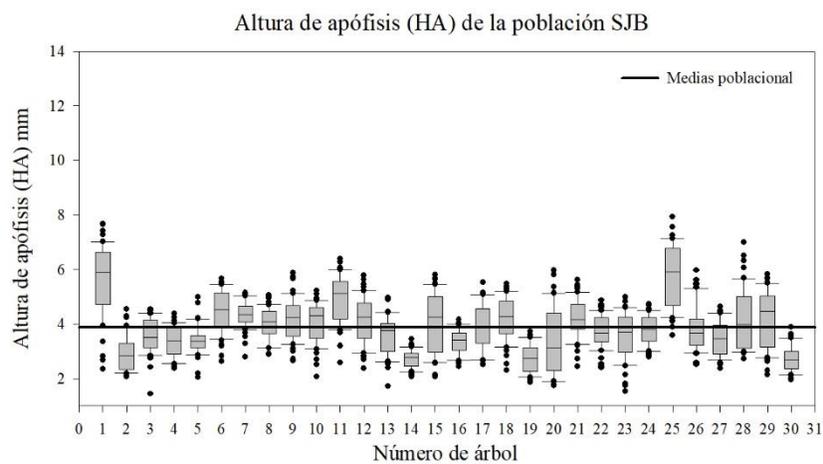
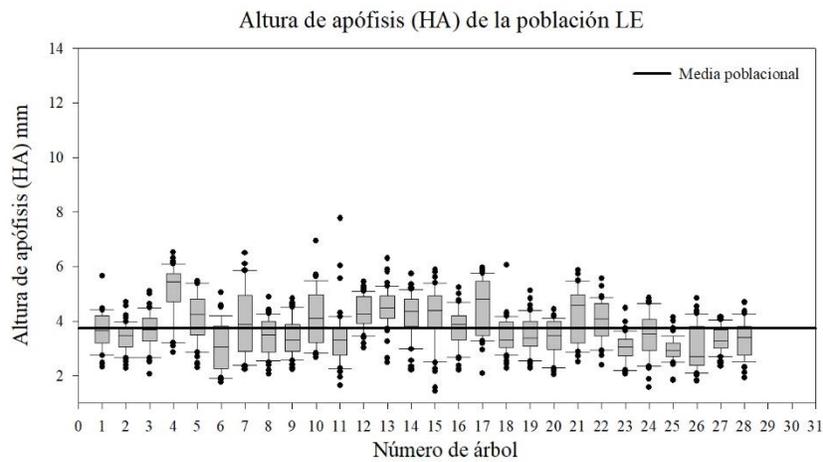
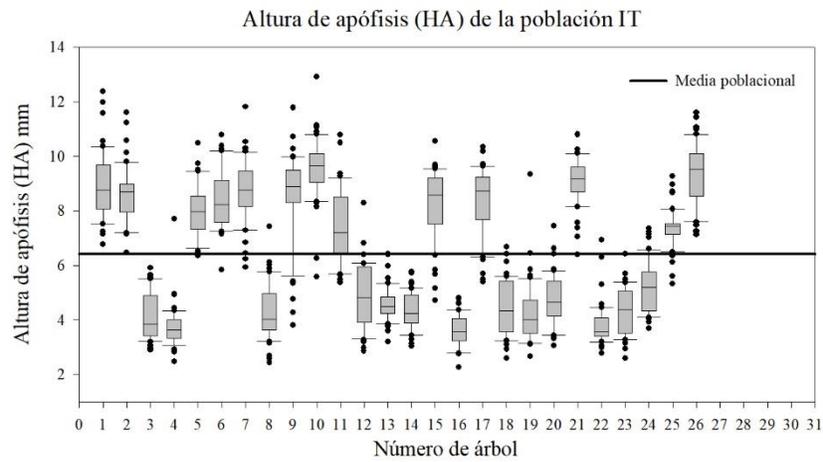
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y LA= Longitud apófisis.

Anexo 6. Ancho de apófisis de las escamas evaluadas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



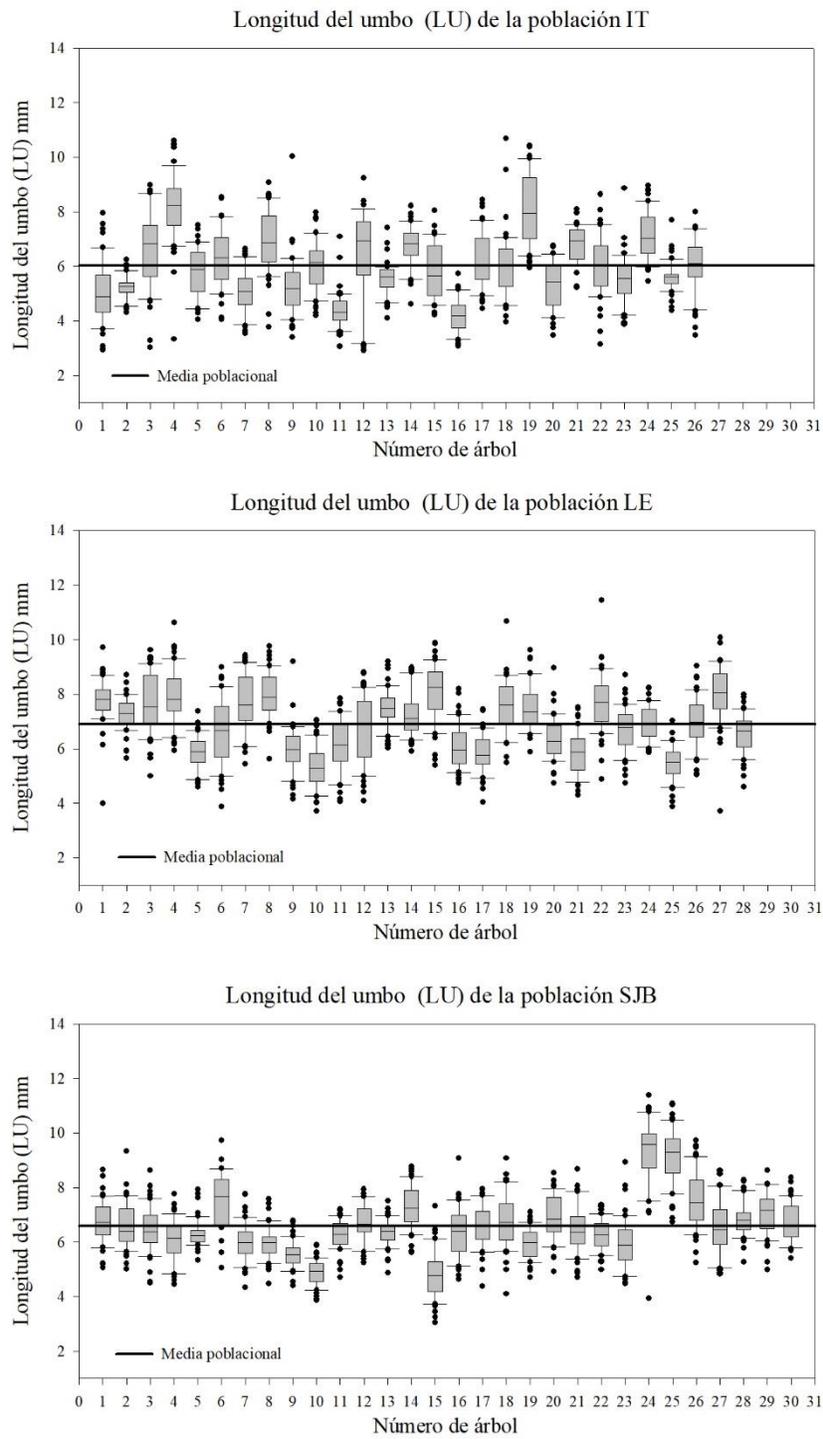
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y AA = Ancho de apófisis.

Anexo 7. Altura de apófisis de las escamas evaluadas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



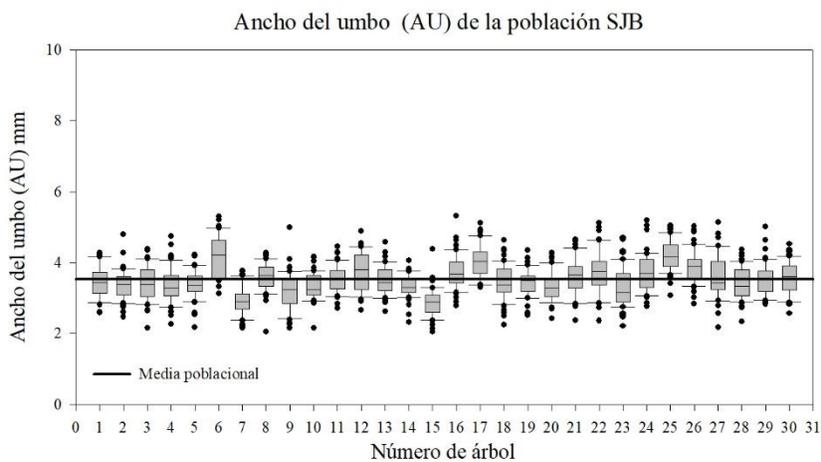
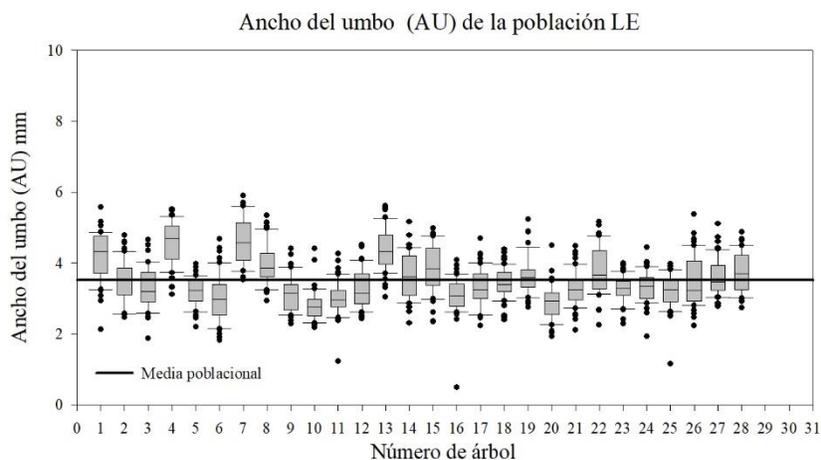
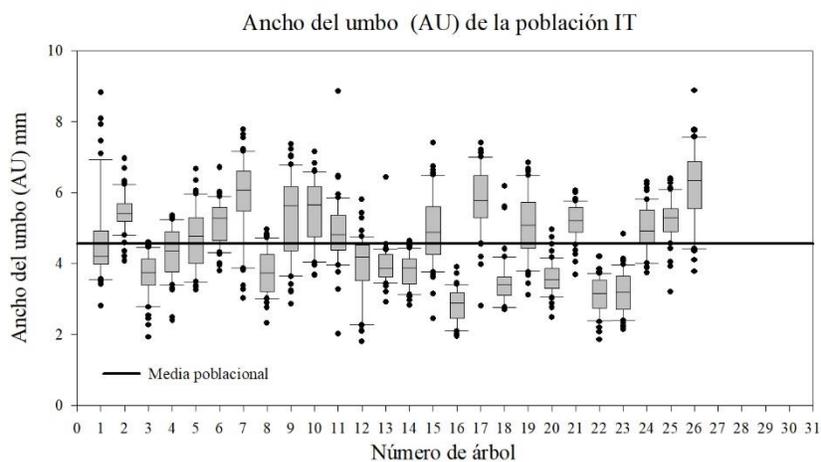
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y HA = Altura de apófisis.

Anexo 8. Longitud del umbo de las escamas evaluadas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



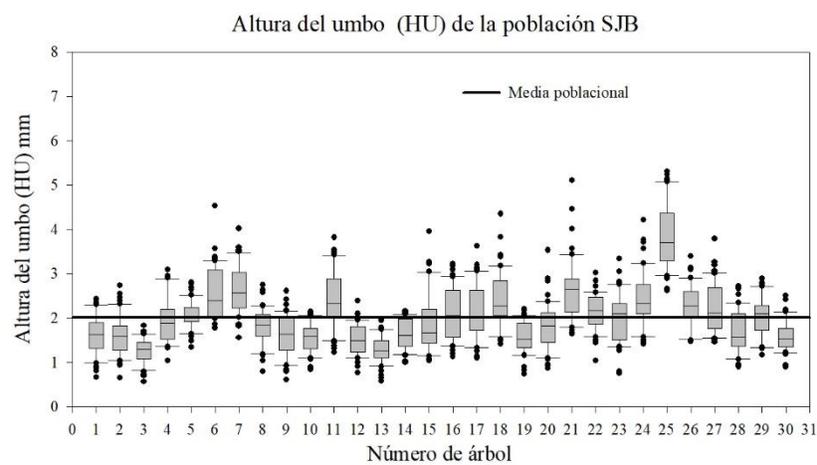
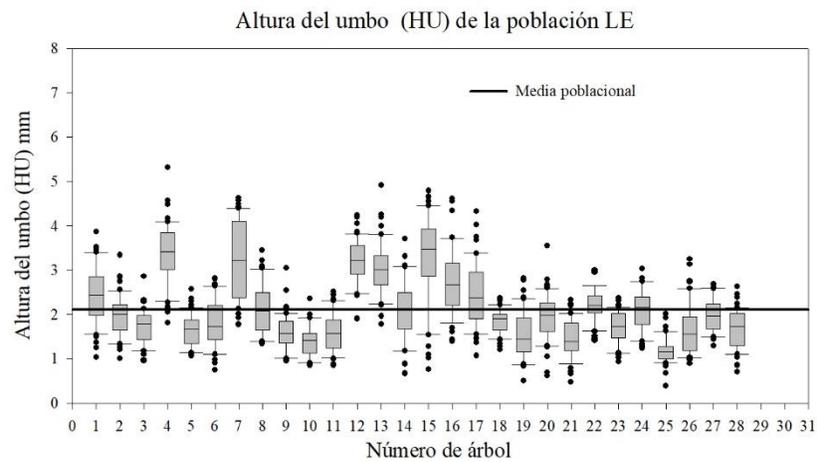
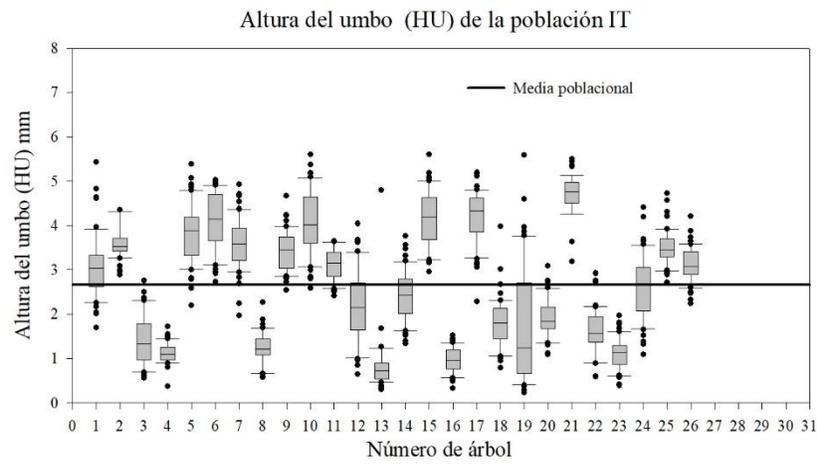
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y LU = Longitud del umbo.

Anexo 9. Ancho del umbo de las escamas evaluadas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



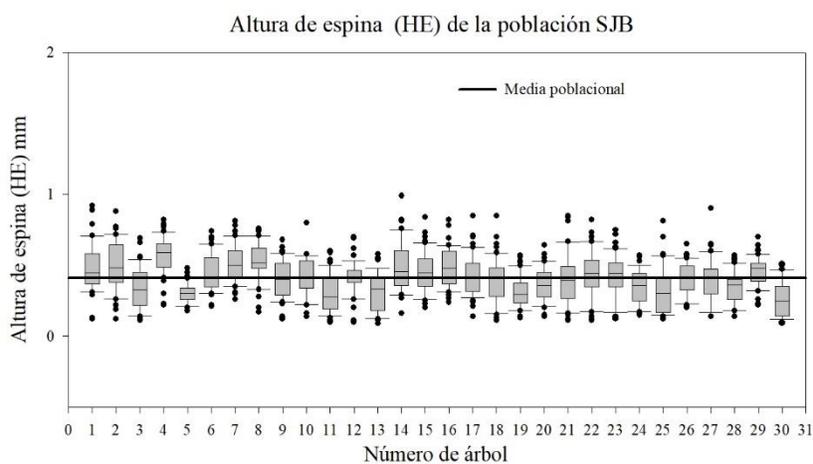
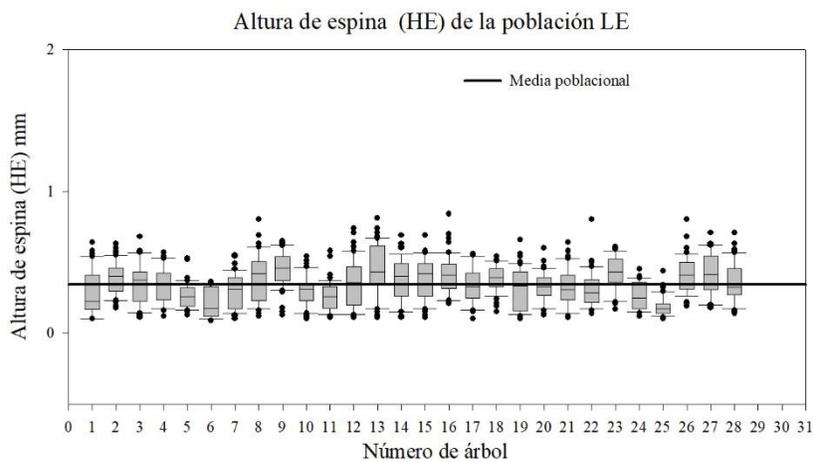
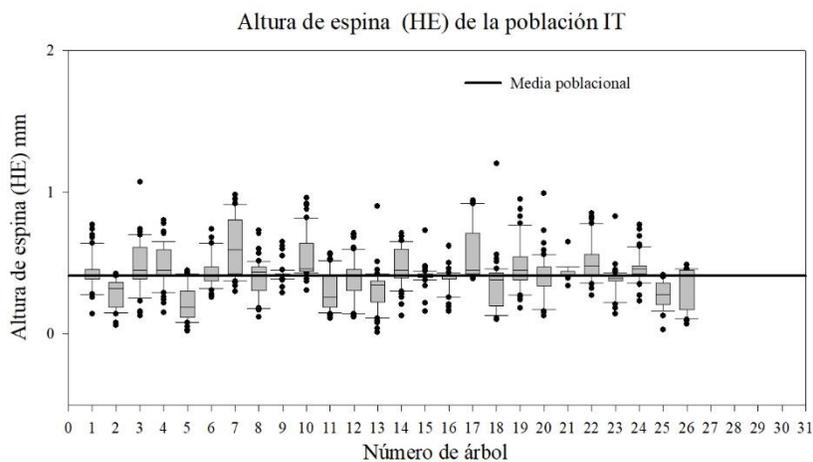
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y AU = Ancho del umbo.

Anexo 10. Altura del umbo de las escamas evaluadas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



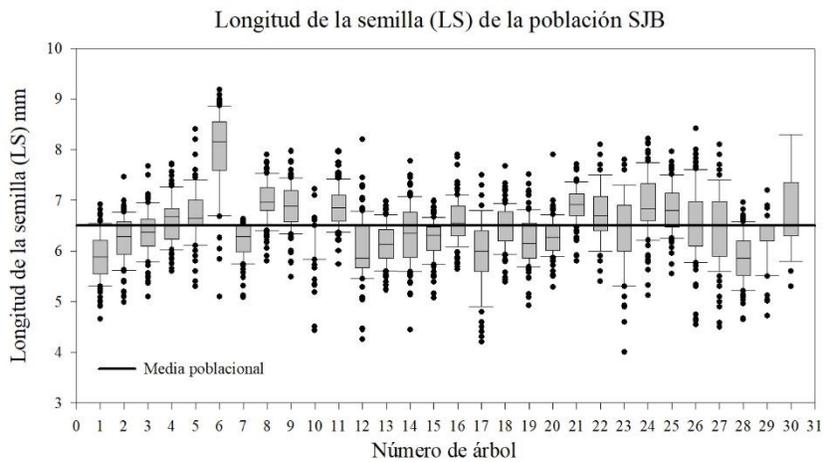
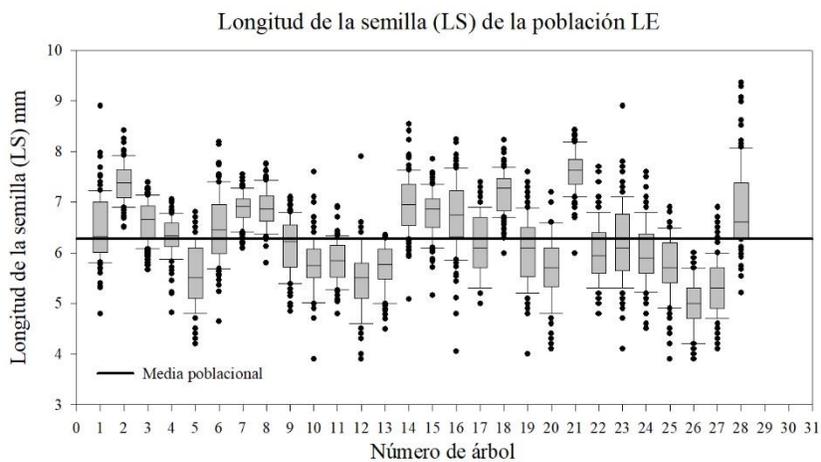
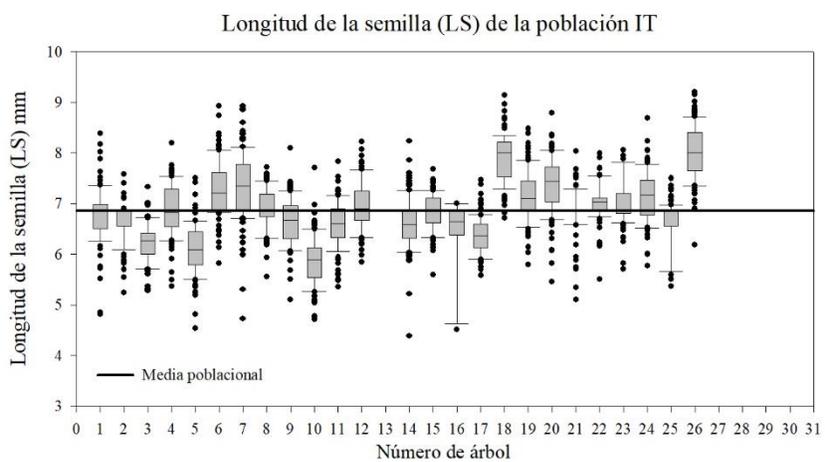
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y HU = Altura del umbo.

Anexo 11. Altura de la espina de las escamas evaluadas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



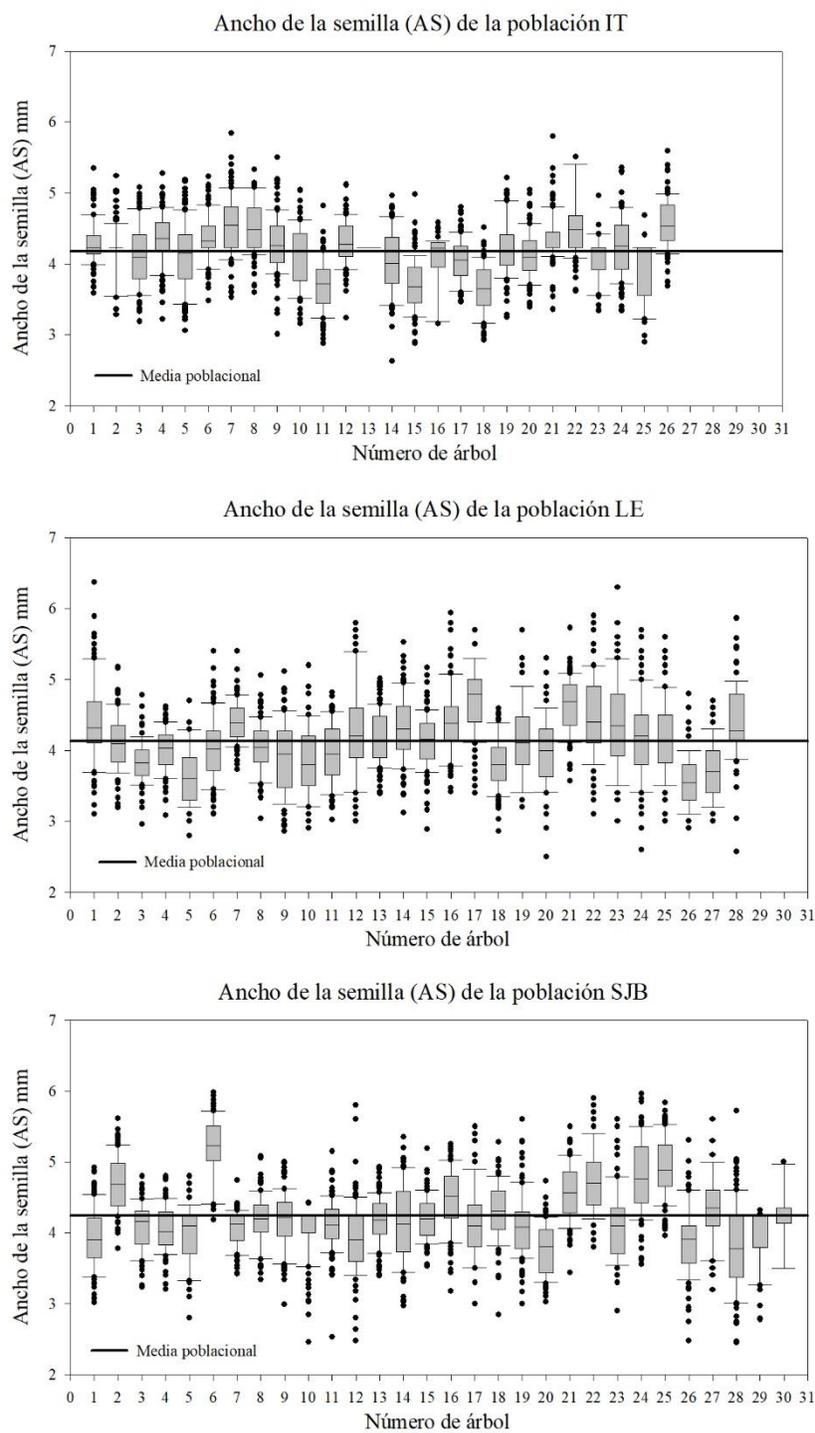
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y HE = Altura de espina.

Anexo 12. Longitud de semillas evaluadas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



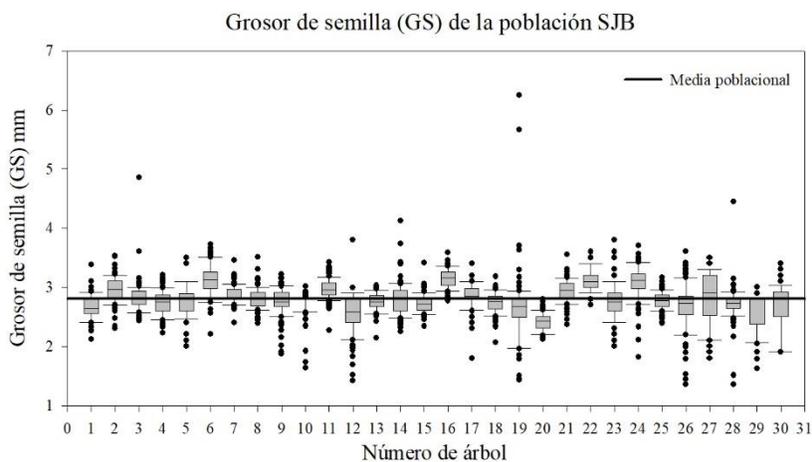
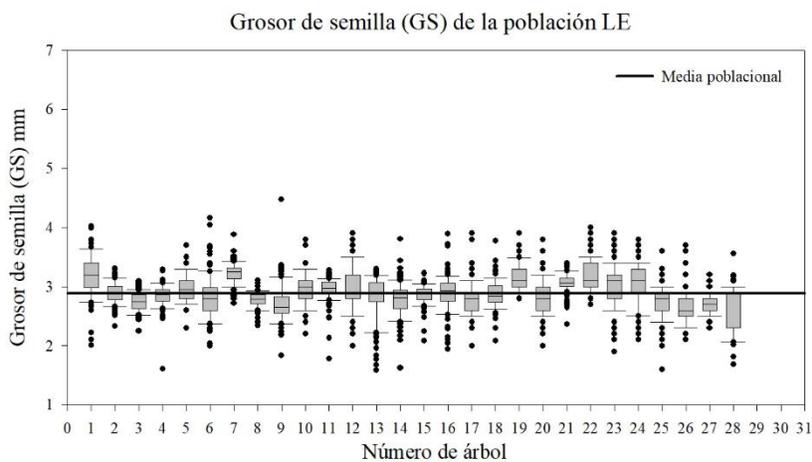
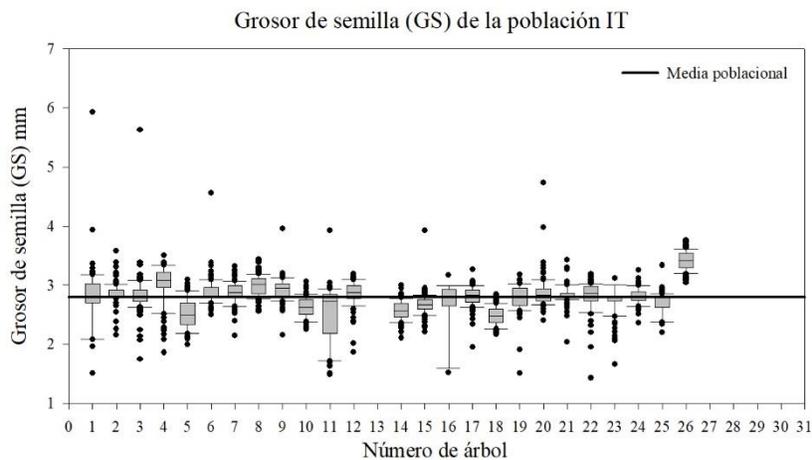
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y LS = Longitud de semilla.

Anexo 13. Ancho de semillas evaluadas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



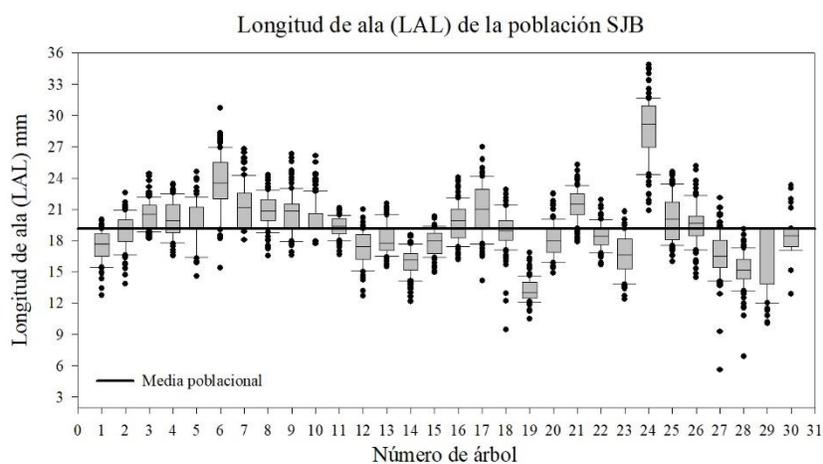
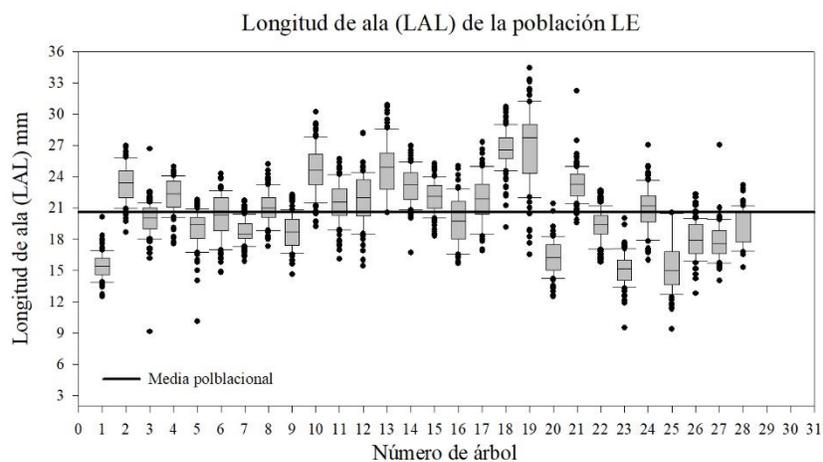
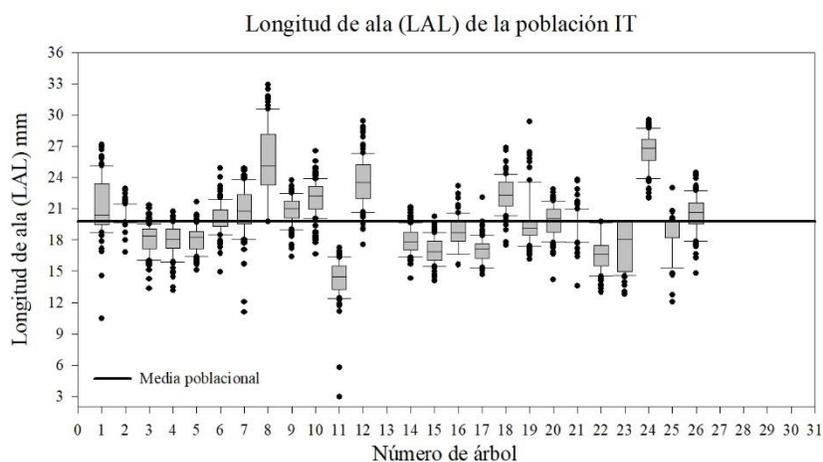
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y AS = Ancho de semilla.

Anexo 14. Grosor de semillas evaluadas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



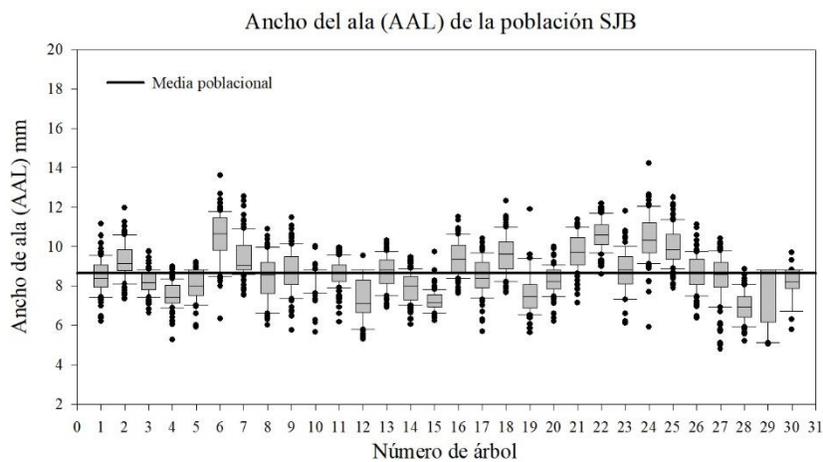
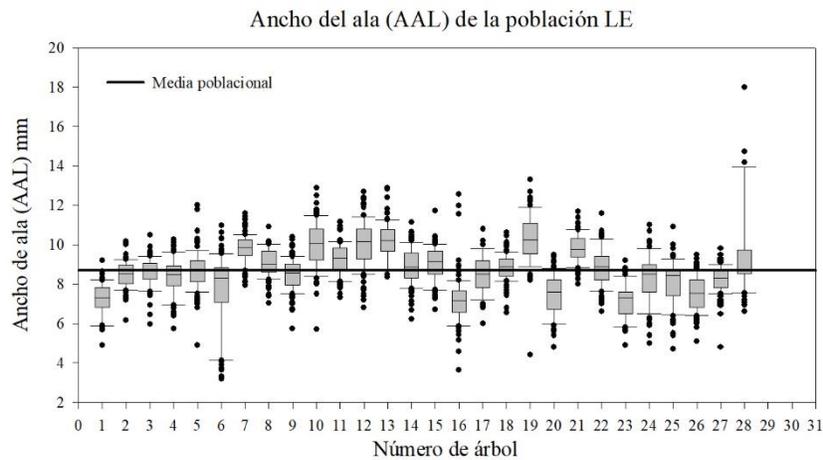
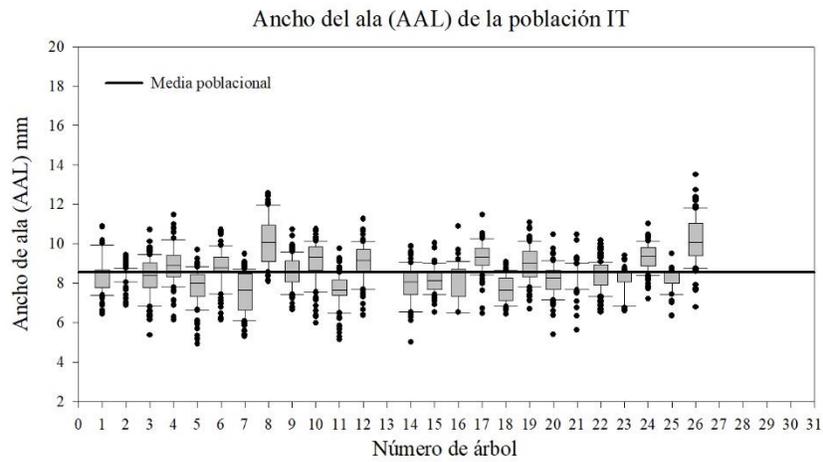
Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y GS = Grosor de semilla.

Anexo 15. Longitud de ala de semillas evaluadas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y LAL= Longitud de ala

Anexo 16. Ancho de ala de semillas evaluadas de tres poblaciones de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.



Dónde: IT = Iturbide, LE = La escondida, SJB = San José de Boquillas y AAL= Ancho de ala.