

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



VIABILIDAD DE SEMILLAS DE *Picea mexicana*
Martínez Y SU RELACIÓN CON INDICADORES
REPRODUCTIVOS

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA POR:

ARMANDO ELÍAS SIERRA VILLAGRANA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DE 2005

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

VIABILIDAD DE SEMILLAS DE *Picea mexicana* Martínez Y SU
RELACIÓN CON INDICADORES REPRODUCTIVOS

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA POR:

ARMANDO ELÍAS SIERRA VILLAGRANA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

ASESOR PRINCIPAL

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE AGRONOMÍA

M.C. CELESTINO FLORES LÓPEZ

M.C. ARNOLDO OYERVIDES GARCÍA

BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO
JUNIO DE 2005

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

VIABILIDAD DE SEMILLAS DE *Picea mexicana* Martínez Y SU
RELACIÓN CON INDICADORES REPRODUCTIVOS

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA POR:

ARMANDO ELÍAS SIERRA VILLAGRANA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL

M.C. CELESTINO FLORES LÓPEZ

ASESOR

DR. MARIO ERNESTO VAZQUEZ BADILLO

ASESOR

M.C. SALVADOR VALENCIA MANZO

BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO
JUNIO DE 2005

El presente trabajo forma parte del Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 02.03.0207.2412 titulado "Indicadores reproductivos de conos y semillas en poblaciones de *Picea mexicana* Martínez, *Pinus johannis* M. -F. Robert *Pinus arizonica* var. *stormiae* Mart. y *Pseudotsuga flahaulti* Flous de la Sierra de Arteaga, Coahuila y áreas de Nuevo León".

Este trabajo se realizó en el Laboratorio del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

DEDICATORIA

**A mis padres: Rita Villagrana Guzmán
Y
Humberto Sierra Duarte**

Con todo mi amor y cariño, por darme la oportunidad de seguir a delante y creer en mi, por sus consejos, comprensión y por su preocupación de que sea alguien en la vida.

A mis hermanos: Rubén y Luís Daniel por su apoyo, cariño y comprensión

A mis queridos abuelos Nicomedes Guzmán, Ignacia Duarte, Elías Villagrana y Taurino Sierra (†) por brindarme su amor y cariño.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de realizar mis estudios de licenciatura y darme la formación como profesionista.

AL Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de realizar mi trabajo.

Al M.C. Celestino Flores López por darme la oportunidad de realizar este trabajo, dirigir y por sus valiosos consejos y amistad

Al M.C. Salvador Valencia Manzo por su valioso apoyo y revisión de este trabajo, por sus consejos y apoyo brindado durante mi estancia en la universidad.

Al Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo por su disposición en la participación y revisión de este trabajo y sugerencias del mismo.

A la laboratorista Sandra Luz García Valdez por su apoyo en el presente trabajo dentro del laboratorio de Tecnología de Semillas.

A la laboratorista Graciela por el apoyo y asesoría durante la realización de este trabajo en laboratorio.

A los profesores del departamento forestal por contribuir a mi formación profesional y sus valiosos consejos.

Al Ing. Fidel Villagrana Soto Por brindarme su apoyo y darme sus valiosos consejos durante mi formación profesional.

A mis amigos, Enrique Bucio Zamudio, Rafael Contreras Mejía, Estela Hernández Bautista y Homero Quintero Castañeda por darme su apoyo y su amistad en las buenas y las malas durante la carrera.

A mis compañeros de la generación XCVIII por su amistad.

A mis tíos: Herlinda Villagrana, Soledad Sierra, Uriel Villagrana y Rigoberto Villagrana por brindarme su apoyo tanto económico como moral y por sus valiosos consejos.

A Miguelina Hurtado Flores por su brindarme su amistad, su cariño y sus valiosos consejos durante mi carrera.

A mis primas Estela Gastelum y Romelia Villagrana por su apoyo y amistad que me brindaron durante mi estancia en la universidad.

A Joel Castro, Héctor, Jorge y Marcelo por el apoyo y la amistad que me han brindado.

A Efrén, Avelino, Oscar, Manuel, Edgar, Víctor y Guadalupe por su amistad y apoyo durante mi carrera.

A todos aquellas personas que contribuyeron directamente e indirectamente en este trabajo.

A todos aquellos que faltaron, mi agradecimiento especial.

CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| ÍNDICE DE CUADROS..... | iii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | iv |
| RESUMEN..... | v |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Objetivos..... | 2 |
| 2 REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 Descripción de <i>Picea mexicana</i> Martínez..... | 3 |
| 2.2 Viabilidad de semillas en coníferas..... | 4 |
| 2.3 Latencia en semillas de coníferas..... | 5 |
| 2.3.1 Tipos de latencia..... | 6 |
| 2.3.2 Tratamientos pregerminativos para romper latencia en semillas..... | 7 |
| 2.4 Indicadores reproductivos de conos y semillas..... | 10 |
| 3 MATERIALES Y MÉTODOS..... | 13 |
| 3.1 Obtención y beneficio de semillas..... | 13 |
| 3.2 Ensayo de germinación..... | 13 |
| 3.2.1 Tratamientos pregerminativos..... | 15 |
| 3.2.2 Variables de evaluación..... | 16 |
| 3.2.3 Diseño experimental..... | 16 |
| 3.2.4 Revisión de la viabilidad de semillas no geminadas con cloruro de tetrazolio..... | 17 |
| 3.3 Comparación de plántulas normales y anormales con características reproductivas de conos y semillas.... | 18 |
| 3.3.1 Evaluación de características reproductivas de conos y semillas..... | 18 |
| 3.3.2 Evaluación de plántulas anormales..... | 19 |
| 3.3.3 Análisis estadístico..... | 19 |
| 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 20 |
| 4.1 Determinación de tratamientos pregerminativos para la germinación de semilla de <i>Picea mexicana</i> Martínez | 20 |
| 4.1.1 Ensayo de germinación para la población "El Mohinora"..... | 20 |
| 4.1.2 Ensayo de germinación para la población "La Marta"..... | 23 |
| 4.1.3 Ensayo de germinación para la población "El Coahuilón"..... | 26 |

| | Página |
|--|--------|
| 4.1.4 Comparación de germinación entre poblaciones..... | 28 |
| 4.2 Correlaciones entre germinación e indicadores reproductivos..... | 30 |
| 5 CONCLUSIONES..... | 40 |
| 6 RECOMENDACIONES..... | 41 |
| 7 LITERATURA CITADA..... | 42 |
| 8 APÉNDICE..... | 48 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Página |
|---|--------|
| Cuadro 1. Superficie, coordenadas geográficas, altitud, número de árboles, media (y amplitud) para la altura total, el diámetro normal y la edad de los árboles, y número promedio de semillas por kilogramo en tres poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez para dos años de colecta (Flores, 2004)... | 14 |
| Cuadro 2. Descripción de tratamientos pregerminativos aplicados a las semillas de tres poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez..... | 15 |
| Cuadro 3. Comparación de medias de germinación total, y valor de germinación de Czabator de las poblaciones "El Mohinora" Chihuahua, "La Marta" Nuevo León y "El Coahuilón" Coahuila..... | 23 |
| Cuadro 4. Coeficiente de correlación de Pearson entre indicadores reproductivos tres poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez en la colecta de 2001..... | 31 |
| Cuadro 5. Coeficiente de correlación de Pearson entre indicadores reproductivos para la población "El Mohinora" de <i>Picea mexicana</i> Martínez en la colecta de 2001..... | 32 |
| Cuadro 6. Coeficiente de correlación de Pearson entre indicadores reproductivos para la población "La Marta" de <i>Picea mexicana</i> Martínez en la colecta de 2001..... | 33 |
| Cuadro 7. Coeficiente de correlación de Pearson entre indicadores reproductivos para la población "El Coahuilón" de <i>Picea mexicana</i> Martínez en la colecta de 2001..... | 34 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1. Germinación acumulada en porcentaje e incremento medio diario de germinación de los tratamientos aplicados a semilla de <i>Picea mexicana</i> Martínez de la población "El Mohinora" Chihuahua..... | 22 |
| Figura 2. Germinación acumulada en porcentaje e incremento medio diario de germinación de los tratamientos aplicados a semilla de <i>Picea mexicana</i> Martínez de la población "La Marta" Nuevo León..... | 25 |
| Figura 3. Germinación acumulada en porcentaje e incremento medio diario de germinación de los tratamientos aplicados a semilla de <i>Picea mexicana</i> Martínez de la población "El Coahuilón" Coahuila..... | 27 |
| Figura 4. Germinación acumulada en porcentaje e incremento medio diario de germinación de la semilla de <i>Picea mexicana</i> Martínez para las poblaciones "El Mohinora" Chihuahua, "La Marta" Nuevo León y "El Coahuilón" Coahuila..... | 29 |

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar el mejor tratamiento pregerminativo para las semillas de tres poblaciones "EL Mohinora" Chihuahua, "La Marta" Nuevo León y "El Coahuilón" Coahuila de *Picea mexicana* Martínez y la relación de la germinación por árbol, proporción de plántulas normales y anormales con indicadores reproductivos de conos y semillas.

Se establecieron dos pruebas de germinación: la primera fue para evaluar el efecto de nueve tratamientos (testigo, peróxido a seis y 12, giberelinas a seis y 12 horas, temperaturas alternas, imbibición en agua a 12 y 24 horas y nitrato de potasio) para cada una de las tres poblaciones; se realizó el análisis de varianza por cada población con un diseño completamente aleatorio. Para la segunda prueba se relacionó el porcentaje de germinación, proporción de plántulas normales y anormales por cada árbol con los valores de indicadores reproductivos de conos y semillas.

La mayoría de los tratamientos pregerminativos fueron similares al testigo para cada una de las poblaciones excepto temperaturas alternas que fue inferior para la población de "El Mohinora", a pesar de esto las semillas de *Picea mexicana* Martínez no requiere tratamiento pregerminativo y solamente el almacenamiento en frío es suficiente para alcanzar un mayor porcentaje e incremento en la germinación. Esta especie presentó bajo porcentaje e incremento en germinación lo que pudiera ser producto de la forma del almacenamiento o del efecto del vigor de la población. Los valores de germinación se asocian con la presencia de plántulas anormales y esto puede ser producto de la

autopolinización en la población lo que es un indicador crítico en la reproducción de la especie.

Palabras clave: *Picea mexicana*, tratamientos pregerminativos, indicadores reproductivos.

1 INTRODUCCIÓN

Existen cerca de 35 especies de *Picea* en el mundo y tal vez cinco o seis de ellas se pueden clasificar como raras. De las especies existentes del mundo, *Picea chihuahuana* Martínez, *P. martinezii* Patterson y *P. mexicana* Martínez se encuentran en México, las cuales se han clasificado en la categoría: "en peligro de extinción" (Gordon, 1990; SEMARNAT, 2002).

Por otra parte, la necesidad que el hombre ha tenido de aprovechar los recursos naturales ha originado que muchas especies hayan sido utilizadas intensamente, al grado de ocasionar la disminución y aun la desaparición de muchas de ellas (Sánchez, 1984). Las poblaciones de *Picea mexicana* que se encuentran en Coahuila se han visto amenazadas con desaparecer, principalmente por los incendios ocurridos, así como la reducida capacidad reproductiva, por lo que es necesario establecer varias acciones para su conservación *in situ* y *ex situ* (Cornejo, 1987; Flores, 2004).

Las poblaciones de *Picea mexicana* son muy pequeñas, lo más probable es que exista endogamia y esto tiene como producto plántulas anormales y no vigorosas. Por lo que es necesario conocer los indicadores reproductivos como el tamaño del cono, número de semillas llenas por cono, proporción de óvulos abortados, semillas llenas y vanas, germinación de semillas, supervivencia y vigor de plántulas, así como proporción de plántulas normales y anormales (Flores, 2004).

Por otra parte no se conocen trabajos sobre germinación de esta especie, por lo que se tienen que desarrollar y al mismo

tiempo evaluar la forma adecuada para determinar la viabilidad y características de vigor y la calidad de las plántulas. Consideramos que las características de germinación y de las plántulas (normales y anormales) están ligadas en cierta forma a los indicadores reproductivos, por lo tanto estos son los propósitos en este trabajo.

1.1 Objetivos

Determinar el tratamiento pregerminativo adecuado para obtener el mayor porcentaje de germinación y vigor con semilla de tres poblaciones de *Picea mexicana*.

Evaluar la germinación de semillas de *Picea mexicana* y proporción de plántulas normales y anormales por cada árbol y relacionarlos con indicadores reproductivos para la colecta de 2001.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción de *Picea mexicana* Martínez

Picea mexicana Martínez fue comparada con *Picea engelmanni* Parry y *Picea pungens* Engelm por Martínez (1961) y la consideró como una nueva especie. Por otra parte, Taylor y Patterson (1980) examinaron las comparaciones taxonómicas realizadas por Martínez y utilizando los resultados de análisis fotoquímicos, concluyeron que *Picea mexicana* no se diferencia de *Picea engelmanni* y reducen la especie a un estatus varietal, nombrándola como *Picea engelmanni* Parry var. *mexicana* (Martínez).

Sin embargo, Ledig et al., (2004) realizaron estudios de izoenzimas, DNA y comparación de cloroplastos en *Picea chihuahuana*, *P. martinezii*, *P. mexicana*, *P. breweriana* S. Watson, *P. engelmannii* y *P. pungens*, con los resultados obtenidos *P. mexicana* regresa a su estatus anterior como una especie diferente de *P. engelmannii*.

Esta especie tiene de 25 a 28 m de altura, y diámetro normal de 50 a 60 cm. Se ramifica a partir de los 2 o 3 m, presenta ramas verticiladas; las inferiores son extendidas y las superiores ascendentes, formando una copa piramidal. Las semillas son ovoides, con color pardo y tamaño de 3.5 mm largo y 2.5 mm ancho (Martínez, 1963).

Los bosques de *Picea* se forman en altitudes entre 2,000 y 3,200 msnm, en sitios sombríos y húmedos, en laderas de cañadas y barrancas o muy protegidos, por lo que ocupa superficies muy reducidas. Las poblaciones de *Picea mexicana* se localizan en la Sierra Madre Occidental, en el Cerro Mohinora, Chihuahua y en la

Sierra Madre Oriental, entre los Estados de Coahuila y Nuevo León (Rzedowski, 1983).

2.2 Viabilidad de semillas en coníferas

Bonner (1985) define viabilidad como el estado de la capacidad de germinación, crecimiento y desarrollo subsiguiente de la plántula. Existen varios métodos para evaluar la viabilidad como lo son, el ensayo de corte, ensayo de cloruro de tetrazolio, ensayo de escisión del embrión, rayos X y ensayos de germinación; este último es el método más práctico y seguro para evaluar la viabilidad (Willan, 1991).

Willan (1991) define la germinación como el surgimiento y desarrollo, a partir del embrión de la semilla, de las estructuras esenciales que indican la capacidad de la semilla para producir una planta normal en condiciones favorables. Las condiciones para que se presente la germinación (Krugman *et al.*, 1974), son las siguientes: 1) humedad suficiente; 2) temperaturas favorables (20-30° C, en *Picea*); 3) intercambio de gases; y 4) en algunas especies, la luz. En términos generales, la germinación consiste en tres procesos simultáneos: 1) absorción de agua; 2) actividad enzimática; y 3) engrandecimiento y divisiones celulares, que tienen como consecuencia la aparición de la radícula del embrión.

Tinus y McDonald (1979) mencionan que la germinación completa de semillas de muchas coníferas ocurre desde los 10 a 25 días, para considerarla completa en almácigos es: 1) la mayoría de la semilla ha germinado; 2) cuando la testa de la semilla se ha despojado, y 3) el sistema radicular de las plántulas ha crecido dentro del medio de crecimiento. El tiempo requerido por

las semillas de especies forestales para germinar varía de acuerdo a la especie aunque en términos generales la germinación se lleva a cabo en el curso de 12 a 30 días (Niembro, 1986; Willan, 1991).

El método más sencillo para determinar la viabilidad es la inspección visual directa de las semillas, previamente abiertas con un cuchillo o escalpelo. Si el endospermo tiene un color normal y el embrión está desarrollado, la semilla tiene muchas posibilidades de germinar (Willan, 1991).

En el método de ensayo de Cloruro de tetrazolio, se tiñen de rojo las células vivas mediante la reducción de una sal de tetrazolio, que es incolora, para formar un formazano rojo. Leadem (1984) realizó pruebas de tetrazolio y germinación, con *Picea glauca* y *Abies amabilis* (Dougl.) Forbes, el promedio de los resultados fue de 9.8% mayor que la prueba de germinación.

El método de escisión del embrión consiste en dejar las semillas en remojo durante 1-4 días y después escindir los embriones de las semillas y colocarlos en papel filtro humedecido en cajas petri. Se colocan después a la luz con una temperatura constante de 20°C. Este ensayo se asemeja a los ensayos de germinación en la que se basa en la germinación real de la semilla para medir su calidad (Willan, 1991).

2.3 Latencia en semillas de coníferas

Bonner (1985) define como latencia, un estado fisiológico en el cual una semilla predispuesta a germinar no lo hace, aún en presencia de condiciones ambientales favorables. En la naturaleza la latencia sirve para proteger a las semillas de unas

condiciones que son temporalmente adecuadas para la germinación pero que enseguida se convertirán en otras condiciones demasiado duras para la sobrevivencia de la delicada y joven plántula. En la zona templada fresca, el tipo de latencia embrionaria que puede eliminarse sólo mediante la exposición a temperaturas bajas facilita la germinación ulterior en primavera, pero impide en otoño, cuando la plántula resultante tendría pocas posibilidades de sobrevivir al invierno (Willan, 1991).

2.3.1 Tipos de latencia

La latencia puede ser de varios tipos, y a veces la misma semilla presenta más de un tipo. La clasificación más sencilla distingue entre: latencia exógena o del pericarpio/cubierta seminal, latencia endógena o del embrión, y latencia combinada, en la que la latencia afecta al mismo tiempo a la cubierta seminal y el embrión (Willan, 1991).

Las causas de la latencia exógena pueden ser físicas, mecánicas y químicas. La latencia física es debido a la impermeabilidad de las cubiertas al agua y a los gases, frecuente en las leguminosas. La mecánica es debido a la resistencia de las cubiertas al crecimiento del embrión, caso menos frecuente. La química se debe a la existencia de sustancias inhibidoras en el pericarpio, es el caso de especies de semidesierto (Serrada 1995).

Para la latencia endógena, las causas pueden ser fisiológicas (mecanismos de inhibición fisiológica de la germinación), morfológicas (inmadurez del embrión) y morfofisiológicas. También pueden darse la existencia de dormiciones endógena y exógena simultáneamente (latencia mixta o

combinada). La latencia morfológica se cita en especies de las familias Palmáceas, Araliáceas, Magnoliáceas y Ranunculáceas. La latencia fisiológica es la más compleja y está frecuentemente asociada a algún tipo de dormición exógena e incluso morfológica. Pueden tener varios grados de intensidad y afecta a muchas especies que habitan en zonas templadas (Serrada, 1995).

2.3.2 Tratamientos pregerminativos para romper la latencia en semillas

Las semillas de muchas especies arbóreas germinan cuando se someten a condiciones de temperatura y humedad favorables. Muchas otras especies poseen un determinado grado de latencia de la semilla. Cuando la latencia es fuerte, la regeneración artificial exige de manera esencial alguna forma de tratamiento previo a la semilla, a fin de obtener una mayor germinación en poco tiempo (Willan, 1991). Existen varios tratamientos previos a la semilla, éstos se aplican de acuerdo al tipo de latencia, escarificación (mecánica, agua caliente, ácido sulfúrico, temperaturas elevadas) estratificación (caliente húmedo, refrigerada, al intemperie), lixiviación, preenfriamiento, presecado, alternación diurna de la temperatura, exposición a la luz, nitrato de potasio, hormonas y estimulantes químicos (giberelinas, citokininas, etileno, tiourea, hipoclorito de sodio) (Hartmann y Kester, 1989).

La escarificación es cualquier proceso de romper, rayar, alterar mecánicamente o ablandar las cubiertas de las semillas para hacerlas permeables al agua y los gases, la escarificación mecánica resulta simple y efectiva en muchas clases de semillas, este método consiste en raspar con lija las cubiertas de las semillas duras, limarlas, o quebrarlas con un martillo o las mordazas de un rodillo de banco, son métodos simples y útiles

para cantidades pequeñas de semillas relativamente grandes. A semillas de *Strypnodendron excelsum* se le aplicó cuatro pretratamientos, imbibición en agua, corte de testa, imbibición en ácido sulfúrico y coutil, de los cuales el corte de testa fue el mejor (100% de germinación) seguido por el ácido sulfúrico (95%) (Rodríguez, 1995).

El tratamiento del remojo de las semillas en agua u otros líquidos combinan a veces dos efectos, el de ablandar la cubierta y el extraer por lixiviación los inhibidores químicos. Algunas semillas que tienen poca resistencia a la germinación pueden responder bien al remojo durante 24 horas en agua a temperatura ambiente (Hartmann y Kester, 1989).

La estratificación es un método de tratamiento de semillas en letargo, en el cual las semillas embebidas de agua son sometidas a un periodo de enfriamiento para que se efectúe la postmaduración del embrión. El término se originó debido a que los viveristas colocaban las semillas en capas intercaladas con un medio húmedo, como tierra o arena, en fosas al aire libre durante el invierno. La temperatura usual de estratificación es de 0 a 10° C. a temperaturas mayores, a menudo las semillas se calientan o brotan prematuramente (Hartmann y Kester, 1989). Con temperaturas bajas (justo el punto de congelación) se retrasa el brotamiento. El almacenamiento de conos de *Picea glauca* en húmedo y frío por 6 semanas permitió obtener un promedio de $94.7 \pm 0.5\%$ de germinación (Caron et al., 1990)

El método de estratificación aplicado a la semilla de *Picea mariana* (Mill) B.S.P. promovió la germinación hasta un 95% en un periodo de 12 días, a temperaturas que van de 5 a 15°C la germinación es lenta con respecto a las temperaturas altas. Sin

embargo, la semilla no estratificada y almacenada a temperaturas de 3 y 20 °C., presentó 100% de germinación sólo bajo el efecto de la luz (Farmer et al., 1984).

También diversas sustancias químicas se han ensayado experimentalmente para tratar de romper la latencia interna. Entre ellas figuran el ácido giberélico, el ácido cítrico, el peróxido de hidrógeno y otros compuestos (Hartmann y Kester, 1989).

Por otra parte, las giberelinas comprenden a un grupo de hormonas vegetales que tienen una actividad significativa en la fisiología de las semillas. Aunque en las plantas se encuentran muchas clases de giberelinas naturales, el ácido giberélico (GA₃) es el que más se emplea para aplicaciones exógenas. El ácido giberélico es producido en cultivos de hongos y se encuentra disponible comercialmente. Los tratamientos con GA₃ pueden superar el letargo fisiológico en varias especies de semillas y estimula la germinación de semillas con embriones en letargo (Hartmann y Kester, 1989).

Burley (1964) aplicó ácido giberélico (GA₃) en *Picea sitchensis* (Bong.) Carr., en concentraciones de 0.1, 1.0 y 10.0 ppm, pero no se presentaron diferencias significativas en velocidad, ni capacidad germinativa comparado con el pretatamiento de agua destilada. En concentraciones de 100 ppm se reduce la capacidad de germinación en un periodo de 30 días. Tampoco en otras especies de coníferas el ácido giberélico y BAP (N-6-Benzylaminopurine) aplicado individualmente o combinado, en agua o acetona transportados, no aumentaron la capacidad ni energía de germinación en *Pinus edulis* Engelm., en sitios de Arizona Central (Gottfried y Heidmann, 1992).

El peróxido de hidrógeno (H_2O_2), es una de las pruebas rápidas para evaluar viabilidad, la cual incrementa la germinación y reduce la microflora en semillas de especies leñosas (Rifle, 1968)

Por ejemplo, el porcentaje de germinación de *Pinus arizonica* fue elevado con el remojo en agua oxigenada al 3% por 12 horas, con lo que se obtuvo una germinación de 96.7%, mientras que para *Pinus durangensis* la mayor germinación (85.5%) se obtuvo sin escarificar la semilla. En ambas especies, el tratamiento de escarificación que presentó menor germinación fue el de la semilla sumergida en agua a punto de ebullición por 30 segundos (Meraz y Bonilla, 2000).

En *Picea engelmanni* var. *mexicana*, se evaluó la germinación de semilla colectada en exposición sur y norte de la copa del árbol, las semillas se pusieron a germinar en cajas petri sin aplicar tratamiento alguno, solamente se aplicó fungicida (un gramo de Captan, en un litro de agua), la germinación se mantuvo ligeramente más alta en la exposición Sur con 37.85% para la exposición Norte fue de 33.10% (Braham, 1995).

2.4 Indicadores reproductivos de conos y semillas

Las medidas de las características reproductivas junto con la diversidad genética pueden servir como indicadores del estado reproductivo y genético para determinar y supervisar la viabilidad de poblaciones en riesgo debido al tamaño pequeño de la población, debido a la baja densidad del arbolado dentro de las poblaciones, y el aislamiento de la población resultado de la fragmentación del bosque (Mosseler y Rajora, 1998).

En poblaciones pequeñas y aisladas unas de otras, estas tienden a desaparecer ya que existen valores reproductivos bajos. La eficiencia reproductiva de una población se puede determinar evaluando características asociadas con la producción de semillas de los árboles, el tamaño del cono, el número de semillas vanas y llenas por cono, proporción de óvulos abortados, germinación de semillas, así como sobrevivencia y vigor de plántulas (Mosseler *et al.*, 2000). La eficiencia en la producción de semillas (porcentaje de semillas llenas con respecto al potencial de semillas) es un parámetro sencillo que puede indicar la existencia de problemas reproductivos en las poblaciones (Bramlett *et al.*, 1977). Además de estos datos se puede inferir la presencia de depresión endogámica, ya que el primer efecto de esta es la reducción en la producción y tamaño de semillas llenas (Ledig, 1986; Ledig *et al.*, 2000).

En *Picea*, la germinación es epigea; el hipocótilo se alarga y los cotiledones se elevan por encima del suelo. En la germinación hipogea no se desarrolla el hipocotilo, y los cotiledones se quedan sobre el suelo o enterrados en él. En la germinación hipogea los cotiledones tienen únicamente la función de almacenar nutrientes, mientras que la germinación epigea pueden también desempeñar una valiosa función de fotosíntesis durante las primeras fases del crecimiento (Willan, 1991).

En la germinación se consideran plántulas normales las que presentan las siguientes características: crecimiento vigoroso, capaces de crecer hasta plántula, resistentes a ataques secundarios. Plántulas anormales se consideran aquellas con ausencia de raíz primaria, raíz primaria atrapada en la cubierta de la semilla, hipocótilo ligeramente enrollado, cuando los cotiledones emergen antes de la raíz, si persiste el collar

endospérmico, si las plántulas son incapaces de sobrevivir hasta plántulas, así como plántulas infectadas incapaces de sobrevivir (Gordón, 1981).

Las poblaciones de especies endémicas e insulares, tienen una mayor tasa de extinción que las especies no endémicas; la depresión endogámica por intracruza es una posible explicación a lo anterior. La fragmentación del hábitat es posible que incremente la susceptibilidad a la extinción y la endogamia, ya que el aislamiento y pequeñez de las poblaciones traerá la endogamia con el tiempo (Frankham, 1998). El comportamiento de algunas plántulas es resultado de la cruce entre árboles heterocigotos debido al comportamiento de algunos alelos (Fowler, 1965). La autopolinización trae como consecuencia plántulas con algunas de las siguientes características: hipocótilo verde pálido, cotiledones normales, hojas finas y cortas, verdes al final o hipocótilo seco, albinas; cotiledones verdes, inicialmente hojas blancas turnándose a verdes, alargadas de del tallo; hipocótilo verde pálido, cotiledón normal, no siempre se manifiestan las hojas, plántulas próximas a morir. La base genética de la mortalidad de plántulas en posgerminación es debido a las características semejantes a albinismo además contribuyen a depresión endogámica, reduciendo el número de plántulas germinadas (Sorensen, 1971).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Obtención y beneficio de semillas

La semilla fue colectada en tres poblaciones de *Picea mexicana* en los Estados de Chihuahua, Nuevo León y Coahuila, durante Noviembre de 1999 y 2001 (Cuadro 1).

La semilla fue almacenada en bolsas de papel cubiertas con plástico y se identificaron, éstas se almacenaron durante 3 y 5 años a temperaturas de $3^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. El almacenamiento no fue homogéneo en temperatura para las tres poblaciones ya que se interrumpió en periodos cortos

La separación de las semillas vanas y llenas se realizó por medio del soplador de semillas de la marca Seedburo, registrando la cantidad de semillas llenas. Del total de las semillas llenas se utilizaron 100 semillas por árbol de 1 a 23 por población y año, luego se pesaron en una balanza analítica de décima de gramo y posteriormente se registró el peso de mil semillas.

3.2 Ensayo de germinación

El 30 de abril de 2004 se estableció la prueba de germinación en el laboratorio de ensayo de germinación del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con el propósito de evaluar el porcentaje de germinación de las semillas de *Picea mexicana* de tres poblaciones, bajo diferentes tratamientos. Se utilizó la cámara de germinación (Lab-line Biotronette Plant Growth Chamber) de temperaturas controlada, con luz las 24 horas con temperaturas constantes de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Cuadro 1. Superficie, coordenadas geográficas, altitud, número de árboles, media (y amplitud) para la altura total, el diámetro normal y la edad de los árboles, y número promedio de semillas por kilogramo en tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez para dos años de colecta (Flores, 2004).

| Población (Superficie [¶]) | Coordenadas [†] | Altitud [†] msnm | Fecha de Colecta | Número de árboles [§] | Altura total (m) | Diámetro normal (cm) | Edad (años) | Número promedio de semillas por Kilogramo |
|--|---------------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------|--|
| Cerro El Mohinora, Chih. (17.35 ha) | 25° 57' 42" N 107° 02' 21" W | 3,185 | 1999 | 25 | 19.9 (3.5-32) | 36.1 (6.8-63.5) | 88 (23-143) | 289,702 |
| | | | 2001 | 18 | 20.8 (14.5-32) | 38.6 (23.5-63.5) | 88 (46-143) | 207,201 |
| Sierra El Coahuilón, Coah. (64.84 ha) | 25° 14' 49" N 100° 21' 12" W | 3,470 | 1999 | 24 | 14 (3.7-24.5) | 30.1 (8.4-57) | 88 (22-263) | 286,469 |
| | | | 2001 | 13 | 14.5 (8-24) | 29.2 (15.5-48.5) | 71 (28-174) | 201,396 |
| Sierra La Marta, N. L. (32.71 ha) | 25° 11' 57" N 100° 21' 48" W | 3,500 | 1999 | 29 | 12.4 (2.5-27.3) | 24.8 (5.1-82.8) | 56 (11-141) | 264,404 |
| | | | 2001 | 10 | 15 (8-23) | 28.5 (15.1-49.9) | 58 (33-83) | 184,273 |

[¶] Proyección UTM zona 12 Datum NAD 27 y zona 14 Datum NAD 27.

[†] Las coordenadas geográficas y la altitud fueron tomadas con un receptor GPS (Trailblazer XL).

[§] Los árboles colectados en 2001 son árboles muestreados en 1999 que tuvieron producción de semillas en ese año.

El material experimental se tomó al azar una muestra de 3600 semillas de cada población, de las cuales se tomaron nueve submuestras de 400 por población, las semillas se colocaron en cajas petri desechables de 10 cm de diámetro, como sustrato se utilizó papel filtro Whatman 1 No 1001110, se aplicó un riego con Captan a una concentración de 1.5 gramos por 1000 mililitros de agua destilada, para evitar la contaminación de hongos.

3.2.1 Tratamientos pregerminativos

Se aplicaron ocho tratamientos y un testigo a la semilla de *Picea mexicana* Martínez por cada población. Para todos los tratamientos se usaron el mismo tamaño de cajas y sustrato (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de tratamientos pregerminativos aplicados a las semillas de tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez.

| Tratamiento pregerminativo | Descripción |
|---|--|
| Testigo (T ₀) | Se agregó agua destilada. |
| Peróxido de hidrógeno H ₂ O ₂ (T ₁) | Concentración del 2% (20 ml H ₂ O ₂ en 1000 ml de agua destilada) en remojo durante seis horas |
| Peróxido de Hidrógeno H ₂ O ₂ (T ₂) | Concentración del 2% (20 ml H ₂ O ₂ en 1000 ml de agua destilada) en remojo durante 12 horas |
| Giberelinas GA ₃ (T ₃) | Concentración de 500 ppm (0.045 gr de GA ₃ en 100 ml de agua destilada). En remojo durante seis horas |
| Giberelinas GA ₃ (T ₄) | Concentración de 500 ppm (0.045 gr de GA ₃ en 100 ml de agua destilada). En remojo durante 12 horas |
| Temperaturas alternas (T ₅) | Temperatura de 25°C por ocho horas y 15°C por 16 horas |
| Imbibición de agua (T ₆) | Se embebió en agua destilada durante 12 horas |
| Imbibición de agua (T ₇) | Se embebió en agua destilada durante 24 horas |
| Nitrato de Potasio KNO ₃ (T ₇) | Concentración al 0.2% (2 gramos de KNO ₃ en 1000 ml de agua destilada) |

ppm: partes por millón

3.2.2 Variables de evaluación

Para el cálculo del valor de germinación se utilizó el método de Czabator (Czabator, 1962) donde:

Valor de germinación= velocidad de germinación diaria (VGD) final X valor máximo de VGD.

Se consideró semilla germinada, aquella cuya longitud de radícula sobrepasó la longitud de la semilla, realizándose el conteo diario hasta que el número de semillas germinadas fuera constante; siguiendo las observaciones hasta 4 días después de no presentar más germinación de semillas, de esta manera se evaluaron solo 28 días después del establecimiento del ensayo.

3.2.3 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue completamente aleatorio para cada población, con nueve tratamientos, cuatro repeticiones, 36 unidades experimentales de 100 semillas cada una, resultando 10800 semillas útiles (Steel y Torrie, 1986):

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde Y_{ijk} es la observación, μ es la media, T_i representa el efecto de los tratamientos, y E_{ijk} representa el error experimental.

La aplicación válida de las pruebas de significancia en el análisis de la varianza exige que los errores experimentales se distribuyan normal e independiente con una varianza común, por lo que se utilizó una transformación angular o transformación de arcosen $\sqrt{\text{proporción}(\text{porcentaje y valor de germinación})}$, debido a que los datos son porcentajes (Steel y Torrie, 1986). Se

determinaron las diferencias entre tratamientos para las diferentes variables, utilizando la prueba Tukey ($\alpha=0.05$).

3.2.4 Revisión de la viabilidad de semillas no germinadas con cloruro de tetrazolio

Para las semillas que no germinaron se evaluó su viabilidad con la solución de cloruro de tetrazolio, se tomaron aleatoriamente cuatro repeticiones de 56 semillas no germinadas por población.

La solución de Cloruro 2, 3, 5 trifnol tetrazol se preparó al 1% (10 gramos de tetrazol en 1000 ml de agua destilada). Se conservó en un matraz cubierto por papel aluminio y se almacenó en refrigeración.

Las semillas se acondicionaron con un remojo de 12 horas en agua destilada después se colocaron en un frasco con solución de tetrazolio, estos se cubrieron con papel aluminio y posteriormente se pusieron los frascos en la estufa de secado con una temperatura controlada de $30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de 4 horas, después, las semillas se lavaron con agua destilada eliminando la solución de tetrazolio. Las semillas se almacenaron en refrigeración con agua destilada a una temperatura de 5°C mientras fueron evaluadas.

Para evaluar las semillas se realizó una disección con un bisturí en cada una de ellas y se observó en el microscopio la coloración del teñido del endospermo y el embrión. De los diferentes grados de tinción encontrados se obtuvieron seis patrones de viabilidad (Apéndice 1). Para cada población se obtuvo el porcentaje de semillas teñidas en cada patrón y por

repetición los cuales se graficaron (Apéndice 2). También se obtuvieron los valores promedios del porcentaje y número de semillas teñidas así como su coeficiente de variación para cada patrón y por población (Apéndice 3).

3.3 Comparación de plántulas normales y anormales con características reproductivas de conos y semillas

La semilla utilizada en esta etapa así como las características de conos y semillas corresponden a la colecta realizada en el año 2001 (Cuadro 1). Los valores de las características reproductivas de conos y semillas que se utilizaron en este trabajo son los tomados por Flores-López *et al* (2005) en su trabajo.

3.3.1 Evaluación de características reproductivas de conos y semillas

Las características reproductivas, se evaluaron 10 conos por árbol. Se determinó la longitud y el diámetro mayor del cono cerrado (aproximación 0.01 mm). Se clasificaron las escamas fértiles e infértiles (Flores-López *et al*; 2004).

En cada cono se determinó el número de óvulos abortados, potencial de semilla (PS, número de escamas fértiles por dos), semillas desarrolladas (vanas y llenas), y la eficiencia de semillas (total de semillas llenas x 100/potencial de semillas). Las semillas vanas se separaron de las llenas por flotación en alcohol. Se obtuvo la proporción de semillas abortadas, vanas y llenas por cono. También se obtuvo el peso de la semilla llena y de los conos sin semillas, después de secarlos en estufa a 105°C durante 24 horas.

3.3.2 Evaluación de plántulas anormales

Se estableció el ensayo de germinación el 2 de Junio de 2004, en el cual se separó la semilla de cada árbol por población y se le aplicó Nitrato de Potasio al 0.2% (2 gramos de Nitrato de potasio en 1000 ml de agua destilada), a las semillas de cada árbol. Éstas se colocaron en cajas petri con diámetro de 10 cm, utilizando papel filtro como sustrato.

Se procuró que las semillas no quedaran con exceso de agua o que no formaran una capa de ella alrededor de la semilla. Se colocaron en la cámara germinadora con una temperatura controlada de 25°C. Se les aplicó el riego cada tercer día, usando Captan en agua destilada para evitar la contaminación de hongos.

La evaluación se realizó a los 7, 14, 21 y 28 días de establecido el ensayo. Se evaluó porcentaje de germinación, plántulas anormales y normales, plántulas muertas y semillas podridas. Esto se llevo a cabo por cada árbol. Las evaluaciones de plántulas anormales se hicieron de acuerdo a las reglas del ISTA (1979), AOSA (1992).

La relación del peso de semillas llenas (mg) con respecto al peso seco del cono (g) se consideró como la eficiencia reproductiva, y la proporción de semillas con respecto al total de desarrolladas como un índice de endogamia (Flores, 2004).

3.3.3 Análisis estadístico

Se realizaron correlaciones (coeficiente de correlación de Pearson con $\alpha=0.05$) entre indicadores reproductivos obtenidos y el número de plántulas anormales (Steel y Torrie, 1986).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación de tratamientos pregerminativos para la germinación de semilla de *Picea mexicana* Martínez

4.1.1 Ensayo de germinación para la población "El Mohinora"

La germinación para la población "El Mohinora" se presentó entre los cinco y los doce días (Figura 1). Entre los siete y once días se presentaron los mayores incrementos de germinación en la mayoría de los tratamientos a excepción del de temperaturas alternas que germinó después y presentó una respuesta de forma ascendente, por debajo de los demás tratamientos.

Con respecto a la germinación acumulada final, el Nitrato de potasio fue el que obtuvo mayor germinación (53.75%) y el de temperaturas alternas fue el de menor porcentaje de germinación (26.25%) (Figura 1). Sin embargo, el Nitrato de potasio presentó similar germinación acumulativa que varios tratamientos incluyendo al testigo; esto se verificó con un análisis de varianza y la comparación de medias que no presentaron diferencias significativas entre el tratamiento mayor y el testigo, así como el resto excepto para las temperaturas alternas (Cuadro 3) (Apéndice 4 y 5); pero entre el Nitrato de potasio y las temperaturas alternas hay diferencias altamente significativas. Al respecto se ha encontrado que la aplicación de Nitrato en campo e invernadero, en bajas y altas concentraciones no estimularon la germinación para *Picea abies* (L) Karst, pero en altas concentraciones disminuye la germinación para *Calluna vulgaris* L. (Anglés, 2004).

Analizando el incremento medio diario, el mayor incremento se presentó para el tratamiento de Nitrato de potasio (3.23%) a 13 días de establecido el ensayo de germinación; en comparación el testigo tuvo el valor de 2.66% (Figura 1) en el día 12, el tratamiento de menor incremento fue temperaturas alternas con 0.93% al día 28. Si consideramos que el incremento máximo medio diario en germinación comprende el valor de germinación en la ecuación de Czabator, entonces utilizando este índice de vigor de germinación se encontró que hay diferencias significativas (α 0.05) entre el testigo, peróxido a seis y doce horas, giberelinas a seis y doce horas, imbibición en agua a 12 y 24 horas y el Nitrato de potasio con respecto a temperaturas alternas (Cuadro 3) (Apéndice 4 y 5).

Por otra parte, cabe mencionar que para esta población la germinación fue baja, comparada con otras especies del mismo género de las cuales presentaron promedios superiores al 70% de germinación (Farmer *et al.*, 1984; Chaisurisri *et al.*, 1992). Para descartar que el resto de las semillas no germinadas fuera producto de la aplicación no adecuada de los tratamientos; se realizó una prueba de cloruro de tetrazolio, lo que resultó que los tratamientos aplicados fueron efectivos (Apéndice 2 y 3), ya que no se encontraron semillas viables; por lo tanto esta pérdida de viabilidad es posible que se deba a un problema de almacenamiento, ya que la semilla no fue almacenada de manera homogénea en temperatura.

Prácticamente, esta especie no necesita de ningún tratamiento; condición similar se han encontrado para las semillas de *Picea engelmannii* Parry que no requiere de tratamiento (USDA Forest Service, 1948), ésta especie es muy

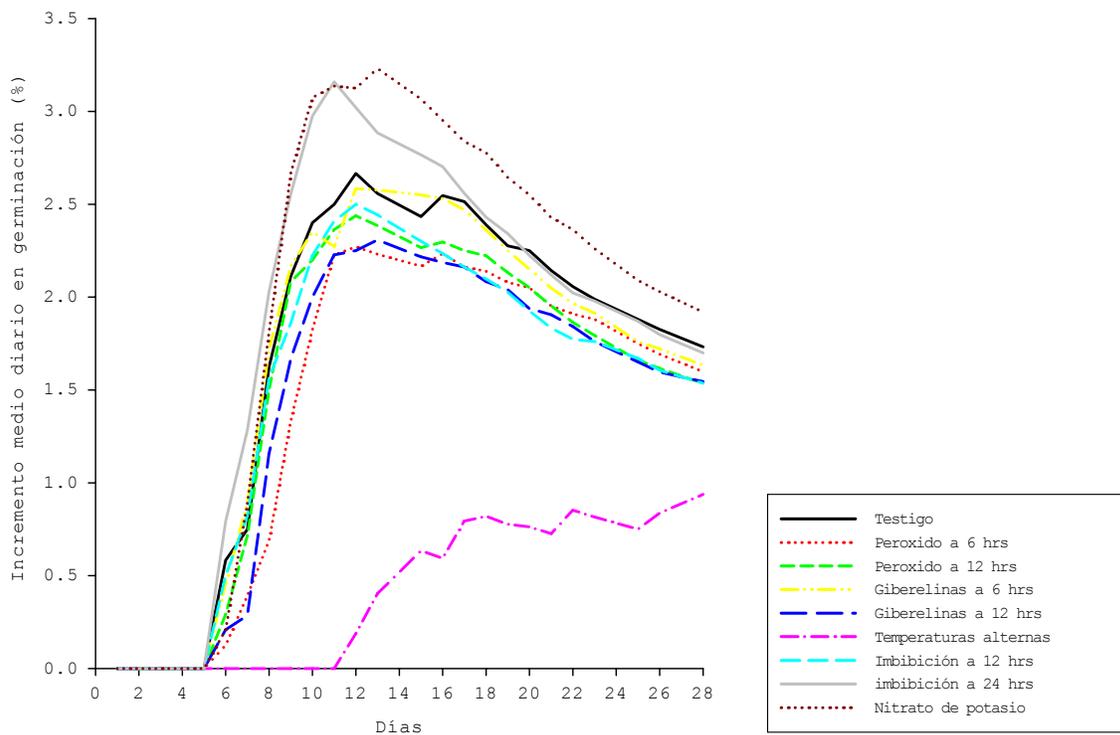
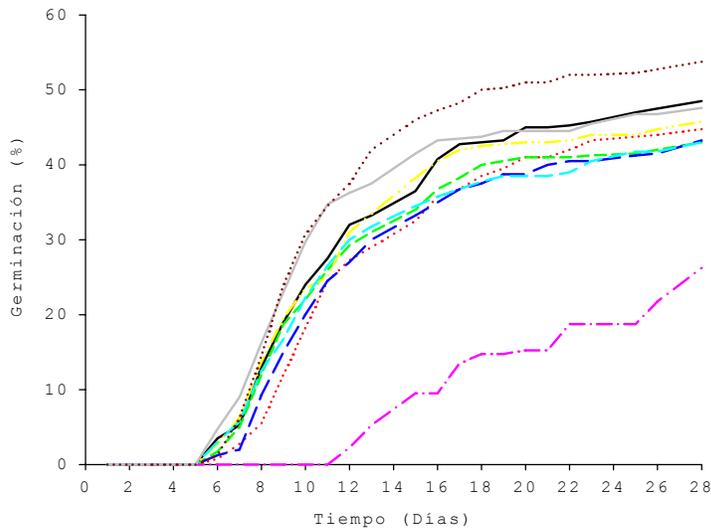


Figura 1. Germinación acumulada en porcentaje e incremento medio diario de germinación de los tratamientos aplicados a semilla de *Picea mexicana* Martínez de la población "El Mohinora" Chihuahua.

similar en taxonomía y condiciones ambientales a *Picea mexicana* (Martínez, 1961). Sin embargo, otras Piceas sí requieren de un tratamiento para romper la latencia, se recomienda almacenar los conos por seis semanas en frío para obtener mayor porcentaje de germinación en *P. glauca* Moench Voss (Caron *et al.*, 1990 y 1993) por su lado, la USDA Forest Service (1948) recomienda la estratificación en arena humedecida a una temperatura de 0-5°C por 60 a 90 días para *P. mariana* Mill BSP, *P. pungens* Engelm; *P. rubens* Sorg; *P. sitchensis* Bong Carr y *P. smithiana* Boiss

Cuadro 3. Comparación de medias de germinación total, y valor de germinación de Czabator de las poblaciones "El Mohinora" Chihuahua, "La Marta" Nuevo León y "El Coahuilón" Coahuila.

| Población | El Mohinora | | La Marta | | El Coahuilón | |
|-------------------------------|-------------|---------|----------|----------|--------------|--------|
| | GERM | VGZ | GERM | VGZ | GERM | VGZ |
| Testigo | 44.118a | 12.478a | 20.760 | 3.5575a | 21.490 | 4.0125 |
| Peróxido de hidrógeno a 6 hr | 41.970a | 11.448a | 16.300 | 1.9775ab | 16.845 | 2.1900 |
| Peróxido de hidrógeno a 12 hr | 40.965a | 11.513a | 19.883 | 3.4600a | 18.055 | 2.6675 |
| Giberelinas a 6 hr | 42.543a | 12.120a | 19.328 | 3.4075a | 21.470 | 4.125 |
| Giberelinas a 12 hr | 41.105a | 11.055a | 20.975 | 3.5325a | 22.030 | 3.9300 |
| Temperaturas alternas | 30.685b | 5.395b | 13.058 | 1.1425b | 18.745 | 2.2350 |
| Imbibición en agua a 12 hr | 40.965a | 11.488a | 17.103 | 2.3275ab | 17.388 | 2.2150 |
| Imbibición en agua a 24 hr | 48.553a | 13.410a | 17.388 | 2.4700ab | 15.508 | 2.0650 |
| Nitrato de potasio | 47.163a | 14.545a | 17.845 | 2.7275ab | 22.960 | 4.3025 |

GERM: Germinación media final, VGZ: Valor de germinación de Czabator, las letras diferentes en el cuadro son significativamente diferentes ($\alpha=0.05$).

4.1.2 Ensayo de germinación para la población "La Marta"

La germinación para la población "La Marta" se presentó entre los cinco y los trece días (Figura 2) a distinción del tratamiento de temperaturas alternas que inició a los 13 días.

Entre los ocho y doce días alcanzó los mayores incrementos de germinación la mayoría de los tratamientos a excepción de temperaturas alternas, peróxido a seis horas y imbibición en agua a 12 horas quienes se comportaron de forma ascendente por debajo de los de más tratamientos.

Con respecto a la germinación acumulada final, la aplicación de giberelinas a 12 horas fue el que alcanzó mayor germinación (13.00%), el de temperaturas alternas fue el de menor porcentaje de germinación (5.25%). Pero el tratamiento de giberelinas a 12 horas presentó semejante germinación acumulativa que el resto de los tratamientos incluyendo al testigo (Figura 2). Sin embargo el análisis de varianza y la comparación de medias nos muestran que no hay diferencias significativas entre el tratamiento mayor y el testigo, así como al resto de los tratamientos (Cuadro 3) (Apéndice 4 y 5).

Por otra parte, cabe mencionar que para esta población la germinación fue baja, al igual que en la población "El Mohinora" en donde se realizó una prueba de cloruro de tetrazolio, lo que resultó que los tratamientos aplicados fueron efectivos (Apéndice 2 y 3), ya que no se encontraron semillas viables; esto es posible que se deba a un problema de almacenamiento, ya que la semilla fue trasladada de un lugar a otro después de ser almacenada.

El ácido giberélico aplicado en *Picea sitchensis* Bong. Carr. y *Pinus edulis* Engelm. resultó ineficaz para estimular la germinación en concentraciones que van desde 0.1 a 10.0 ppm, y a 100 ppm reduce la capacidad de germinación, pero en *Parthenium argentatum* Gray estimulo la germinación en concentraciones de 200 mg^l por dos horas, y en *Pinus ponderosa* Laws. aumentó la

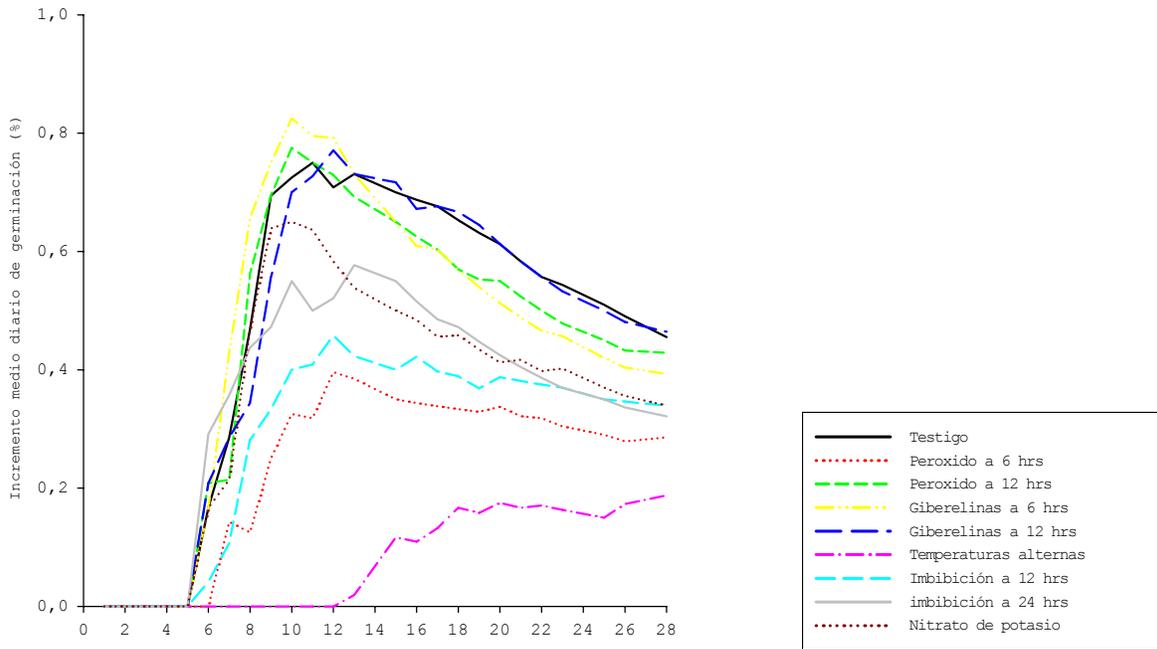
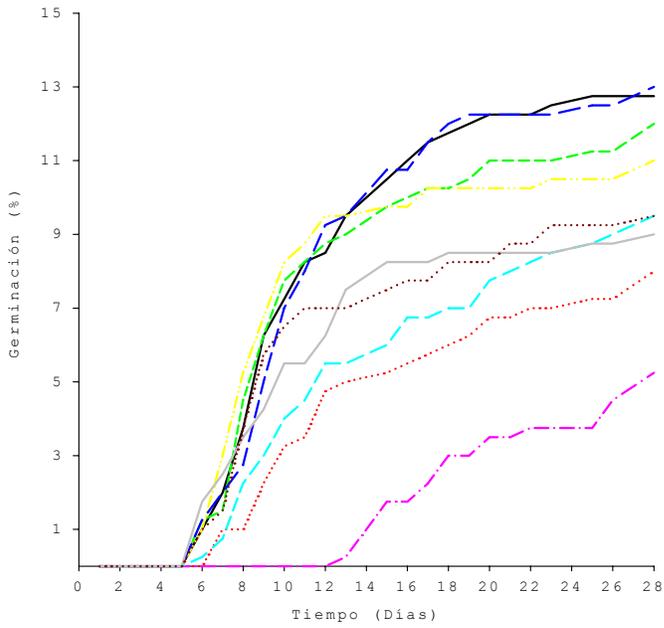


Figura 2. Germinación acumulada en porcentaje e incremento medio diario de germinación de los tratamientos aplicados a semilla de *Picea mexicana* Martínez de la población "La Marta" Nuevo León.

capacidad de germinación en temperaturas controladas (Hurly, *et al.*, 1989; Gottfried y Heidmann, 1992)

Observando el incremento medio diario, el mayor incremento se mostró para el tratamiento giberelinas a seis horas (0.825%) a los 10 días de establecido la prueba de germinación; en comparación con el testigo quien tuvo un incremento de 0.75% (Figura 2) al día 11, el tratamiento que obtuvo menor incremento fue temperaturas alternas con 0.187% al día 28. Si consideramos que el incremento máximo medio diario en germinación comprende el valor de germinación en la ecuación de Czabator, entonces aplicando este índice de vigor de germinación se apreció que hay diferencias significativas ($\alpha=0.05$) entre el testigo, peróxido a 12 horas, giberelinas a seis y doce horas, con respecto a temperaturas alternas y peróxido de hidrógeno a seis horas, imbibición en agua a 12 y 24 horas y nitrato de potasio son similares a temperaturas alternas (Cuadro 3) (Apéndice 4 y 5).

4.1.3 Ensayo de germinación para la población "El Coahuilón"

En la población "El Coahuilón" el inicio de la germinación para los tratamientos se mostró entre los cinco y los once días, excepto temperaturas alternas que comenzó a los 12 días (Figura 3). Entre los siete y once días se obtuvo los mayores incrementos de germinación para los tratamientos giberelinas a seis y doce horas, testigo y Nitrato de potasio, el resto se comportó de forma ascendente por debajo de los tratamientos mencionados a diferencia de temperaturas alternas donde su mayor incremento se muestra a los 28 días.

Con respecto a la germinación final, el tratamiento que obtuvo mayor porcentaje fue el Nitrato de potasio (15.50%), el de

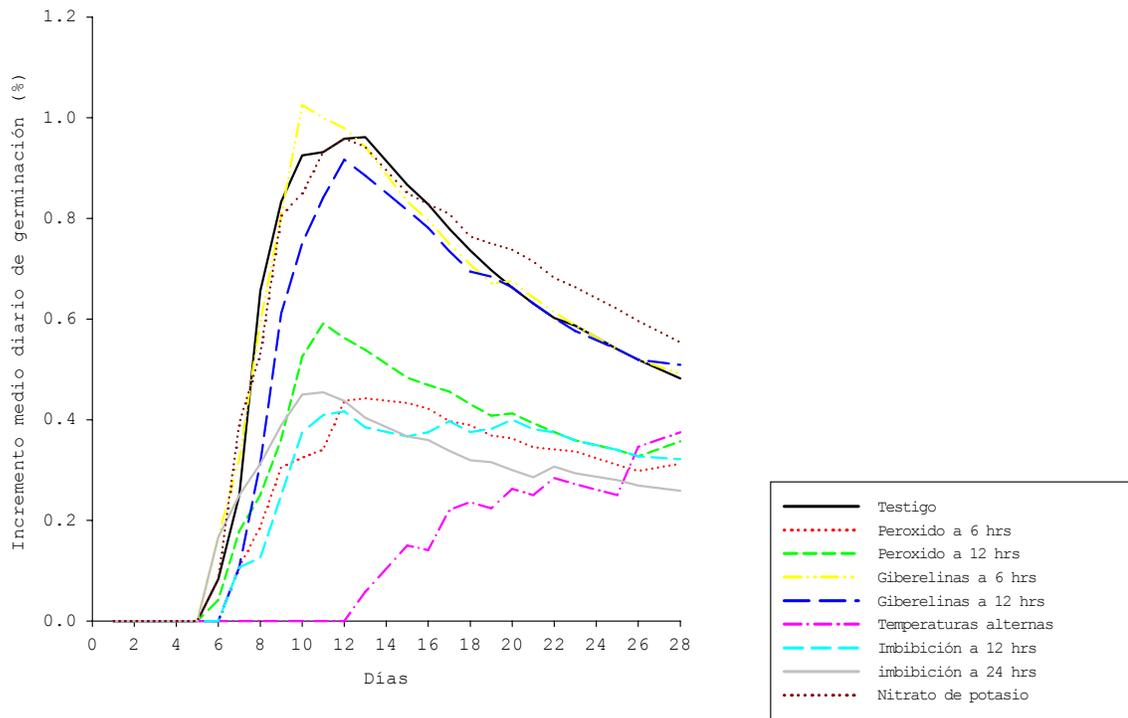
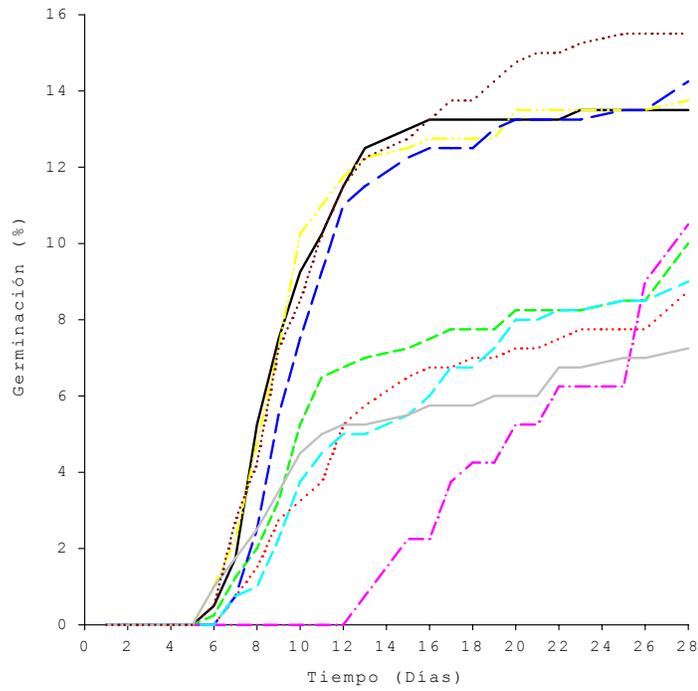


Figura 3. Germinación acumulada en porcentaje e incremento medio diario de germinación de los tratamientos aplicados a semilla de *Picea mexicana* Martínez de la población "El Coahuilón" Coahuila.

menor porcentaje de germinación acumulativa fue imbibición a 24 horas con 7.25% (Figura 3). Sin embargo, el análisis de varianzas indica que no hay diferencias significativas entre el tratamiento mayor y el testigo, así como para el resto de los tratamientos (Cuadro 3) (Apéndice 4 y 5).

El mayor incremento medio diario se presentó para el tratamiento giberelinas a seis horas (1.025%) a 10 días de haber establecido los tratamientos; en comparación, el testigo tuvo el valor de 0.9615% (Figura 2) en el día 13, el tratamiento de menor incremento fue temperaturas alternas con 0.375% al día 28. Si embargo, considerando el índice de vigor de germinación de Czabator que está relacionado con el incremento medio máximo diario, se encontró que no hay diferencias significativas (α 0.05) entre los tratamientos (Cuadro 3) (Apéndice 4 y 5).

Al igual que en las demás poblaciones no se encontraron semillas viables al aplicar la solución de cloruro de tetrazolio, por lo tanto podemos decir que los tratamientos aplicados fueron efectivos (Apéndice 2 y 3).

4.1.4 Comparación de germinación entre poblaciones

Considerando los tratamientos que tuvieron la germinación acumulativa final más alta, como fue el Nitrato de potasio en las poblaciones de "El Mohinora" y "El Coahuilón", y giberelinas a 12 horas para la población de "La Marta"; se observa en la Figura 3 que la población que obtuvo mayor porcentaje de germinación fue la de "El Mohinora" con 53.75%, "El Coahuilón" 15.50% y "La Marta" con 13.00% que fue la más baja.

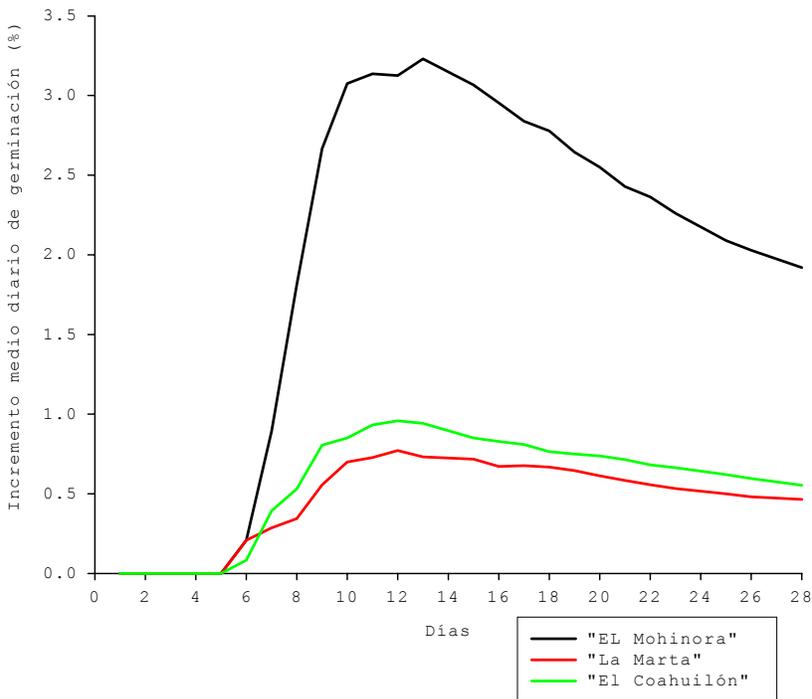
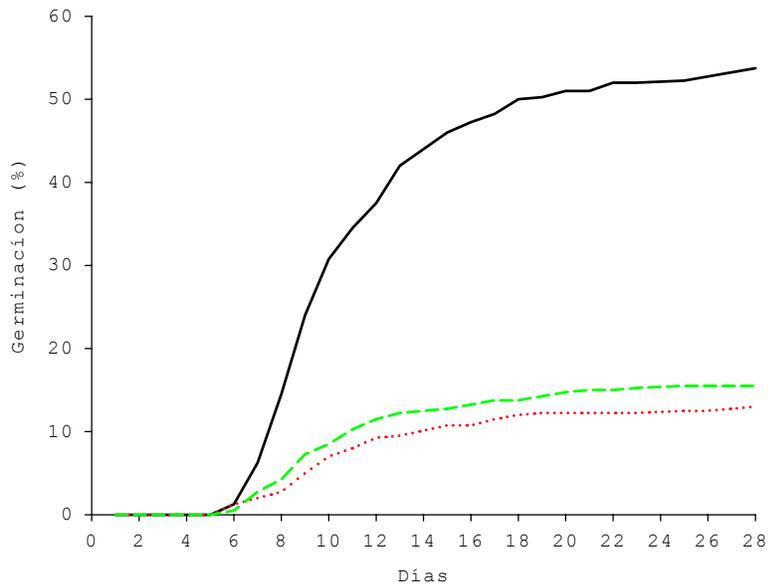


Figura 4. Germinación acumulada en porcentaje e incremento medio diario de germinación de la semilla de *Picea mexicana* Martínez para las poblaciones "El Mohinora" Chihuahua, "La Marta" Nuevo León y "El Coahuilón" Coahuila.

Para el incremento medio diario, el mayor se presentó para la población "El Mohinora" (3.23%) a 13 días de establecido el ensayo de germinación; "El Coahuilón" a los 12 días con 0.96% y para la población "La Marta" fue de 0.77% a los 12 días (Figura 4).

En general la germinación fue baja para las tres poblaciones esto se puede atribuir al mal manejo de almacenamiento de la semilla, el efecto del vigor de las poblaciones o la presencia de hongos en la semilla que no se evaluó, por otro lado Braham (1995) evaluó la germinación en *Picea mexicana* con semilla colectada de la exposición norte y sur, de diferentes estratos por lo que no encontró diferencias significativas, los valores encontrados en germinación (34%) fueron bajos para las poblaciones "La Marta" y "EL Coahuilón".

4.2 **Correlaciones entre germinación e indicadores reproductivos**

Con respecto a las correlaciones para las tres poblaciones, se encontró que en las características del tamaño de cono (longitud de cono (LC), diámetro del cono (DC), peso seco del cono (PCS) y potencial de semillas (PS)) se presentaron correlaciones positivas y altas, que van desde 0.62 hasta 0.85. Este resultado era de esperarse porque cada variable esta relacionada con el tamaño del cono (Cuadro 4). Tanto en la población "El Mohinora" en "La Marta" como en "El Coahuilón" también entre la mayoría de las características del tamaño del cono presentaron correlaciones altas y positivas, desde 0.58 a 0.86 (Cuadro 5, 6 y 7). También en otras coníferas como *Pinus pinceana* Gordon y *Pseudotsuga* Carr. se ha encontrado que las características del tamaño del cono (longitud del cono, peso seco del cono, potencial de semillas, número de semillas llenas y

Cuadro 4. Coeficiente de correlación de Pearson entre indicadores reproductivos para tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez en la colecta de 2001.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------|------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 LC | 1.00 | 0.62** | 0.85** | 0.73** | 0.58** | 0.18ns | 0.54** | -0.52** | 0.56** | -0.27ns | -0.25ns | 0.01ns |
| 2 DC | | 1.0000 | 0.82** | 0.70** | 0.44** | 0.19ns | 0.47** | -0.44** | 0.45** | -0.19ns | -0.02ns | 0.19ns |
| 3 PCS | | | 1.0000 | 0.76** | 0.59** | 0.31ns | 0.49** | -0.54** | 0.55** | -0.31ns | -0.16ns | 0.15ns |
| 4 PS | | | | 1.0000 | 0.34* | -0.01ns | 0.56** | -0.36* | 0.37* | -0.36* | -0.29ns | 0.14ns |
| 5 ES | | | | | 1.0000 | 0.59** | 0.01ns | -0.95** | 0.97** | -0.23ns | -0.18ns | 0.15ns |
| 6 PSILL | | | | | | 1.0000 | -0.09ns | -0.46** | 0.59** | -0.10ns | -0.06ns | 0.05ns |
| 7 SVAN | | | | | | | 1.0000 | 0.14ns | 0.05ns | -0.10ns | -0.07ns | -0.07ns |
| 8 CEND | | | | | | | | 1.0000 | -0.93** | 0.21ns | 0.19ns | -0.19ns |
| 9 EREPR | | | | | | | | | 1.0000 | -0.22ns | -0.21ns | 0.11ns |
| 10 GERP | | | | | | | | | | 1.0000 | 0.69** | -0.13ns |
| 11 PPANOR | | | | | | | | | | | 1.0000 | 0.25ns |
| 12PAPGER | | | | | | | | | | | | 1.0000 |

1) Longitud de cono (LC), 2) Diámetro de cono (DC), 3) Peso de cono seco (PCS), 4) Potencial de semillas (PS), 5) Eficiencia de semillas (ES), 6) Peso de semillas llenas (PSILL), 7) Número de semillas vanas (SVAN), 8) Coeficiente de endogamia (CEND), 9) Eficiencia reproductiva (EREPR), 10) Porcentaje de germinación (PGERM) 11) Porcentaje de plántulas anormales (En base al total sembrado)(PPANOR), 12) Porcentaje de plántulas anormales en base a las semillas germinadas (PAPGER). * Significativo (0.05), ** altamente significativo. ns: no significativo.

Cuadro 5. Coeficiente de correlación de Pearson entre indicadores reproductivos para la población "El Mohinora" de *Picea mexicana* Martínez en la colecta de 2001.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------|------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 LC | 1.00 | 0.27ns | 0.69** | 0.65** | 0.55* | 0.24ns | 0.35ns | -0.46ns | 0.53* | -0.09ns | -0.19ns | 0.22ns |
| 2 DC | | 1.00 | 0.59** | 0.30ns | 0.56* | 0.18ns | 0.07ns | -0.56* | 0.54* | 0.01ns | 0.01ns | 0.27ns |
| 3 PCS | | | 1.00 | 0.58* | 0.61** | 0.41ns | 0.12ns | -0.57* | 0.54* | -0.17ns | -0.09ns | 0.37ns |
| 4 PS | | | | 1.00 | 0.42ns | 0.03ns | 0.34ns | -0.39ns | 0.41ns | -0.10ns | -0.34ns | -0.06ns |
| 5 ES | | | | | 1.00 | 0.26ns | -0.17ns | -0.97** | 0.96** | -0.24ns | -0.16ns | 0.41ns |
| 6 PSILL | | | | | | 1.00 | 0.01ns | -0.30ns | 0.41ns | -0.02ns | 0.08ns | -0.02ns |
| 7 SVAN | | | | | | | 1.00 | 0.30ns | -0.14ns | 0.16ns | 0.13ns | 0.04ns |
| 8 CEND | | | | | | | | 1.00 | -0.95** | 0.18ns | 0.13ns | -0.37ns |
| 9 EREPR | | | | | | | | | 1.00 | -0.18ns | -0.16ns | 0.25ns |
| 10 GERP | | | | | | | | | | 1.00 | 0.68** | 0.01ns |
| 11.PANORP | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.55* |
| 12 PAPGER | | | | | | | | | | | | 1.00 |

1) Longitud de cono (LC), 2) Diámetro de cono (DC), 3) Peso de cono seco (PCS), 4) Potencial de semillas (PS), 5) Eficiencia de semillas (ES), 6) Peso de semillas llenas (PSILL), 7) Número de semillas vanas (SVAN), 8) Coeficiente de endogamia (CEND), 9) Eficiencia reproductiva (EREPR), 10) Porcentaje de germinación (PGERM) 11) Porcentaje de plántulas anormales (En base al total sembrado)(PPANOR), 12) Porcentaje de plántulas anormales en base a las semillas germinadas (PAPGER). * Significativo (0.05), ** altamente significativo. ns: no significativo.

Cuadro 6. Coeficiente de correlación de Pearson entre indicadores reproductivos para la población "La Marta" de *Picea mexicana* Martínez en la colecta de 2001.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------|------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 LC | 1.00 | 0.62ns | 0.86** | 0.44ns | 0.28ns | 0.02ns | 0.71* | -0.19ns | 0.18ns | -0.12ns | 0.21ns | 0.31ns |
| 2 DC | | 1.00 | 0.75* | 0.23ns | 0.12ns | -0.02ns | 0.34ns | 0.12ns | -0.06ns | 0.45ns | 0.86** | 0.21ns |
| 3 PCS | | | 1.00 | 0.31ns | 0.51ns | 0.28ns | 0.45ns | -0.49ns | 0.42ns | 0.03ns | 0.35ns | 0.48ns |
| 4 PS | | | | 1.00 | -0.29ns | -0.52ns | 0.60ns | 0.25ns | -0.31ns | -0.06ns | 0.04ns | 0.48ns |
| 5 ES | | | | | 1.00 | 0.91** | -0.20ns | -0.96** | 0.98** | -0.06ns | -0.08ns | -0.01ns |
| 6 PSILL | | | | | | 1.00 | -0.53ns | -0.87** | 0.90** | -0.19ns | -0.17ns | 0.06ns |
| 7 SVAN | | | | | | | 1.00 | 0.26ns | -0.21ns | 0.18ns | 0.17ns | 0.07ns |
| 8 CEND | | | | | | | | 1.00 | -0.93** | 0.05ns | 0.06ns | -0.11ns |
| 9 EREPR | | | | | | | | | 1.00 | 0.03ns | -0.08ns | -0.13ns |
| 10 GERP | | | | | | | | | | 1.00 | 0.76* | -0.42ns |
| 11 PANORP | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.12ns |
| 12 PAPGER | | | | | | | | | | | | 1.00 |

1) Longitud de cono (LC), 2) Diámetro de cono (DC), 3) Peso de cono seco (PCS), 4) Potencial de semillas (PS), 5) Eficiencia de semillas (ES), 6) Peso de semillas llenas (PSILL), 7) Número de semillas vanas (SVAN), 8) Coeficiente de endogamia (CEND), 9) Eficiencia reproductiva (EREPR), 10) Porcentaje de germinación (PGERM) 11) Porcentaje de plántulas anormales (En base al total sembrado)(PPANOR), 12) Porcentaje de plántulas anormales en base a las semillas germinadas (PAPGER). * Significativo (0.05), ** altamente significativo. ns: no significativo.

Cuadro 7. Coeficiente de correlación de Pearson entre indicadores reproductivos para la población "El Coahuilón" de *Picea mexicana* Martínez en la colecta de 2001.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------|------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|
| 1 LC | 1.00 | 0.46ns | 0.84** | 0.70* | 0.44ns | 0.45ns | 0.40ns | -0.28ns | 0.36ns | -0.44ns | -0.50ns | -0.48ns |
| 2 DC | | 1.00 | 0.74** | 0.62* | 0.12ns | 0.41ns | 0.69* | 0.06ns | 0.05ns | -0.12ns | -0.12ns | -0.16ns |
| 3 PCS | | | 1.00 | 0.76** | 0.23ns | 0.34ns | 0.53ns | -0.06ns | 0.08ns | -0.35ns | -0.31ns | -0.34ns |
| 4 PS | | | | 1.00 | 0.25ns | 0.29ns | 0.65* | -0.08ns | 0.24ns | -0.42ns | -0.47ns | -0.38ns |
| 5 ES | | | | | 1.00 | 0.26ns | -0.24ns | -0.94** | 0.93** | 0.06ns | -0.28ns | -0.05ns |
| 6 PSILL | | | | | | 1.00 | 0.57ns | 0.004ns | 0.46ns | -0.54ns | -0.19ns | -0.03ns |
| 7 SVAN | | | | | | | 1.00 | 0.50ns | -0.12ns | -0.51ns | -0.30ns | -0.30ns |
| 8 CEND | | | | | | | | 1.00 | -0.83** | -0.29ns | 0.19ns | 0.01ns |
| 9 EREPR | | | | | | | | | 1.00 | -0.09ns | -0.31ns | -0.002 ns |
| 10 GERP | | | | | | | | | | 1.00 | 0.54ns | 0.03ns |
| 11 PANORP | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.37ns |
| 12 PAPGER | | | | | | | | | | | | 1.00 |

1) Longitud de cono (LC), 2) Diámetro de cono (DC), 3) Peso de cono seco (PCS), 4) Potencial de semillas (PS), 5) Eficiencia de semillas (ES), 6) Peso de semillas llenas (PSILL), 7) Número de semillas vanas (SVAN), 8) Coeficiente de endogamia (CEND), 9) Eficiencia reproductiva (EREPR), 10) Porcentaje de germinación (PGERM) 11) Porcentaje de plántulas anormales (En base al total sembrado)(PPANOR), 12) Porcentaje de plántulas anormales en base a las semillas germinadas (PAPGER). * Significativo (0.05), ** altamente significativo. ns: no significativo.

abortadas) presentan altos coeficientes de correlación entre si (Quiroz et al [sin fecha]; Mapula, 2004).

Para la eficiencia de semillas (ES) entre las dimensiones del cono también se encontraron correlaciones positivas significativas altas que van desde 0.34 a 0.59, también se encontró correlaciones altas y positivas con peso de semillas llenas (PSILL) (0.59), eficiencia reproductiva (EREPR) (0.97) y negativa para el coeficiente de endogamia (CEND) (-0.94), para las tres poblaciones, por lo tanto al haber conos mas grandes habrá mayor ES; por lo tanto al haber disponibilidad de polen, y una adecuada polinización el tamaño del cono es más grande (Bramlett et al., 1977), como producto de esto habrá un mayor número de semillas llenas. En cuanto al CEND entre menor este sea, mayor será la ES, por lo tanto al tener conos grandes habrá mas semillas llenas por lo que habrá menor cantidad de semillas vanas, como consecuencia de una buena polinización (Cuadro 4). Para la población "El Mohinora" también se encontraron correlaciones positivas entre ES con las características del tamaño del cono (LC, DC y PCS), EREPR, que van desde 0.55 a 0.93 y negativa con el CEND (-0.97) (Cuadro 5). En la población "La Marta" solamente se encontró correlaciones altas positivas para PSILL (0.92) y la EREPR (0.98), y negativas para el CEND (-0.97) (Cuadro 6). Para la población "El Coahuilón" únicamente se presentaron correlaciones positivas para la ES (0.94) y negativas para el CEND (-0.94) (Cuadro 7) Se ha encontrado que la ES se encuentra fuertemente relacionada con la disponibilidad del polen (Caron y Powell, 1989), por lo tanto, cuando se incrementa el nivel autopolinización, incrementa el porcentaje de semillas vanas y el número de semillas llenas por cono disminuye, por lo que la ES baja (Yazdani y Lindgren, 1991). En *Pinus banksiana* Lamb y *Picea mariana* Mill BSP, la ES se encuentra pobremente

correlacionada con las mediciones del cono, excepto el número de semillas llenas por cono (De Groot y Schnekenburger, 1996).

Para el peso de semillas llenas no se encontraron correlaciones con las características del tamaño de cono, sin embargo con la ES (0.59) y EREPR (0.59) se encontraron correlaciones positivas altamente significativas, y para el CEND (-0.46) se mostraron correlaciones negativas y altamente significativas para las tres poblaciones (Cuadro 4), cuando hay una mayor ES hay mayor peso de semillas debido a que la ES se basa en el número de semillas llenas, al haber mayor número de semillas llenas por cono este será más grande, por lo que tendrá una mayor EREPR, al haber mayor número de semillas llenas el CEND disminuirá. Uno de los efectos asociados a la depresión endogámica ocasionada por la autopolinización es la reducción en el número de semillas llenas por cono y el vigor de las plántulas (Mosseler, 1998). Para las poblaciones "El Mohinora" y "El Coahuilón" en esta variable no se encontró correlación con ninguna de las demás variables (Cuadro 5 y 7). La población "La Marta" mostró correlaciones positivas altamente significativas con ES (0.92) y EREPR (0.98) y negativas para el CEND (-0.97) (Cuadro 6).

En cuanto al número de semillas vanas (SVAN), se encontraron correlaciones positivas altamente significativas con las características del tamaño del cono que van desde 0.47 a 0.56 (Cuadro 4), en la ausencia de la polinización cruzada y fertilización cruzada, es de esperarse en poblaciones pequeñas o árboles solitarios, como consecuencia producen altas cantidades de semillas vanas (Mosseler, 1998). En la población "El Mohinora" no se encontraron correlaciones para el número de semillas vanas (Cuadro 5). Para la población "La Marta" solamente se encontraron

correlaciones significativas y positivas con la LC (0.71) (Cuadro 6). En la población "El Coahuilón" se encontraron correlaciones positivas significativas con las características del tamaño del cono pero solamente el DC (0.69) y potencial de semillas (0.65) (Cuadro 7).

Para el coeficiente de endogamia se presentaron correlaciones negativas altamente significativas con las características del tamaño del cono, ES, PSILL y EREPR que van desde -0.36 a -0.95 (Cuadro 4), esto nos da como producto que mientras aumentan las características del tamaño del cono, ES, el PSILL y EREPR el CEND disminuirá. Los efectos asociados a depresión endogámica ocasionada por la cruce entre árboles heterocigotos, reduce el número de semillas llenas, y aumenta el número de semillas vanas, producción de plántulas débiles, albinas, y con menor capacidad de sobrevivencia (Fowler, 1965; Williams y Savolainen, 1996). Para la población "El Mohinora" también se presentaron correlaciones significativas y negativas para las características del tamaño del cono pero solamente para DC (-0.56) y PCS (-0.57), para la ES (-0.97) y EREPR (-0.95) se presentaron correlaciones altas y negativas (Cuadro 5). En la población "La Marta" se presentaron correlaciones altas y negativas para ES, PSILL y EREPR que van desde -0.87 a -0.97 (Cuadro 6). En cuanto a la población "El Coahuilón" se encontraron correlaciones altas y negativas para la ES (-0.94) y EREPR (-0.83) (Cuadro 7).

En cuanto a la eficiencia reproductiva, se encontraron correlaciones significativas, altas y positivas para las características del tamaño del cono, ES y PSILL de 0.37 a 0.97, correlaciones altamente significativas y negativas para el CEND (-0.93) (Cuadro 4), la EREPR aumenta mientras mayores sean las

características del tamaño del cono, PSILL y la ES conforme a esto, el CEND disminuye. Flores *et al.*, (2005) encontró en *Picea mexicana* baja eficiencia en la producción de semillas llenas posiblemente se deba a la escasa disponibilidad de polen y a la elevada consanguinidad entre los árboles que aumenta el número de semillas vanas. Para la población "El Mohinora" se encontraron correlaciones significativas y positivas solamente para LC, DC, PCS, y altamente significativas para ES que van desde 0.54 a 0.96 y negativas para el CEND (-0.95) (Cuadro 5). En cuanto a la población "La Marta" se encontraron correlaciones positivas altamente significativas para ES (0.98) y PSILL (0.90), correlaciones altamente significativas y negativas para el CEND (-0.93) (Cuadro 6). En la población "El Coahuilón" se presentaron correlaciones altamente significativas positivas y negativas para ES (0.94) y CEND (-0.83) (Cuadro 7).

Para el porcentaje de germinación (GERP) se encontraron correlaciones significativas y negativas para PS de -0.36 y positivas para el porcentaje de plántulas anormales (PPANOR) de 0.69 (Cuadro 4) para las tres poblaciones, como consecuencia tenemos que entre mayor sea el PS disminuirá el GERP, y mientras sea mayor el GERP aumentará el PPANOR. Las poblaciones pequeñas de *Ipomopsis aggregata* tienden a producir plántulas de menor tamaño y con una gran mortalidad en campo que las de poblaciones grandes (Heschel y Paige, 1994). La depresión endogamia en *Pseudotsuga* sp ocasionada por la autofecundación produce bajo GERP y mortalidad en plántulas (Sorensen, 1971). Para la población "El Mohinora" se encontraron correlaciones altamente significativas y positivas para el PPANOR de 0.68 (Cuadro 5). En cuanto a la población "La Marta" se mostraron correlaciones altamente significativas y positivas solamente para PPANOR (En base al total sembrado) de 0.76 (Cuadro 6). Para la población "El

Coahuilón" no se encontraron correlaciones con el resto de las variables (Cuadro 7).

Para la variable porcentaje de plántulas anormales (En base al total sembrado) se encontraron correlaciones positivas altamente significativas solamente para la población de "La Marta" con el DC (0.86) y GERP (0.76) (Cuadro 6) dando como resultado que entre mayor sea el porcentaje de germinación y el DC mayor será el PPNOR, debido a que esta especie tiene un índice elevado de endogamia, presenta además un mayor número de semillas vanas y plántulas albinas e irregulares, esto puede ser resultado de la autopolinización, ya que las poblaciones son muy pequeñas (Fowler, 1965; Flores-lópez et al., 2005).

En cuanto a la variable de porcentaje de plántulas anormales (En base a las semillas germinadas) solamente se encontraron correlaciones positivas significativas para la población "EL Mohinora" con la variable de porcentaje de plántulas anormales (En base al total sembrado) de 0.55 (Cuadro 5).

5 CONCLUSIONES

1. Las semillas de *Picea mexicana* no requiere tratamiento pregerminativo y solamente el almacenamiento en frío es suficiente para alcanzar un mayor porcentaje e incremento en la germinación.
2. Los tratamientos pregerminativos mostraron efectos diferentes en cada una de las poblaciones; sin embargo, la aplicación de éstos puede ser más importante para otras coníferas.
3. El bajo porcentaje e incremento en la germinación de *Picea mexicana* puede ser producto de la forma de almacenamiento o del efecto del vigor de la población.
4. Los valores de germinación están asociados con la presencia de plántulas anormales y esto puede ser a consecuencia de autopolinización en la población y es un indicador crítico en la reproducción de la especie.

6 RECOMENDACIONES

1. Las poblaciones de *Picea mexicana* se deben considerar como áreas de protección ya que las poblaciones son pequeñas en superficie así como los valores de indicadores reproductivos bajos, por otra parte se da la presencia de pastoreo y de incendios.
2. Debido a que existe un aumento en la germinación un aumento en la proporción de plántulas anormales como consecuencia de la posible autopolinización, se debe de intercambiar material genético entre las poblaciones para evitar la cruza entre árboles emparentados, así tener mayor variación genética, para así tener una reducción de endogamia en generaciones futuras.
3. Elaborar un nuevo ensayo de germinación inmediatamente después de la colecta para cotejar el porcentaje de germinación obtenido así como el vigor de la germinación y eliminar posibles problemas en el almacenamiento o pérdida de viabilidad.

7 LITERATURA CITADA

- Anglès M., M. 2004. Effect of nitrate on the germination of a soil seed bank in a Norway Spruce forest in relation to liming and clear-felling. Thesis for Master of Science. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. ISSN 1403-2001.No 1. 26 P.
- Association of Official Seed Analysis. 1981. Rules for testing seeds. Journal of Seed Technology. 6 (2): 30-126.
- Association of Official Seed Analysis. 1992. Seedling evaluation handbook. Contribution No. 35 to the handbook on seed testing. 101 p.
- Bonner, F.T. 1985. Glosario de términos sobre germinación de semillas para especialistas en árboles semilleros Gen. Tech. Rep. SO-55, Southern Forest Experiment Station New Orleans, LA; USDA. 5 p.
- Braham S.,S. 1995. Regeneración natural de *Picea engelmannii* var. *mexicana* en Arteaga Coah. y Rayones, N. L. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 76 p.
- Bramlett, D.L., E.W. Belcher Jr., G.L. DeBarr, J.L. Hertel, R.P. Karrfalt, C.W. Lantz, T. Miller, K.D. Ware y H.O. III Yates. 1977. Cone analysis of southern pines: a guidebook. Gen. Tech. Rep. SE-13. Ashville, N.C. USDA, For. Serv., Southeastern For. Exp. St. Asheville, N.C. U.S.A. 28 p.
- Burley, J. 1964. Effect of gibberellic acid on seed germination of sitka spruce. Forest Science. 10 (2): 206-208.
- Caron, G.E. y G.R. Powell. 1989. Cone size and seed yield in young *Picea mariana* trees. Can. J. For. Res. 19: 351-358.
- Caron, G.E., B.S.P. Wang y H.O. Schooley. 1990. Effect of tree spacing, cone storage, and prechilling on germination of *Picea glauca* seed. The Forestry Chronicle. 66 (4): 388-392.
- Caron, G.E., B.S.P. Wang y H.O. Schooley. 1993. Variation in *Picea glauca* seed germination associated with the year of cone collection. Can. J. For. Res. 23: 13.6-1313

- Chaisurisri, K. , D.G.W. Edwards y A. El-Kassaby. 1992. Genetic control of seed size and germination in sitka spruce. *Sivae Genetica*. 41 (6): 348-355.
- Cornejo O., E.H. 1987. Aspectos ecológicos y dasonómicos del bosque de *Pseudotsuga-Pinus-Abies* en la Sierra La Marta, Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 196 p.
- Czabator, F.J. 1962. Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science*. 8: 386-396.
- De Groot, P. y F. Schnekenburger. 1996. Cone traits of jack pine and black spruce in young seedling seed orchards. *New Forests* 12: 279-291.
- Farmer, R.E., P. Charrette, I.E. Searle y D.P. Tarjan. 1984. Interaction of light, temperature, and chilling in the germination of black spruce. *Canadian Journal Forest Research*. 14 (1): 131-133.
- Flores L., C. 2004. Indicadores reproductivos en tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 49 p.
- Flores-López, C., J. López-Upton y J.J. Vargas-Hernández. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. *Agrociencia*. 39 (1): 117-126.
- Fowler, D.P. 1965. Natural self-fertilization in three jack pines and its implications in seed orchard management. *For. Sci*. 11 (1): 55-58.
- Fowler, D.P. y L. Roche. 1976. Genetics of Engelmann spruce. USDA. Forest Service. USA. 13 p.
- Frankham, R. 1998. Inbreeding and extinction: island populations. *Conservation Biology* 12 (3): 665-675.
- Gordon, A.G. 1981. Normas internacionales para las pruebas de germinación. *In: Reunión de sobre problemas en semillas forestales tropicales Tomo 1. Publicación especial No 35. México. Pp.135-146.*

- Gordon, A.G. 1990. Supplementing the population restoration of *Picea mexicana* in Nuevo Leon, México. In: Forest Genetics Working Group Meeting. COFAN. México. 5 p. (Manuscrito).
- Gottfried, G.J. y L.J. Heidmann. 1992. Effects of gibberellic acid, N-6-benzylaminopurine, and acetone on pinyon (*Pinus edulis*) germination. Res. Note RM-514. Fort Collins, CO: USDA. Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. USA. 5 p.
- Hartmann, H.T y D.E. Kester. 1989. Propagación de plantas: principios y prácticas. 3^a. Ed. en español. C.E.C.S.A. México. 760 p.
- Heschel, M.S y K.N. Paige. 1995. Inbreeding depression, environmental stress, and population size variation in scarlet gilia (*Ipomopsis aggregata*). Conservation Biology. 9 (1): 126-133.
- Hurly, R.F., Van Staden. J. y M.T. Smith. 1989. Guayule (*Parthenium argentatum* Gray) seed germination the effect of water soaks, sodium hypochlorite, gibberellic acid and gibberellin_{4/7} applied as seed pre-treatments. Seed Sci. Technol. 17: 223-233.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1979. Handbook for Seedling evaluation. Int. Seed Test. Assoc. Zurich, Switzerland. 130 p.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1985. International rules for seed testing, rules 1985. Seed Science and technology. 13: 299-355.
- Krugman, S.L., W.I. Stein y D.M. Schmitt. 1974. Seed biology. In. C. S. Schopmeyer (Tech. Coord.). Seed of woody plants in the United States. Agriculture Handbook No 450. Washington, D. C. USA. Pp 5-33.
- Leadem, C.L. 1984. Quick tests for tree seed viability. Research Branch as Land Management Report No. 18. B. C. Ministry of Forests. Victoria, B.C. 45 p.
- Ledig, F.T. 1986. Heterozygosity, heterosis, and fitness in outcrossing plants. In Conservation biology: the science of scarcity and diversity. M. E. Soule (Ed). Canada Sunderland, MA. Pp. 77-104.

- Ledig, F.T., B. Bermejo V., P.D. Hodgskiss, D.R. Johnson, C. Flores L. y V. Jacob C. 2000. The mating system and genetic diversity in Martinez spruce, an extremely rare endemic of México's Sierra Madre Oriental: an example of facultative selfing and survival in interglacial refugia. *Can. J. For. Res.* 30: 1-9.
- Ledig, F.T., P.D. Hodgskiss, K. V. Krutovskii, D.B. Neale y T. Eguiluz-Piedra. 2004. Relationships among the spruces (*Picea*, *Pinaceae*) of southwestern North America. *Systematic Botany* 29 (2): Pp. 275-295.
- Mápula L., M. 2004. Indicadores reproductivos para poblaciones naturales de *Pseudotsuga* Carr. en México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 46 p.
- Martínez, M. 1961. Una nueva especie de picea en México. *Anales del Instituto de Biología.* 32: 137-142.
- Martínez, M. 1963. Las pináceas mexicanas. 3ª ed. Instituto de Biología. UNAM. México, D. F. 401 p.
- Meraz G., G. y R. Bonilla B. 2000. Análisis y tratamientos pregerminativos en semillas de *Pinus arizonica* Engelm. y *Pinus durangensis* Mart. *Revista Chapingo serie de Ciencias Forestales y del Ambiente.* 6(1): 15-20.
- Mosseler, A. 1998. Minimum viable population size and the conservation of forest genetic resources. *In: S. Puri (Ed.). Tree Improvement: Applied Research and Technology Transfer.* Science Publishers, Inc. U.S.A. Pp. 191-205.
- Mosseler, A. y O.P. Rajora. 1998. Monitoring population viability in declining tree species using indicators of genetic diversity and reproductive success. *In: Environmental Forest Science.* Edited by K. Sassa. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. Pp. 333-344.
- Mosseler, A., J.E. Major, J.D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y.S. Park, K.H. Johnson y O.P. Rajora. 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Can. J. For. Res.* 11:36-50.
- Niembro R., A. 1986. Mecanismo de reproducción sexual en pinos. Limusa. México. 130 p.

- Quiroz-Vázquez, R.I., J. López-Upton, V.M. Cetina-Alcalá, G. Ángeles-Pérez y A. Trinidad-Santos. [sin fecha]. Reproductive viability of *Pinus pinceana* Gordon in the state of Hidalgo, México. Inédito.
- Rifle, J.W. 1968. Hydrogen peroxide increases germination and reduces microflora on seed of several southwester woody species. *Forest Science*. 14 (1): 96-101.
- Rodríguez, L. 1995. Tratamientos pregerminativos para algunas especies forestales nativas de la región Huetar Norte de Costa Rica. *In: Memorias del Simposio. Avances en la producción de semillas forestales en América Latina*. Managua, Nicaragua. Pp. 153-158.
- Rzedowski, J. 1983. *Vegetación de México*. Limusa. México. 432 p.
- Sánchez C., J. 1984. *Picea chihuahuana*, una conífera en peligro de extinción. *Ciencia Forestal*. 51 (9): 51-63.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *In: Diario Oficial de la Federación* 6 de marzo de 2002.
- Serrada, H.R. 1995. *Apuntes de repoblaciones forestales*. 2ª ed. Fundación Conde del Valle de Salazar. EUITF. Madrid, España. 379 p.
- Sorensen, F. 1971. Estimate of self-fertility in coastal Douglas-fir from inbreeding studies. *Silvae Genetica* 20(4): 115-120.
- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie. 1986. *Bioestadística, Principios y Procedimientos*. McGraw-Hill. 622 p.
- Taylor, R.J. y T.F. Patterson. 1980. Biosystematics of Mexican spruce species and populations. *Taxon*. 29 (4): 421-440.
- Tinus, W.R. y S.E. McDonald. 1979. How to grow tree seedling in containers in greenhouses. General Technical Report RM-60. USDA Forest Service. 256 p.
- USDA, Forest Service. 1948. *Woody plant seed manual*. USDA. Agric., Misc. Publ. U.S. Government Printing office. Washington. D.C. 654, 416 p.

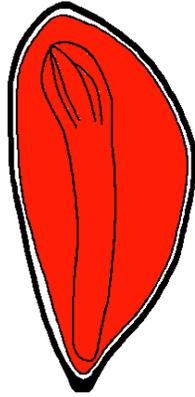
Willan, R.L. 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales con especial referencia a los trópicos. Estudio FAO Montes 20/2. DANIDA, FAO. Roma. 502 p.

Williams, C.G. y O. Savolainen. 1996. Inbreeding depression in conifers: Implications for breeding strategy. *Forest Science*. 42 (1): 102-117.

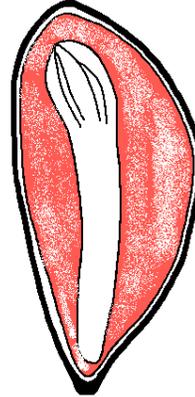
Yazdani, R. y D. Lindgren. 1991. The impact of self-pollination on production of sound selfed seeds. *In: Biochemical markers in the population genetics of forest trees*. S. Fineschi, M.E. Malvolti, F. Cannata y H.H. Hattermer (Eds.). SPB Academic Publishing. The Hague, The Netherlands. Pp: 143-147

APÉNDICE

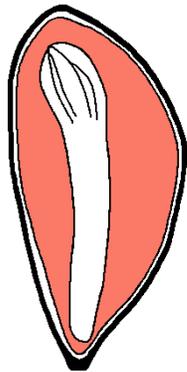
Apéndice 1. Patrones obtenidos de la prueba de cloruro de tetrazolio para semillas de tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez



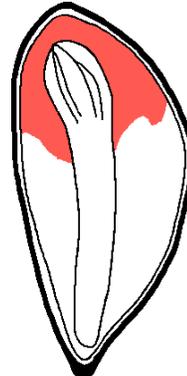
Patrón viable 1



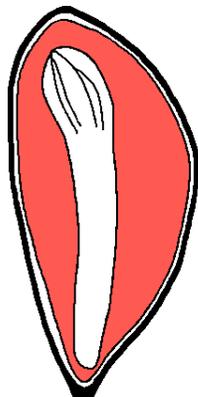
Patrón no viable 4



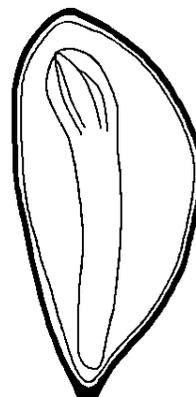
Patrón no viable 2



Patrón no viable 5

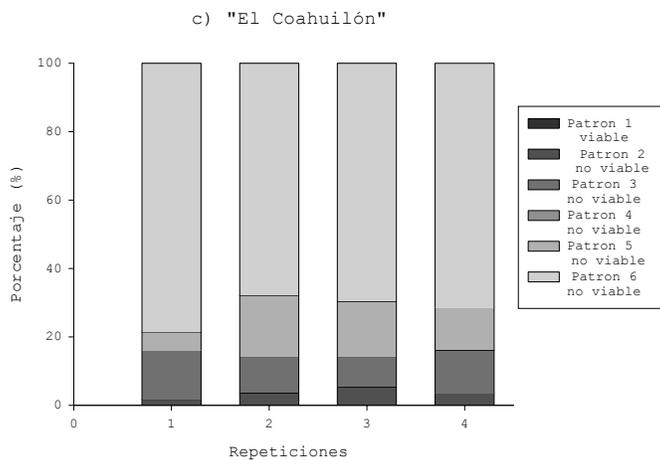
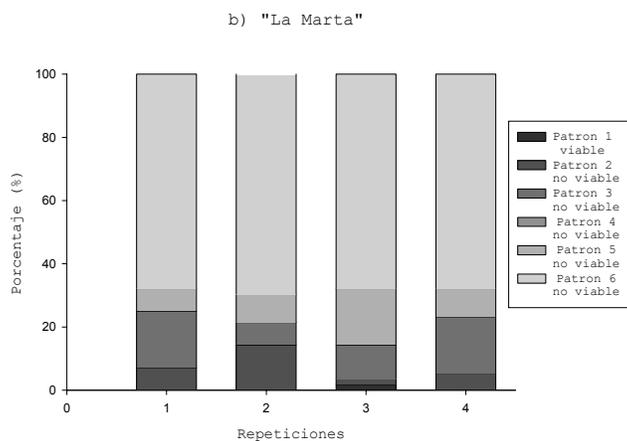
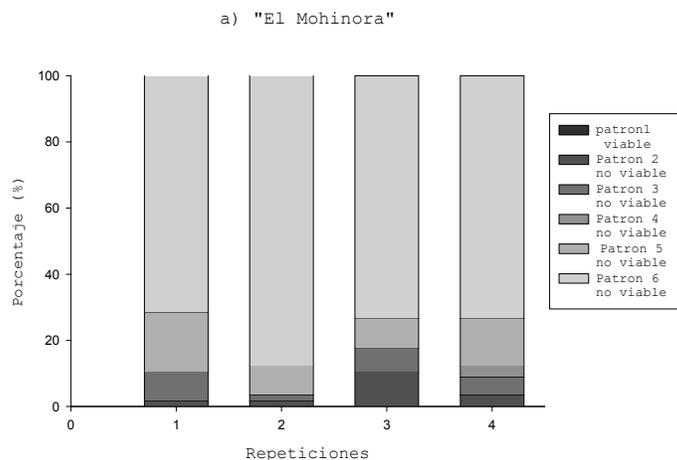


Patrón no viable 3



Patrón no viable 6

Apéndice 2. Porcentaje de semillas teñidas por diferentes patrones obtenidos con la prueba de cloruro de tetrazolio de las semillas no germinadas en el ensayo de tratamientos pregerminativos de *Picea mexicana* Martínez. Para las poblaciones a) "El Mohinora", b) "La Marta" y c) "El Coahuilón".



Apéndice 3. Valores de porcentaje promedio de semillas (número de semillas promedio), para cada patrón obtenido y coeficiente de variación, de la prueba de viabilidad con solución de cloruro de tetrazolio para las poblaciones "El Mohinora", "La Marta" y "EL Coahuilón".

| Población | Patrón 1 viable | Patrón 2 No viable | Patrón 3 No viable | Patrón 4 No viable | Patrón 5 No viable | Patrón 6 No viable |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| "EL Mohinora" | 0% (0) CV (0) | 1.4% (2.5) CV (95.2190) | 1.82% (3.25) CV (52.5484) | 0.28% (0.5) CV (200.00) | 3.92% (7.0) CV (34.9927) | 23.94% (42.75) CV (9.8087) |
| "La Marta" | 0.14% (0.25) CV (200.00) | 2.24% (4.0) CV (73.5980) | 4.20% (7.5) CV (40.00) | 0% (0) CV (0) | 3.36% (6.0) CV (45.1335) | 21.42% (38.25) CV (1.3071) |
| "El Coahuilón" | 0% (0) CV (0) | 1.12% (2.0) CV (40.8248) | 3.64% (6.50) CV (19.8614) | 0% (0) CV (0) | 4.06% (7.25) CV (42.6992) | 22.54% (40.25) CV (6.5340) |

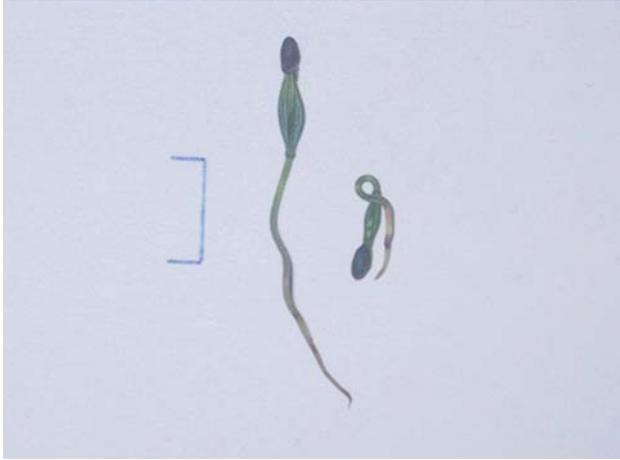
Apéndice 4. Cuadrados medios de análisis de varianza y significancia de germinación para las poblaciones "El Mohinora", "La Marta" y "El Coahuilón".

| Fuente de variación | GL | Cuadrados medios | | |
|---------------------|----|------------------|------------|----------------|
| | | "EL Mohinora" | "La Marta" | "El Coahuilón" |
| Tratamientos | 8 | 81.0538528 | 25.1260625 | 28.1049715 |
| Error | 27 | 12.3364704 | 11.1833250 | 12.1858167 |
| CV (%) | | 8.473090 | 18.50578 | 18.00526 |

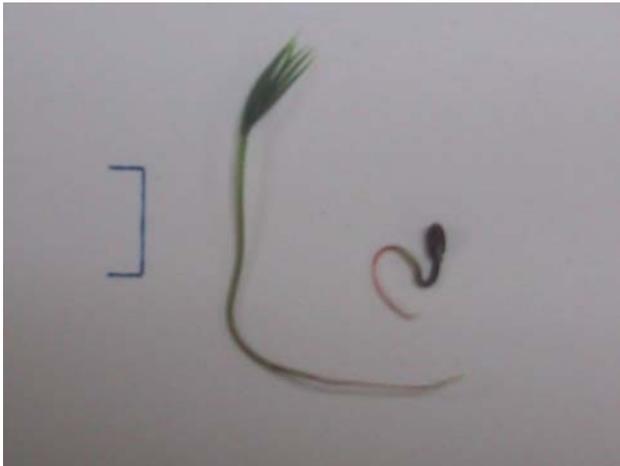
Apéndice 5. Cuadrados medios de análisis de varianza y significancia del valor de germinación para las poblaciones "El Mohinora", "La Marta" y "El Coahuilón".

| Fuente de variación | GL | Cuadrados medios | | |
|---------------------|----|------------------|------------|----------------|
| | | "EL Mohinora" | "La Marta" | "El Coahuilón" |
| Tratamientos | 8 | 25.8659361 | 2.81828819 | 3.81663125 |
| Error | 27 | 2.5857556 | 0.82427130 | 1.16573426 |
| CV (%) | | 13.98961 | 33.21225 | 35.02650 |

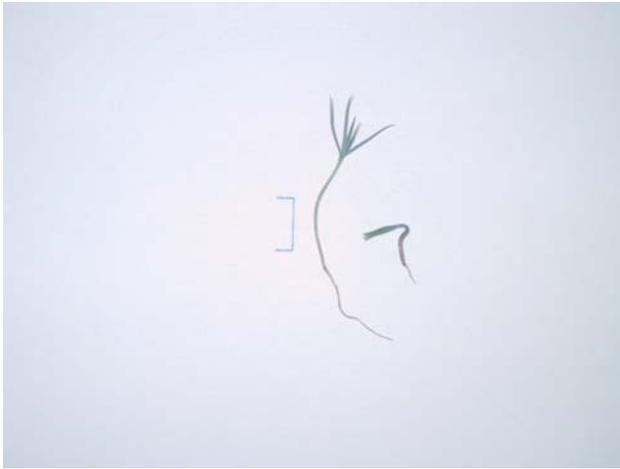
Apéndice 6. Comparación y descripción de plántulas normales y anormales para *Picea mexicana* Martínez, de acuerdo a los manuales de evaluación de plántulas de ISTA (1979) y AOSA (1992).



A la izquierda plántula normal y a la derecha anormal, el hipocótilo enrollado (en forma de cola de marrano).



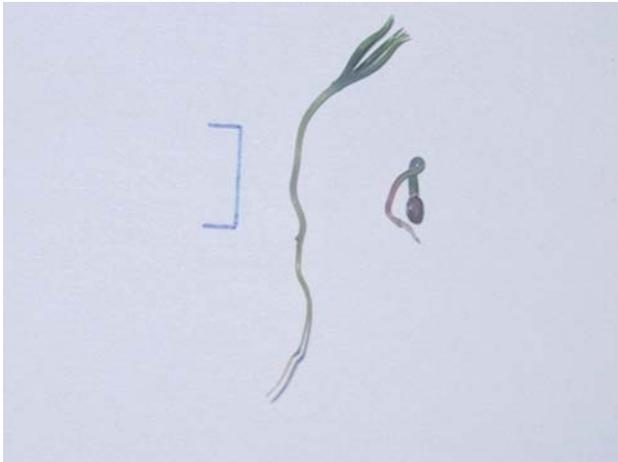
Plántula a la izquierda normal, plántula a la derecha anormal con raíz delgada y corta, con hipocótilo corto y grueso.



Plántula de la izquierda normal, plántula a la derecha anormal con el hipocótilo delgado y raíz corta y delgada.



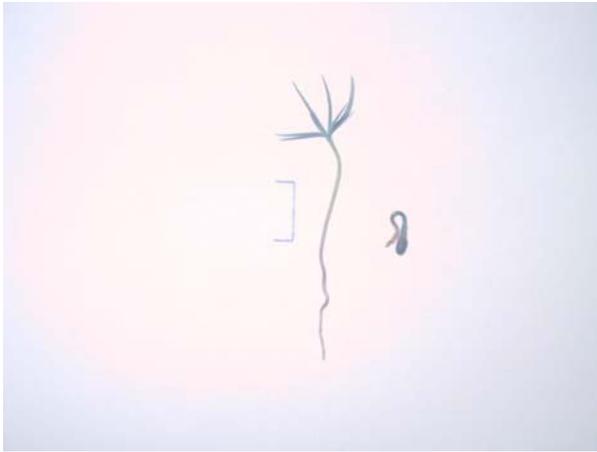
Plántula de la izquierda normal, plántula a la derecha anormal con raíz primaria delgada e hipocótilo inclinado o en forma de herradura.



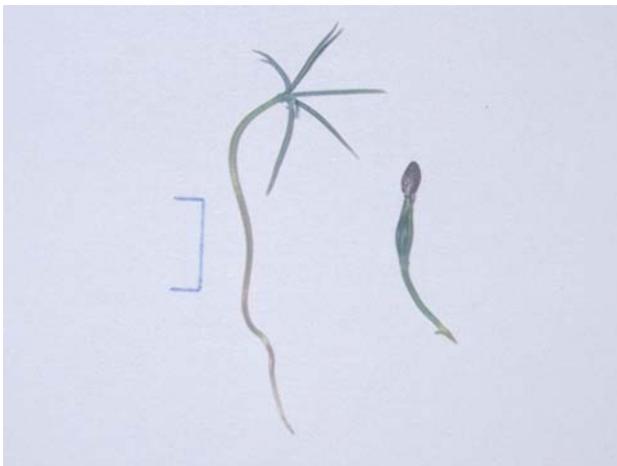
Plántula a la derecha con hipocótilo estrechadamente retorcido, formando una espiral.



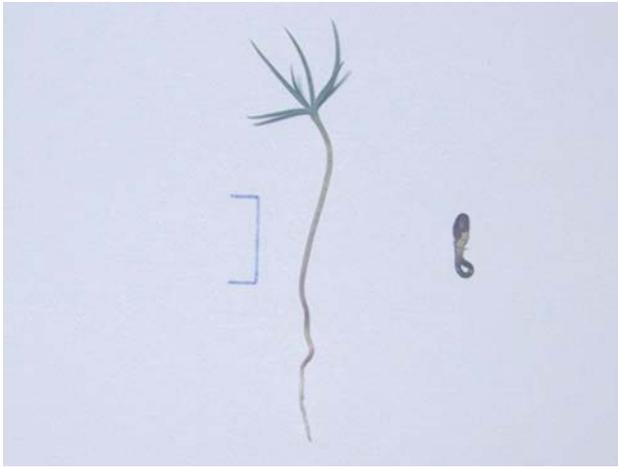
Plántulas de la derecha anormales, con raíz primaria ausente, corta y gruesa.



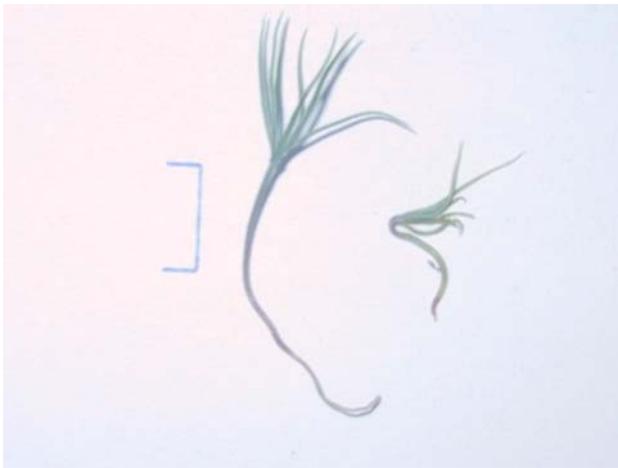
Plántula a la derecha anormal con geotropismo negativo en la raíz primaria.



Plántula a la derecha anormal con raíz ausente.



Plántula a la derecha anormal raíz primaria atrapada en la testa de la semilla.



Plántula a la derecha anormal enana, raíz corta e hipocótilo doblado.



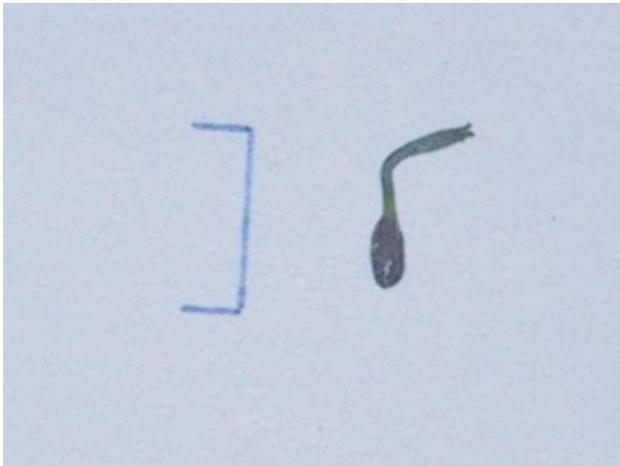
Plántula a la derecha anormal con cotiledones deformes, hipocótilo y raíz delgada.



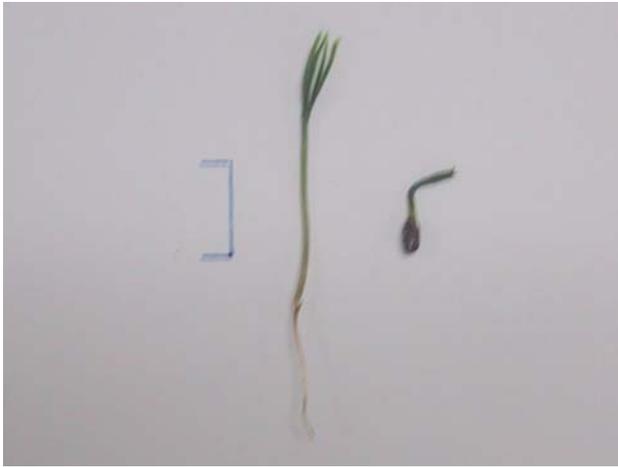
Plántula a la derecha anormal, los cotiledones emergieron primero que la raíz.



Plántula a la derecha anormal, los cotiledones emergieron primero que la raíz.



Acercamiento de una Plántula anormal, los cotiledones emergieron primero que la raíz primaria.



Plántula a la derecha anormal, los cotiledones emergieron primero que la raíz.