



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



ESTABILIDAD DE LA GERMINACION DE
SIETE PROCEDENCIAS DE *Pinus greggii*
ENGELM., SOMETIDAS A CUATRO
TRATAMIENTOS DE TEMPERATURA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRICOLA
P R E S E N T A :
HECTOR RODRIGUEZ MUÑOZ

Asesores de Tesis: Biól. Felipe Nepomuceno Martínez
Ing. Juan Carlos Rodríguez Huerta

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICES

INDICE GENERAL

R E S U M E N

I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	5
III. HIPOTESIS	6
IV. REVISION DE LITERATURA	
A. Características generales del <i>Pinus greggii</i> Engelm.	7
1. Biosistemática.	7
2. Importancia y usos.	10
B. Importancia de la reproducción en la regeneración de áreas.	11
C. Aspectos generales de la semilla y la germinación.	14
1. La semilla.	14
2. La germinación.	16
3. Factores que influyen en la germinación.	18
a) Factores internos que afectan la germinación.	19
b) Factores externos que afectan la germinación.	21
D. Importancia de la temperatura en la germinación de especies forestales.	27
E. Importancia del estudio de procedencias.	32
F. Factores ecológicos y genéticos que influyen en la variabilidad de las plantas.	37
G. Interacción genotipo-ambiente y estabilidad.	43

V. MATERIALES Y METODOS.	50
A. Material utilizado y Diseño Experimental.	50
B. Evaluación de datos.	54
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.	61
A. Resultados.	61
B. Discusión.	85
VII. CONCLUSIONES.	92
VIII. RECOMENDACIONES.	94
IX. BIBLIOGRAFIA CITADA.	95
X. ANEXOS.	104
A. Principales aspectos considerados por Webb (1980), para ensayos de procedencias de <i>Pinus greggii</i> .	104
B. Cuadro A.1.	106
C. Gráficas del comportamiento de la germinación de la procedencias de <i>Pinus greggii</i> usadas en este estudio.	107

INDICE DE CUADROS

Cuadro # 1. Temperaturas cardinales de germinación para las semillas de algunas especies de <i>Pinus</i> .	31
Cuadro # 2. Localización y condiciones del medio ambiente de las procedencias de <i>Pinus greggii</i> incluidas en el estudio.	52
Cuadro # 3. Análisis de varianza para determinar parámetros de estabilidad en la germinación de <i>Pinus greggii</i> Engelm.	60
Cuadro # 4. Valores de F calculados para las Procedencias en los Análisis de Varianza individuales y combinados.	61

Cuadro # 5. Capacidad germinativa y parámetros de estabilidad.	64
Cuadro # 6. Pruebas de medias (Tukey) de la capacidad germinativa.	65
Cuadro # 7. Valor germinativo (Maguire) y parámetros de estabilidad.	67
Cuadro # 8. Pruebas de medias (Tukey) del Valor germinativo (Maguire).	68
Cuadro # 9. Velocidad y uniformidad germinativa de <i>Pinus greggii</i> Engelm.	70
Cuadro # 10. Días al 25% de germinación y parámetros de estabilidad.	71
Cuadro # 11. Pruebas de medias (Tukey) de los Días al 25% .	73
Cuadro # 12. Días al 50% de germinación y parámetros de estabilidad.	74
Cuadro # 13. Pruebas de medias (Tukey) de los Días al 50% .	76
Cuadro # 14. Días al 75% de germinación y parámetros de estabilidad.	77
Cuadro # 15. Pruebas de medias (Tukey) de los Días al 75% .	79
Cuadro # 16. Días medios de germinación y parámetros de estabilidad.	80
Cuadro # 17. Pruebas de medias (Tukey) de los Días medios.	82
Cuadro # 18. Desviación estandar de la germinación y parámetros de estabilidad.	83
Cuadro # 19. Pruebas de medias (Tukey) de la Uniformidad germinativa (S).	85
Cuadro # 20. Estabilidad de la germinación de <i>Pinus greggii</i> Engelm.	86
Cuadro A.1. Valores ajustados e Indices ambientales calculados.	106

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica # 1. Capacidad germinativa de <i>Pinus greggii</i> Engelm. en cuatro temperaturas.	63
Gráfica # 2. Líneas de regresión de la capacidad germinativa de <i>Pinus greggii</i> Engelm.	63
Gráfica # 3. Valor germinativo (Maguire) de <i>Pinus greggii</i> Engelm. bajo cuatro temperaturas.	66
Gráfica # 4. Líneas de regresión para el valor germinativo (Maguire) de <i>Pinus greggii</i> Engelm.	66
Gráfica # 5. Días al 25% de germinación en <i>Pinus greggii</i> Engelm. bajo cuatro temperaturas.	72
Gráfica # 6. Líneas de regresión para los Días al 25% de germinación en <i>Pinus greggii</i> Engelm.	72
Gráfica # 7. Días al 50% de germinación en <i>Pinus greggii</i> Engelm. bajo cuatro temperaturas.	75
Gráfica # 8. Líneas de regresión para los Días al 50% de germinación en <i>Pinus greggii</i> Engelm.	75
Gráfica # 9. Días al 75% de germinación en <i>Pinus greggii</i> Engelm. bajo cuatro temperaturas.	78
Gráfica # 10. Líneas de regresión para los Días al 75% de germinación en <i>Pinus greggii</i> Engelm.	78
Gráfica # 11. Días medios de germinación en <i>Pinus greggii</i> Engelm. bajo cuatro temperaturas.	81
Gráfica # 12. Líneas de regresión para los Días medios de germinación en <i>Pinus greggii</i> Engelm.	81
Gráfica # 13. Uniformidad de germinación (Desviación estandar) en <i>Pinus greggii</i> Engelm. bajo cuatro temperaturas.	84
Gráfica # 14. Líneas de regresión para la uniformidad germinativa (Desviación estandar) en <i>Pinus greggii</i> Engelm.	84
Gráfica A.1. Germinación de la procedencia de Jacala, Hgo. (1)	107

Gráfica A.2.	Germinación de la procedencia de El Madroño, Qro. (2)	108
Gráfica A.3.	Germinación de la procedencia de Tres Lagunas, Qro. (3)	108
Gráfica A.4.	Germinación de la procedencia de Los Lirios, Coah. (4)	109
Gráfica A.5.	Germinación de la procedencia de Los Lirios, Coah. (5)	109
Gráfica A.6.	Germinación de la procedencia de Molango, Hgo. (6)	110
Gráfica A.7.	Germinación de la procedencia de Galeana, N. L. (7)	110

INDICE DE FIGURAS

Figura # 1.	Localización de las procedencias de <i>Pinus greggii</i> , usadas en este estudio.	51
Figura # 2.	Germinadora marca Seedburó con dos cámaras.	53
Figura # 3.	Colocación de los tratamientos en la cámara de germinación.	54

R E S U M E N

El estudio se realizó en cámaras de germinación con temperaturas controladas para evaluar la estabilidad de la germinación de siete procedencias de *Pinus greggii* Engelm. Esta es una especie bien definida del acervo genético de los pinos mexicanos y su distribución es restringida y dispersa en porciones de la Sierra Madre Oriental. Las semillas de las procedencias incluidas en el estudio fueron colectadas en el año de 1987, de los rodales naturales: "El Piñón", Jacala y "Laguna Atezca", Molango, Hgo.; El Madroño y "Tres Lagunas", Landa de Matamoros, Qro.; Los Lirios, Coah. (dos sitios); y las "Placetas", Galeana N. L.

Las variables analizadas para evaluar la germinación fueron: Capacidad germinativa, Valor germinativo (Maguire), Velocidad germinativa (Días al 25%, Días al 75%, Días Medios) y Uniformidad germinativa (desviación estandar). Las semillas fueron colocadas en cuatro temperaturas de germinación (10°, 20°, 30° y 24-29°C), en un Diseño Experimental de Bloques al azar, con cuatro repeticiones.

El análisis para evaluar estabilidad, se realizó mediante el modelo propuesto por Eberhart y Russell (1966), encontrándose que existen diferencias altamente significativas entre las procedencias, en todas las variables evaluadas. Y solo para las variables de Valor germinativo y Días al 75%, hubo interacción Procedencias X Temperaturas. Se observó que las procedencias de Los Lirios, Coah. y Galeana N. L. presentaron las mejores características de estabilidad de la germinación, diferenciándose considerablemente de las demás procedencias en las variables de Velocidad y Uniformidad germinativa. El comportamiento de estabilidad de la germinación para las procedencias de Querétaro fué intermedio y las procedencias de Hidalgo presentaron la mayor inconsistencia en sus respuestas a los cambios de temperaturas de germinación.

I. INTRODUCCION

La germinación de semillas en plantas de cualquier especie en su sentido estricto es la reanudación del crecimiento activo del embrión, mediante el cual la semilla se transforma en planta. Sin embargo, aún cuando la semilla permanezca viable, para que pueda germinar deben presentarse las condiciones internas y externas favorables para que se induzca el desarrollo de la nueva planta (Hartman y Kester, 1975), pues existen diversas condiciones que afectan la germinación, que pueden ser (Grajales y Martínez, 1983):

- a) Internas: Son las que están presentes en la semilla, como pueden ser inhibidores, niveles de fitocromo o inmadurez del embrión, o bien, cubierta gruesa o impermeable.
- b) Externas: Están dadas solo por los factores ambientales, como pueden ser agua, luz, oxígeno y temperatura.

El conocimiento de la influencia positiva o negativa que tienen los factores internos y externos en la germinación, son de gran importancia dentro de los sistemas de producción de plántulas con propósitos de plantación.

La producción de plantas en nuestro País juega un papel importante, sobre todo en la recuperación de áreas forestales, dado que actualmente en bosques y selvas, se deforestan cada año alrededor de 370,000 ha. y sólo son recuperadas 40,000 ha. (S.A.R.H., 1991). Estos datos involucran la necesidad de plantear estrategias e investigaciones tendientes a la recuperación e incremento de las áreas de bosques y selvas.

Una práctica importante como estrategia para la recuperación de bosques y selvas, debe ser la elección adecuada de las especies a utilizar, buscando que se adapten a las condiciones ambientales particulares de cada región, para lo cual es necesario realizar ensayos de especies y procedencias, a fin de conocer el comportamiento de cada una, en cuanto a su adaptación, crecimiento y utilidad del producto, para una mejor selección del material en las plantaciones.

Patiño y Garzón (1976), mencionan que la procedencia o las variaciones de los árboles de una misma especie son exhibidos como caracteres morfológicos o genéticos expresados en las diferencias existentes entre tamaño de árbol, diferencias de corteza, hojas, cono, o bien el grado de coloración de las hojas jóvenes, corteza, yemas y ramillas. La variación en los árboles está asociada con la variación de las condiciones del medio ambiente, a través del rango de distribución de la especie que produce plantas genéticamente variables.

Las respuestas de variación genética de las especies a los factores del medio ambiente, se reflejan de manera diferente entre las especies, los individuos de una misma especie, localidad o sitio, y aún entre las diferentes etapas fenológicas de las plantas. El conocimiento de las respuestas de las especies forestales a los factores del medio ambiente en las diversas etapas fenológicas es importante, sin embargo, y de acuerdo con Musálem (1985), el conocimiento de la respuesta de la semilla a los factores ambientales es esencial en la práctica de la silvicultura, ya que la germinación de la semillas tanto en condiciones naturales como artificiales, es el primer paso hacia la regeneración de áreas.

La germinación, es considerada como un proceso complejo y crítico dentro de los sistemas de producción de plántulas con propósitos de plantación, requiriendo ser estudiada en los aspectos genéticos y ecológicos que la afectan. Las semillas que no poseen mecanismos de latencia, germinan cuando se colocan en condiciones adecuadas de humedad, temperatura, luz y suministro de oxígeno (Villagómez, 1987). Para estos factores, que influyen de manera independiente sobre la germinación, existe un máximo y un mínimo por arriba o por debajo de los cuales, respectivamente, no hay germinación; así también, existe un óptimo, que es el punto en el que la función progresa a velocidad máxima (Daubenmire, 1986 y Rivera, 1991). Así mismo, la respuesta a cada uno es variable en la germinación y va a depender de la edad de la semilla, condiciones de manejo y almacenamiento, composición genética e incluso el sustrato de germinación.

Entre los factores que influyen sobre la germinación, la temperatura posee gran importancia, pues determina el nivel de las reacciones bioquímicas, así como de la imbibición e intercambios gaseosos. La temperatura afecta la iniciación de la germinación, el crecimiento y desarrollo de las plántulas (Patiño et al., 1983).

El conocimiento de los puntos cardinales de temperatura para la germinación, son de gran importancia ya que: pueden ser un parámetro importante para la selección y ubicación de especies y procedencias en las plantaciones; si existe la opción de controlar la temperatura (Invernaderos y viveros), se podría incrementar la germinación total y la velocidad de germinación en beneficio de la producción de plantas; y así mismo, es útil en las recomendaciones silvícolas tendientes a mejorar la germinación, en el manejo de masas naturales.

Una de las razones para estudiar el comportamiento de varios genotipos bajo ambientes diferentes, es la estimación de parámetros de estabilidad o adaptabilidad. La interacción Genotipo-Ambiente (GA), puede considerarse como un indicador de la estabilidad; si no se detecta la respuesta de interacción GA, se puede suponer la existencia de estabilidad de los genotipos, o sea que sus posiciones relativas y las diferencias en magnitud de respuestas, son similares en los diferentes ambientes.

El presente trabajo se realizó en el Campo Experimental "COYOACAN", del C.I.F.A.P.D.F., y forma parte de una serie de estudios que se realizan dentro del Proyecto de Investigación de germoplasma Forestal, para evaluar y conocer la variabilidad genética y las respuestas de adaptación a diversas condiciones ambientales, del *Pinus greggii* Engelm. entre sus procedencias; ésta es una especie importante dentro del acervo genético de los pinos mexicanos, que se localiza en rodales aislados y dispersos en porciones de la Sierra Madre Oriental; por las características morfológicas y de adaptación que presenta, se está utilizando en forma creciente para plantaciones dentro y fuera del país.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Evaluar la estabilidad genética de siete procedencias de *Pinus greggii* Engelm., al variar la temperatura durante la germinación.

B. Objetivos particulares

1. Identificar las procedencias que muestren mayor estabilidad al efecto de la variación de temperaturas en la germinación.
2. Evaluar el efecto de la temperatura, en la germinación de siete procedencias de *Pinus greggii* Engelm.
3. Aplicar el modelo de análisis combinatorio propuesto por Eberhart y Russell (1966), como una experiencia en el estudio de especies forestales.

III. HIPOTESIS

1. Las procedencias de *Pinus greggii* Engelm. presentan diferencias en la germinación, cuando son colocadas en diversas condiciones de ambiente controlado.
2. Existe diferencia entre procedencias, en la estabilidad de la germinación, al variar las condiciones de temperatura.
3. Al variar las condiciones de temperatura durante la germinación de las procedencias de *Pinus greggii* Engelm., la respuesta va a ser variable en cada una.

IV. REVISION DE LITERATURA

A. Características generales del *Pinus greggii* Engelm.

El *Pinus greggii* Engelm., es una especie bien definida del acervo genético de los pinos mexicanos, con distribución restringida y disyunta en porciones de la Sierra Madre Oriental, específicamente en dos regiones con distintas condiciones ambientales: una región está caracterizada por ser de baja elevación y suelos ácidos; la otra región es de alta elevación y suelos básicos (Donahue, 1990), lo que permite suponer que la especie posee un gran componente genético, en relación con el componente ambiental (Nepamuceno, 1990). La especie en estudio produce flores femeninas al año nueve meses de haberse sembrado, teniendo semilla viable hasta los cuatro años, pero se ha observado que la semilla producida a los siete años de edad, tiene mayor capacidad germinativa, peso, dimensiones, se encuentra en mayor número por cono y son capaces de producir plantas vigorosas (López, 1986; Vázquez, 1988).

1. Biosistemática

Esta especie que comunmente se conoce como pino ayarín (Nuevo León); pino prieto (Coahuila); pino ocote (Hidalgo); y su nombre científico es el de *Pinus greggii* Engelm. Fué descrito por el Dr. George Engelmann en 1868, denominándola en honor de Josiah Gregg, súbdito alemán que residió varios meses en el norte de México, donde hizo importantes colecciones botánicas alrededor de 1844. Es una especie que se asemeja con el *Pinus patula*, principalmente por sus conos, pero se diferencia de éste por sus hojas cortas, derechas y gruesas; aunque pertenecen al mismo grupo botánico (Martínez, 1948; Mirov, 1967).

a) Descripción botánica

- aa) Fuste: Arbol de 10 a 15 m. de alto, a veces más; con 40cm. de diámetro; con la corteza lisa y grisácea cuando joven, oscura y áspera después; ramas ascendentes, delgadas y colocadas irregularmente en el tallo; ramillas erectas, flexibles de color rojizo, con tinte grisáceo, normalmente cubierta por el follaje café grisáceo, a veces ceniciento; con la base de las brácteas no decurrentes (Eguiluz, 1978).
- bb) Hojas: En grupos de 3, rara vez menos, alrededor de 7 a 14 cm. de largo; ásperas, anchamente trianguladas y derechas, de color verde claro brillante, bordes aserrados con denticillos muy cortos; sus canales resiníferos medios, en número de 2 o 4 (Eguiluz, 1978).
- cc) Conos: Fuertes y tenzamente persistentes, duros, sésiles, oblongo cónicos, oblicuos, algo encorvados, de color ocre, lustrosos; agrupados por pares o de 5 a 8, rara vez más; su aspecto es muy parecido al *Pinus patula* (Martínez, 1948; Eguiluz, 1978). La longitud del cono ha sido reportada por diversos autores sin que ellos coincidan: Martínez (1948), de 10 a 15 cm.; Eguiluz (1978), 8 a 12 cm.; López (1986), valores que van de 6.2 a 9.5 cm. para árboles jóvenes; y Plancarte (1990), 7 a 15 cm., además menciona, que la longitud del cono tiene una aparente relación con la densidad del arbolado y repercute notablemente con el rendimiento de semillas por kilogramo. Las escamas son duras y fuertes, de 4 a 4.5 cm. de largo por 1.5 cm. de ancho; umbo ensanchado y quilla transversal bien marcada, apófisis desigualmente elevadas, con la cúspide deprimida (Martínez, 1948; y Eguiluz, 1978). Esta

especie por sus características de apertura de los conos para liberar las semillas, es considerada como un pino serotino.

- dd) Semillas: Oval, de color oscuro, de 6 a 7 mm. de largo; con ala articulada, morena, de 18 a 20 mm. de largo (Niembro, 1986), por 7 mm. de ancho, engrosada en la base en una faja oblicua. Normalmente florea de febrero a marzo, los conos abren de enero a febrero, pero gradualmente se abren en diferentes épocas; agrupan un promedio de 8,398 conos por m³ (Eguiluz, 1978). Patiño et al., 1983, reporta que el número de semillas/kg. varía de 55,500 a 98,500, con un promedio de 77,000, teniendo porcentajes de viabilidad relativamente altos.

b) Localización y climas

El *Pinus greggii* Engelm., se encuentra ubicado sobre la sierra Madre Oriental, entre los paralelos 20°00' a 25°40' de Latitud Norte y meridianos 97°40' a 101°20' de Longitud Oeste (Eguiluz, 1978). Se localiza en el NE de México, particularmente en el SE de Coahuila y partes adyacentes en Nuevo León; y más al sur en la Región Central del País, en los estados de San Luis Potosí, Hidalgo y Querétaro. Sus límites altitudinales son entre 2300 a 2700 m.s.n.m. en el N de México, en sitios que se estima reciben 418 mm. anuales de precipitación y una temperatura promedio anual de 12 a 14°C. En la región central de México, se encuentra de 1250 a 1800 m.s.n.m., en áreas que reciben aproximadamente 700 a 1400 mm de lluvia anual y un promedio de temperaturas anuales entre 18 a 20°C (Donahue, 1990).

2. Importancia y usos

El *Pinus greggii* Engelm., está usándose en forma creciente en plantaciones; inclusive fuera del País, se han reportado resultados favorables (Nepamuceno, 1990). Las plantas de esta especie, por sus características de adaptación se usan para plantaciones protectivas y ornamentales (Campos, 1990). En el Valle de México, donde se ha utilizado en reforestaciones para recuperar suelos erosionados, se le ha observado buena adaptación (Equiluz, 1978).

Asimismo, ha mostrado excelentes características para propósitos de mejoramiento genético, como son su rapidez de crecimiento y precocidad de floración (López, 1986; Vázquez, 1988; y Nepamuceno, 1990); su distribución natural restringida y disyunta (Donahue, 1990; y Cuevas et al., 1991); su resistencia a plagas (González, 1978, citado por Malagón, 1990); su buena adaptación en suelos degradados (Equiluz, 1978); y su tolerancia a sequía (Webb, 1980; Vargas, 1985; López, 1990; y Cuevas et al., 1991). Todas esas características permiten realizar trabajos de mejoramiento genético con relativa rapidez.

La madera del *Pinus greggii* Engelm., actualmente se asierra para elaboración de durmientes, vigas, pilotes para minas, postes para cercas, muebles y leña para combustible (Ceballos y Carmona, 1981).

B. Importancia de la reproducción en la regeneración de áreas

Las semillas forestales están consideradas como una de las fuentes más importantes de germoplasma y constituyen hasta el momento el material más utilizado en los programas de regeneración artificial. En México, a pesar de la actual importancia genética y económica que tienen los pinos (que por un lado se cuenta con el centro de especiación más importante de varios géneros de coníferas entre los que destaca el *Pinus* [Capó, 1981] y por otro lado, los pinos contribuyen en un 80% a la producción anual de materiales forestales [Musálem, 1984]), el progreso de la silvicultura ha sido mínimo, existiendo escasa información sobre la variación que presentan las diferentes especies y sobre las condiciones ecológicas en que prosperan.

Nepamuceno et al. (1989), señalan que la riqueza de especies o germoplasma que existe en los bosques templados de México, ha sido motivo de un constante interés por parte de la comunidad científica y técnicos forestales; inclusive muchos países, entre ellos Australia, Sudáfrica y E.E.U.U., realizan plantaciones forestales con especies mexicanas obteniendo altos rendimientos [Capó, 1981]; sin embargo este tipo de bosque al igual que en otros países, está siendo disminuido en su superficie y calidad genética.

El problema más grave es que en los últimos 50 años la superficie forestal del país se ha reducido en 50% [Capó, 1981] y para el año de 1990, se desforestaron 370,000 ha. de bosques y selvas, recuperándose únicamente 40,000 ha. [SARH, 1991]. Esto no resulta exclusivamente en la pérdida áreas y sus complicaciones ecológicas, o de abastecimiento de materias primas forestales, sino también implica la pérdida de valiosos materiales biológicos y genéticos, sin ser reconocidos; siendo necesario desarrollar

investigaciones y estrategias tendientes a recuperar e incrementar las áreas forestales, tanto para fines de conservación de recursos genéticos, como de producción de materias primas forestales. La necesidad de realizar programas de recuperación forestal, se justifica por el deterioro cualitativo y cuantitativo que han experimentado los bosques y selvas naturales, a causa de:

- a) Tala intensiva e indiscriminada y cambios de uso del suelo para la agricultura y ganadería;
- b) Inadecuada utilización de los productos maderables y no maderables;
- c) Otros factores como los incendios forestales que no sólo destruyen la vegetación, sino también recursos como el suelo y la fauna, propiciando la aparición de plagas y enfermedades forestales.

En base a las condiciones adversas en que se han colocado los recursos genéticos forestales de México, es prioritaria la conservación de los mismos, con especial atención en aquellas especies que se utilizan actualmente y de cuyo germoplasma se requiere, sobre todo aquellas que muestren ser más prometedoras para propósitos de plantaciones o estén fuertemente amenazadas.

La FAO (1984) citada por Nepamuceno et al. (1989), define la conservación de los recursos genéticos, como el conjunto de acciones y políticas que aseguran su continuidad, disponibilidad y existencia. Las estrategias generales de conservación se desarrollan dentro de dos alternativas, *ex situ* e *in situ*, las cuales implican diferencias en relación con la escala de preservación de la variabilidad genética. En sentido estricto, la variabilidad genética se refiere a la distribución u organización de los genes en una especie, lo cual de manera práctica se

refiere a las diferencias morfológicas y fisiológicas entre poblaciones e individuos. Las metodologías *in situ* son las que permiten, de forma exclusiva, la conservación de ecosistemas y la evolución natural de las especies, mientras que los métodos *ex situ*, que implican la extracción del germoplasma de las poblaciones naturales presentan limitaciones en este aspecto, pero es necesario señalar que ambas estrategias deben ser llevadas a cabo de manera complementaria, para finalmente garantizar la disponibilidad y mejoramiento de los recursos genéticos (Nepamuceno, 1990).

Por otra parte, se sabe que de las especies maderables del género *Pinus*, son propagadas por semilla en condiciones naturales y bajo cultivo. Sin embargo, existe poca información específica relacionada con los factores que afectan la germinación de semillas de las diferentes especies.

La regeneración natural en los bosques siempre ha estado supeditada a una serie de factores internos y externos que la limitan, mismos que al desconocerlos repercuten en el establecimiento de nuevas masas naturales, sobre todo cuando se tienen áreas bajo tratamiento silvícola, donde se requiere tener un rendimiento sostenido y permanente.

La regeneración natural está en función de factores bióticos como abióticos que ejercen acción diversa sobre el establecimiento de las nuevas plántulas; siendo necesario para perpetuar especies deseables, una adecuada regeneración, requiriendo para ello, hacer prácticas que eliminen la presión sobre el renuevo en los sitios con regeneración natural. De esta manera, las condiciones del medio ambiente se irán ajustando para favorecer el desarrollo de la sucesión paulatina de plantas dominantes, con las especies deseadas.

Niembro (1985) basado en varios autores, señala que el éxito de las plantaciones, se logra si antes de su establecimiento se determinan las técnicas de vivero y plantación más apropiadas, así como el conocimiento y evaluación de la semilla empleada. Pero lo más importante, es la necesidad de incrementar la investigación y conocimiento, sobre los factores que afectan el establecimiento y reproducción de especies forestales, así como lograr una mayor comprensión de los problemas en la regeneración, que es básica en el sostenimiento controlado y conservación de especies y germoplasmas forestales.

C. Aspectos generales de la semilla y la germinación

1. La semilla

Para poder entender la germinación, primero se debe tener presente que es la semilla y el lugar que ocupa en la vida de las plantas. Generalmente la semilla es la base en la producción de plantas, y ha sido centro de atención de numerosos estudios cuya finalidad consiste en obtener los conocimientos necesarios de sus procesos internos y de los mecanismos que permitan la multiplicación de la especie, así como de características externas que tienen influencia en estos procesos. En sentido estricto, la semilla es el resultado de la fertilización de un óvulo (ISTA, 1979, citado por Patiño et al.), y consiste de un embrión y su reserva alimenticia almacenada, rodeados por cubiertas protectoras (Hartman y Kester, 1975).

Una semilla es esencialmente una pequeña planta cuyas actividades vitales están reducidas al mínimo. El secamiento de la semilla joven a medida que madura en la planta, trae consigo esta reducción de las actividades. Las semillas secas están así en

condiciones para tenerlas de reserva, almacenarlas y preservarlas hasta que el tiempo y el lugar sean convenientes para originar una nueva planta (Toole y Toole, 1984). La función de la semilla es transportar el embrión a través de los azares del tiempo y del espacio al lugar y hora donde una nueva planta pueda crecer, florecer y, a su vez, producir nuevas semillas (Pollock y Toole, 1984).

Las semillas en su concepto más amplio son el medio por el cual los vegetales se perpetúan, adaptándose a la gama tan diversa que les impone el ambiente a través del tiempo. No obstante esta concepción original que enmarca la evolución natural, el hombre ha modificado la naturaleza y ha hecho que las semillas evolucionen en la dirección que le conviene; en éste sentido podemos decir que de la gran diversidad vegetal existente se ha escogido aquellas especies que mejor satisfacen sus necesidades o contribuyen a su beneficio. Por esta razón muchos hombres con diversos objetivos incursionan en las comunidades vegetales del mundo en busca de mejores ecotipos para perpetuarlos o modificarlos y obtener su máximo beneficio (Kanninen, et al., 1990).

Así pues, la semilla aparte de proporcionar variabilidad genética, permite una continuidad entre generaciones, así como la dispersión de las especies en una estructura considerablemente protegida, con una fuente de alimento para la plántula joven preformada, y mecanismos que controlan el tiempo de iniciación de los primeros estadios de su desarrollo (Grajales y Martínez, 1983).

2. La germinación

La madurez de la semilla y su germinación siguen una secuencia directa en la vida de una planta, pero normalmente están separadas en tiempo y en espacio. La Asociación Internacional de Analistas de semillas (ISTA) (FAO, 1956) y la Asociación de Analistas de Semillas (AOSA) (Sayers, 1982), mencionan que la germinación de semillas en laboratorio, se define como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que, de acuerdo a la semilla en estudio, son indicadores de su habilidad para producir una plántula bajo condiciones favorables.

Morfológicamente la germinación es el proceso de desarrollo del embrión mediante el cual la semilla se transforma en planta. Fisiológicamente es la reanudación del metabolismo y el crecimiento que antes fueron suspendidos y es la conexión de la transcripción de nuevas porciones del programa genético (Patiño et al., 1983).

Existen dos tipos de germinación, la hipogea y la epigea (Daniel et al., 1982):

- a) Germinación hipogea: Este es el patrón típico de ciertas angiospermas; en ésta, los cotiledones que son estructuras de almacenamiento, permanecen enterrados y dentro de la cubierta de la semilla; el crecimiento inicial del epicotilo da lugar a la formación del tallo y la hojas primarias.
- b) Germinación epigea: Este es el patrón típico de la mayoría de las coníferas; en ésta, los cotiledones en desarrollo levantan a la semilla por encima del suelo, se convierten en estructuras fotosintéticas iniciales y luego dejan caer la cubierta de la semilla al suelo.

El proceso de germinación de una semilla ocurre por la absorción de agua (imbibición), la reactivación del metabolismo y la iniciación del crecimiento, que según Daniel et al. (1982), se presenta en nueve procesos fisiológicos asociados:

- a) Se produce absorción de agua, principalmente por imbibición.
- b) Comienza el alargamiento y la división celular.
- c) Se activan enzimas.
- d) Los carbohidratos insolubles, el almidón, los lípidos y las proteínas se hidrolizan para dar origen a sustancias químicas simples solubles en agua, que se translocan del endospermo al embrión.
- e) Las tasas de respiración aumentan rápidamente y la energía liberada se utiliza para el crecimiento y el desprendimiento de calor.
- f) Tiene lugar un incremento en la elongación y la división celulares.
- g) Se produce una rápida pérdida de peso.
- h) Comienza la diferenciación de las células para dar origen a los distintos tejidos y estructuras de la plántula.
- i) La germinación está esencialmente completa cuando la planta cuenta con suficiente superficie fotosintética para satisfacer sus propias necesidades de carbohidratos.

Sin embargo, para que la germinación pueda tener lugar deben llenarse tres condiciones (Hartman y Kester, 1975):

- a) La semilla debe ser viable; esto es el embrión debe estar vivo y capaz de germinar.
- b) En la semilla las condiciones internas deben ser favorables para la germinación; esto es, debe haber desaparecido cualquier barrera física o química para la germinación.

- c) La semilla debe estar expuesta a condiciones ambientales favorables, siendo factores esenciales la disponibilidad de agua, temperatura apropiada, provisión de oxígeno y a veces luz.

Aunque en una semilla determinada, cada una de esas condiciones puede tener un efecto diverso a los otros, con más frecuencia el comienzo de la germinación, puede ser determinado por la interacción de ellos.

La germinación, considerada como un proceso complejo y crítico dentro de los sistemas de producción de plántulas para propósitos de plantación, requiere de ser estudiada en los aspectos genéticos y ecológicos que la afectan.

3. Factores que influyen en la germinación

En el proceso de la germinación se presentan una serie de cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos, los cuales se ven afectados por diversos factores; si se colocan algunas semillas en condiciones adecuadas, estarán listas para germinar tan pronto ocurra su dispersión; otras requieren de tiempo posteriormente a esta fenómeno, durante el cual el embrión completa su desarrollo. Independientemente de lo anterior, para que la germinación ocurra se requiere de la interacción de los factores internos o propios de la semilla y los del medio ambiente. Los factores internos y externos que afectan la germinación son:

- a) Internos: Son los que están presentes en la semilla; como pueden ser inhibidores, niveles de fitocromo o inmadurez del embrión, o bien, cubierta gruesa o impermeable; la viabilidad y la latencia.

- b) Externos: Están dados por factores ambientales; como pueden ser el agua, luz en algunos casos, oxígeno, dióxido de carbono, temperatura y el sustrato.

Por tanto, las condiciones requeridas para la germinación son la expresión de la herencia de la semilla influida por el medio ambiente durante su formación, madurez y germinación.

a) Factores internos que afectan la germinación

Uno de los factores internos que influye en la germinación es la viabilidad, que puede definirse como la capacidad de una semilla de ser potencialmente capaz de germinar, y en este sentido se considera que una semilla capaz de germinar es una semilla viva, por lo que una semilla no viable será una semilla muerta. Sin embargo, la diferencia entre una semilla viva y una muerta, puede no estar bien definida, sino caracterizada por una declinación gradual en vigor, el cual se encuentra asociado a un porcentaje y a una velocidad de germinación desminuidos. La viabilidad de las semillas, puede estar influida por factores que actúan antes y después de su maduración (Patiño et al., 1983). Malagón (1990), con base en varios autores, señala que la disminución en la viabilidad puede ser el resultado de:

- aa) Carencia de polen viable o de fertilización.
- bb) Semillas malformadas; cuando los conos cosechados son inmaduros, las semillas muestran embriones deformes o incompletos, o bien, gametofito incompleto.
- cc) Semillas vacías, que contienen solo un tejido remanente del gametofito o embrión, debido a dos causas: la primera, cuando ambos poseen genes letales recesivos para la misma característica y éstos se unen, el embrión muere y el tejido del gametofito no se desarrolla; y la segunda, el tejido

gametofítico es completamente destruido por las enzimas digestivas de insectos.

- dd) Ataque de insectos y larvas durante los primeros estadios del desarrollo del embrión y del tejido gametofítico, o que se alimentan de los conos del segundo año de crecimiento, durante el verano tardío.
- ee) Daños mecánicos a las testas durante su cosecha.
- ff) Condiciones inadecuadas de almacenaje.
- gg) Daños causados por hongos en el tejido gametofítico, el embrión o ambos, lo que reduce el porcentaje de germinación.
- hh) Envejecimiento de las semillas.
- ii) Diferencias genéticas entre cultivares.

La inhibición del crecimiento como la falta de germinación de la semilla, tiene dos causas (Patiño et al., 1983):

- aa) El medio es desfavorable para el crecimiento vegetativo a causa de una escasa disponibilidad de humedad, aireación o por una temperatura inadecuada;
- bb) Cuando el organismo tiene una combinación fisiológica tal que impide el crecimiento, aunque las condiciones del medio sean adecuadas; este tipo de inhibición se llama latencia.

Son varios los factores que ocasionan la latencia en el caso de los árboles (Daniel et al., 1982):

- aa) El embrión puede estar fisiológicamente inmaduro y necesitar de un período de estratificación antes de germinar.
- bb) La semilla cuenta con una cubierta impermeable al oxígeno o el agua, o generalmente a los dos.
- cc) La cubierta de la semilla puede resultar demasiado fuerte como para que el embrión en desarrollo la pueda romper.
- dd) La semilla se desprende del árbol antes de que el embrión madure.

Nikolaeva (1971), citado por Patiño et al. (1983), divide la latencia de las semillas en tres clases:

- aa) Latencia exógena. Es causada por las propiedades físicas o químicas de las cubiertas externas de la semilla, el pericarpio o la testa, y se elimina con tratamientos físicos tales como lavado o la ruptura de las cubiertas.
- bb) Latencia endógena. Es causada por características del embrión, que en ocasiones se combinan con la impermeabilidad de las cubiertas a los gases. Se elimina con tratamientos que favorezcan el crecimiento del embrión o su actividad metabólica.
- cc) Latencia combinada. Se debe a la acción conjunta de las latencias exógena y endógena.

b) Factores externos que afectan la germinación

Las semillas que no poseen mecanismos de latencia, germinan cuando se colocan en condiciones adecuadas de agua, temperatura, luz y oxígeno. Estos factores son independientes y su influencia sobre la germinación es variable con la edad de la semillas, condiciones de manejo y almacenamiento, composición genética e incluso sustratos de germinación. Los factores externos que influyen en la germinación de semillas, han sido estudiados bajo diversas condiciones por muchos científicos (Kolk, 1979); los principales factores externos que intervienen en la germinación, se describen a continuación:

- aa) Agua: El agua es un elemento esencial para la germinación, pero no es necesario que esté líquida en contacto con las semillas, ya que éstas pueden germinar en atmósferas saturadas de humedad (Miller, 1981). La hidratación de la semilla ocurre por imbibición, cuando ésta se pone en contacto con el medio húmedo; la imbibición se realiza

debido a que la semilla posee un bajo potencial osmótico. Al hidratarse las semillas, se activan las enzimas hidrolíticas existentes y se movilizan las sustancias de reserva acumuladas en los cotiledones o el endospermo (Villagómez, 1987). La imbibición es el primer paso en el proceso de germinación y los factores que la afectan, son la naturaleza de la semilla y sus cubiertas, así como la cantidad de agua disponible en el medio. Debido a la naturaleza coloidal de sus componentes, las cubiertas de las semillas desempeñan un papel importante en la absorción del agua; en algunas especies dichas cubiertas son tan impermeables que la germinación sólo ocurre si éstas se alteran de alguna forma. Las diversas clases de semillas varían grandemente en la cantidad y tasa de absorción de agua, ya sea en almacenamiento o durante la germinación. La tasa de absorción está influenciada por la temperatura, que la favorece si es elevada; y por las sales solubles, que en exceso puede inhibir la germinación (Hartman y Kester, 1975).

bb) Oxígeno: Durante la germinación aumenta la actividad respiratoria, se incrementa la absorción del oxígeno y se desprende bióxido de carbono en cantidades crecientes. Al iniciarse la hidratación de las semillas e incrementarse la respiración, significa la necesidad creciente de energía por parte del embrión, de ahí que la mayor parte de las semillas no germinen en condiciones anaeróbicas. Mayer y Sayn (1974) citados por Malagón (1990), mencionan que el suministro adecuado de oxígeno, es necesario para degradar las sustancias de reserva contenidas en el gametofito, la restricción de éste limita la respiración y en consecuencia induce directa o indirectamente la dormancia, reduciendo así el porcentaje de germinación o evitando que las semillas germinen.

- cc) Dióxido de carbono. Los altos niveles de CO₂ retardan la germinación debido a la inhibición de la respiración; por esta razón, las semillas se deben almacenar dentro de envases sellados, debido a que las pequeñas cantidades de dióxido desprendido por la respiración de las semillas maduras y secas, produce una atmósfera rica en dicho gas, dentro del envase. La mayoría de los suelos que contiene una gran cantidad de materia orgánica tienen altos niveles de CO₂, que rápidamente se difunde en la atmósfera si la materia orgánica está cerca de la superficie; pero en los horizontes profundos, la atmósfera edáfica puede contener elevadas concentraciones del gas; esta es una de las razones por la que las semillas sembradas a demasiada profundidad, no puedan germinar (Daniel et al., 1982).
- dd) Luz. En condiciones naturales, las semillas de árboles y arbustos frecuentemente son tapadas por hojarasca y germinan sin luz; sin embargo, la luz estimula la germinación de la semilla de muchas especies y el efecto de ella depende del medio ambiente en el que germinará. Las semillas cuya germinación ocurre al recibir una estimulación luminosa se conoce como fotoblástica y este estímulo puede producir efectos positivos o negativos. La calidad y tipo de luz que recibe la semilla tiene influencia en la germinación y generalmente las semillas fotoblásticas se estimulan al recibir luz roja lejana. Sin embargo, no todas las semillas reaccionan igual a los estímulos luminosos, pudiéndose encontrar aún dentro de una misma especie y población de semillas, diferentes requerimientos de luz, desde las que germinan en la oscuridad, hasta las que requieren largos periodos de iluminación. Algunos autores atribuyen esta diferencia, a postmaduración y al efecto del periodo de almacenamiento

en la semilla, ya que por lo general las semillas jóvenes o recientes requieren de un fotoperíodo mayor que las más viejas (Patiño et al., 1983). Mayer y Poljakoff-Mayber (1975), mencionan que la luz es un factor importante en la reorganización dentro de la semilla, y clasifica en tres grupos a las semillas, según su respuesta a la luz: a) las que requieren luz; b) las que son inhibidas por ella; c) las que son indiferentes a ésta. Kolk (1947), citado por Waizel (1970), las divide en cuatro grupos: a) las que germinan con luz brillante o débil; b) las que responden favorablemente ya sea con luz débil u oscuridad; c) las que sólo requieren baja intensidad luminosa; y d) las que siendo jóvenes no son afectadas por la luz, y las que siendo viejas reaccionan positivamente a baja intensidad luminosa.

- ee) Temperatura: La influencia de la temperatura así como del fotoperíodo en el ambiente de la semilla puede explicar la germinación y mejorar las alternativas del establecimiento de las plántulas. Entre los factores externos que influyen sobre la germinación, la temperatura posee gran importancia, pues determina el nivel de las relaciones bioquímicas, así como la imbibición e intercambios gaseosos. Mc. Donough (1977) citado por Musálem (1985), menciona que la germinación es posible bajo un amplio rango de temperaturas entre los 0° y 70°C y el rango óptimo, generalmente se encuentra a la mitad del rango extremo o ligeramente menor (10° a 30°C). Los tiempos y tasas de germinación se ven influidos por la temperatura y generalmente son más rápidos en la parte más alta del rango favorable de germinación. Así, los niveles de temperatura determinan si la germinación ocurrirá en suelo favorable temporalmente o si se requieren condiciones

favorables más prolongadas. En general, de acuerdo con sus exigencias de temperaturas, es posible clasificar las plantas en tres tipos (Hartman y Kester, 1975): a) Aquellas cuyas semillas germinan sólo en temperaturas relativamente bajas; b) aquellas que germinan sólo en temperaturas relativamente altas; y c) Las que germinan en una amplia gama de temperaturas altas o bajas. Krugman et al. (1974) citados por Niembro y Fierros (1990), mencionan que el efecto de la temperatura en la germinación se puede apreciar a través de las temperaturas cardinales de germinación, las cuales son las temperaturas mínima, óptima y máxima en donde la germinación toma lugar. Dichas temperaturas varían de acuerdo con la especie, entre procedencias, rodales y entre árboles de una especie en particular. Las temperaturas cardinales son las mínimas por debajo de las cuales no es detectable una función; las máximas por arriba de las cuales no se detecta dicha función; y las óptimas son cuando la función progresa a la mayor velocidad. Las temperaturas cardinales también varían con la edad de la planta, con su condición fisiológica, con la duración de los niveles particulares de la temperatura y con las variaciones de otros factores del ambiente (Daubenmire, 1986), por lo que su definición sobre una especie en particular es difícil, ya que la temperatura influye tanto en la capacidad germinativa, como en la velocidad e inicio de la misma (Hartman y Kester, 1975). Niembro (1986), señala que la temperatura arriba de la óptima ocasiona que las reservas del gametófito femenino sean consumidos con mayor rapidez y no sean debidamente asimilados por el embrión. En consecuencia las plántulas resultantes son pequeñas y débiles. De igual manera, las bajas temperaturas reducen la actividad metabólica del embrión, lo cual trae por resultado que al

final de la germinación se encuentren porciones de tejido nutritivo sin ser utilizado.

ff) Sustrato. Las semillas para germinar toman el agua del sustrato; el área de contacto entre la semilla y el suelo es afectada por la forma de la semilla y uniformidad de la cubierta exterior (Cervantes, 1986). Niembro (1986), indica que la temperatura del suelo ejerce notable influencia en la germinación y crecimiento inicial de las plántulas; anota el autor que se ha demostrado que a medida que aumenta la temperatura del suelo se incrementa la actividad metabólica del embrión. Cetina (1984), señala que la parte superior de los suelos conocida como mantillo, está compuesto principalmente de material orgánico; su composición y profundidad depende del tipo de bosque y la humedad depende de la composición del mantillo. La parte inorgánica del sustrato conocida como suelo mineral, generalmente se encuentra debajo del mantillo y sus características físicas y químicas dependen del material rocoso que lo origina. En relación a esto, Herman (1980) citado por Cervantes (1986), señala que los suelos minerales resultan ser mejor cama semillera para la mayoría de las coníferas, en comparación con los materiales orgánicos, lo cual puede deberse a que la humedad disponible es más alta en suelos minerales, ya que la temperatura de éstos es más estable, las cuales rara vez alcanzan 38°C, en comparación con los suelos orgánicos que pueden llegar hasta 66°C cuando están expuestos al sol directo.

D. Importancia de la temperatura en la germinación de especies forestales

La importancia de la temperatura en relación con el crecimiento de las plantas ha sido reconocida desde hace mucho tiempo, pero sólo recientemente se ha iniciado la comprensión de la manera en que lo afecta. En un tiempo se pensó que el efecto de la temperatura podría ser explicado por las temperaturas diarias promedio, suplementado por las máximas y mínimas indicativas de los extremos; en otras ocasiones el efecto de las temperaturas se asoció en términos de los grados diarios o suma de calor, obtenido por la suma de las temperaturas promedio diarias y durante la estación de crecimiento (Villagómez, 1987). De acuerdo con Kramer (1958) citado por Villagómez (1987), estas suposiciones no son verdaderas, puesto que parten del hecho de que las relaciones entre el crecimiento y la temperatura son similares en todos los estadios del crecimiento, por lo que es más conveniente hablar de términos de termoperiodismo en relación a cada estadio fenológico. en este sentido y en relación a la germinación, ésta generalmente ocurre en un cierto rango de temperaturas, cuya amplitud y valores dependen de cada especie, procedencias, las condiciones de formación de las semillas, y aún más por factores hereditarios.

El óptimo de temperatura para la germinación puede variar entre poblaciones de una misma especie y aún entre árboles que crezcan en el mismo rodal (Patiño et al., 1983); los mismos autores citan que en un caso estudiado por Olson et al. (1959), utilizando dos procedencias de *Pinus ponderosa* encontraron que en la población de las Montañas Rocallosas del Este, la germinación óptima ocurrió entre 25° y 30°C, mientras que las semillas de la población del Noreste del Pacífico la germinación ocurrió a 36°C.

El conocimiento de la influencia de la temperatura además del fotoperiodo, sobre semillas en el medio ambiente natural, puede explicar la germinación y mejorar el establecimiento de plántulas (Musálem, 1984); en este sentido, el conocimiento de las temperaturas cardinales puede ser un parámetro para la selección y ubicación de especies y procedencias en las plantaciones; si existe opción de controlar la temperatura (invernaderos y viveros), se puede incrementar la germinación total y velocidad de germinación en beneficio de la producción de plantas; así mismo, es útil en las recomendaciones silvícolas tendientes a mejorar la germinación, en el manejo de masas naturales.

En relación a lo anterior, Mastache (1988) citado por Ruiz et al. (1990), señala que la temperatura del suelo es altamente modificada por la apertura del dosel, encontrándose temperaturas hasta de 36°C en áreas cortadas a matarrazas; temperaturas que son letales en plántulas de *Pinus montezumae* (Musálem, 1984). Velázquez et al. (1986), observó que para *Pinus hartwegii*, las mejores temperaturas de germinación se presentan en doseles cerrados.

Daniel et al. (1982), mencionan que la germinación es más rápida cuando la temperatura se encuentra entre los 18' 25°C y la velocidad no necesariamente aumenta al elevarse la temperatura. Se ha descubierto que la germinación se produce mejor en general, cuando la temperatura fluctúa y no permanece constante.

Hatano y Asakawa (1964) citados por Niembro y Fierros (1990), señalan que las semillas bajo condiciones naturales están expuestas a fluctuaciones diarias de temperatura, en algunos lugares tales fluctuaciones varían de menos del punto de congelación durante la noche, hasta los 40' a 45°C durante el día. Estas fluctuaciones térmicas o termoperiodo estimulan la

germinación de numerosas especies leñosas. Waizel (1970), menciona que la temperatura óptima en *Pinus strobus* var. *chiapensis* Mtz. está entre los 25° y 30°C, recomendando una fluctuación entre un mínimo de 19°C y un máximo de 32°C durante el día.

Hartman y Kester (1975), citan que las semillas de diversas especies tienen distintas amplitudes de temperaturas dentro de las cuales germinan, definiéndolas como:

- a) Temperatura óptima es aquella en que ocurre el máximo porcentaje de germinación en el menor tiempo posible;
- b) Temperaturas altas y bajas, son aquellas en las que puede ocurrir germinación pero el porcentaje disminuye;
- c) Temperaturas muy bajas y muy altas, son las que ocasionan que la germinación no ocurra en todas las semillas.

Musálem (1984), señala que el género *Pinus* germina en un rango de temperaturas entre los 20° y 30°C, con una temperatura óptima de 22°C y cita que Larson (1961), encontró que una helada destruyó 52% de las semillas de *Pinus ponderosa* en un experimento de siembra directa. Daniel et al. (1982), indican que la influencia de altas o bajas temperaturas, incrementa el riesgo de daño a la semilla y cuando la semilla se encuentra embebida y está germinando, estas temperaturas pueden ser letales.

Serrano (1986), cita que la temperatura influye en la germinación de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw., tanto en sus porcentajes finales, como en los días a inicio de la misma, y determinó que el rango de temperaturas varía de 10° a 35°C, mientras que el rango óptimo se encuentra entre los 15° a 30°C. Solórzano (1987), mencionó que el *Pinus hartwegii* germina bien en un amplio rango de temperaturas (10° a 35°C), teniendo su rango óptimo

entre los 15° y 30°C; al igual que Serrano (1986), el autor indica que la temperatura afecta el porcentaje y días a inicio de la germinación. Sánchez y Cetina (1989), al evaluar el efecto de la temperatura en la velocidad y porcentaje de germinación en *Pinus cembroides* Zucc., con temperaturas de 20, 25, 30, 35 y 40°C, determinaron que la de 20°C obtiene los más altos índices de porcentaje y velocidad de germinación y que a medida que se incrementa la temperatura, estos disminuyen.

Kamra y Simak (1968) con *Pinus sylvestris* de 10 orígenes geográficos, ubicados entre latitudes de 47° y 57°, probaron temperaturas constantes de 20, 25, 30 y 35°C y temperaturas alternas de 20° a 30°C, concluyendo que la temperatura de 20°C fue la más aceptable; así mismo observaron que a temperaturas de 30°C el porcentaje de germinación disminuye a la mitad y a 35°C la germinación se abate totalmente. De forma complementaria comprobaron los autores el efecto del origen geográfico, ya que las procedencias de latitudes más sureñas y de baja elevación, fueron más sensitivas a las temperaturas en comparación con las de latitudes más norteñas y de elevación mayor. Villagómez (1987), menciona que los mismos autores, en una investigación con semillas de *Picea abies* de diferentes orígenes geográficos, encontraron efectos similares sobre el porcentaje de germinación final: de los tratamientos de temperaturas constante (15, 20, 25, 30 y 35°C) y temperatura alterna de 20° a 30°C, sólo las temperaturas constantes extremas de 30° y 35°C redujeron la germinación o la abatieron por completo; en los efectos sobre la velocidad de germinación, encontraron que la velocidad de germinación es mayor a 20°C y a temperatura alternante de 20° a 30°C, las temperaturas de 15° y 20°C mostraron velocidad germinativa más lenta.

Niembro y Fierros (1990), señalan que diversos investigadores han estudiado las temperaturas cardinales de algunas especies de pinos, los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro # 1.

Cuadro # 1

Temperaturas cardinales de germinación para las semillas de algunas especies de Pinus.

E S P E C I E S	T E M P E R A T U R A S (°C)			A U T O R
	MINIMA	OPTIMA	MAXIMA	
<i>P. cembroides</i>	12.7	21.1	32.2	Kintigh, 1949
<i>P. strobus</i>	10.0	22.2	41.6	Fraser, 1974
<i>P. resinosa</i>	10.0	24.4	43.3	Fraser, 1974
<i>P. banksiana</i>	7.2	23.8	43.3	Fraser, 1974
<i>P. palustris</i>	13.0	18.0	35.0	Barnett, 1979
<i>P. elliotii</i>	13.0	24.0	35.0	Barnett, 1979
<i>P. taeda</i>	13.0	18.0	35.0	Barnett, 1979
<i>P. echinata</i>	13.0	18.0	35.0	Barnett, 1979
<i>P. montezumae</i>	10.0	25.0	35.0	Musálem, 1984
<i>P. ayacahuite</i>				
var. <i>veitchii</i>	10.0	30.0	35.0	Serrano, 1986
<i>P. hartwegii</i>	10.0	30.0	35.0	Solórzano, 1987

Fuente: Niembro y Fierros, 1990.

Bonner (1975), trabajó con *Fraxinus americana* de tres orígenes geográficos, encontrando que temperaturas alternas de 10°-30°C y 15°-25°C, provocan una mejor germinación en comparación con la temperatura alterna de 20°-30°C.

E. Importancia del estudio de procedencias

El Hombre a través de su historia, ha cultivado un sinnúmero de especies fuera de su habitat natural para usos alimenticios, ornamentales, domésticos e industriales. En el ámbito forestal, la introducción de nuevas especies de plantas ha jugado un papel importante en el mejoramiento de muchas especies. Las especies exóticas han sido utilizadas tanto para el establecimiento en forma directa de plantaciones comerciales, como para los programas de mejoramiento con el propósito de obtener ganancias genéticas en uno ó más caracteres deseables en especies nativas (Patiño, 1978). Sin embargo, las poblaciones de árboles están adaptadas a las condiciones ambientales y el traslado de una población, de un ambiente a otro diferente, puede resultar en grandes pérdidas o fracaso total. Por tanto, al seleccionar las especies para poblar o reforestar algún sitio, se deberá tomar en cuenta lo siguiente (FAO, 1975):

- a) La finalidad de la plantación y el tipo de producto requerido;
- b) Cual es la especie que puede crecer bien en las condiciones climáticas y edáficas de la tierra disponible;
- c) La facilidad con que las especies puedan cultivarse y establecerse, su rentabilidad relativa y la utilidad que ésta tenga.

Dado que las especies arbóreas se encuentran en condiciones ambientales diferentes dentro de su distribución, bajo competencia con otras especies de plantas, con diversos grados de plagas y enfermedades, y la ocurrencia de incendios son variables, estas especies se encuentran con presiones de selección frente a las cuales las poblaciones de árboles deben adaptarse para sobrevivir. Por lo que la mayoría de las especies forestales ha generado una aptitud genética muy alta, formando

cada especie poblaciones locales que tiene la adaptación específica, frente a las condiciones ambientales donde crece (Nienstaedt et al., 1990).

La procedencia o las variaciones de los árboles de una misma especie en su rango de distribución, ha sido reconocida desde hace mucho tiempo. Estas variaciones dentro de una especie son exhibidas como caracteres morfológicos ó genéticos expresados en las diferencias existentes entre tamaño del árbol, tipo de corteza, hojas, cono, o bien el grado de coloración en las hojas jóvenes, corteza, yemas y ramillas.

Aunque los individuos de una raza son algo similares debido a su herencia retrospectiva o a presiones de selección, de ninguna manera son genéticamente idénticas. En general, existen grandes diferencias individuales en el genotipo y con frecuencia con el fenotipo entre los árboles de cada raza; ésta heterogeneidad permite que la selección de árboles individuales dentro de las fuentes sea eficaz. Por ejemplo, la mayoría de las procedencias de altas latitudes crecen lentamente, pero tienen mejores árboles, con fustes rectos y ramas más pequeñas, que las de latitudes más bajas, además toleran el clima frío, que mataría o dañaría a los árboles adaptados a bajas latitudes (Zobel y Talbert, 1988).

Todo esto encierra diferencias genéticas entre grupos de individuos, los cuales pueden manifestarse cuando todos se reúnen en un ambiente común, debido a que su genotipo está diferencialmente adaptado para responder a ciertos estímulos ambientales. Desafortunadamente, la selección natural no ha favorecido la adaptación hacia aquellos caracteres o formas de valor económico para el hombre, sino hacia la supervivencia de las propias especies (Plancarte, 1990).

Hartman y Kester (1975), señalan que el verdadero valor genético de una fuente de semilla sólo puede estar establecido mediante pruebas de procedencias; y Warwick y Legates (1980) citados por López (1986), definen a las pruebas de procedencias, como la estimación del valor genético o constitución de individuos, mediante la medición del comportamiento, la apariencia u otras características de una muestra de la procedencia.

Patiño y Garzón (1976), señalan que es necesario efectuar dos o tres ensayos de fuente de semilla o procedencias para determinar el origen óptimo, en virtud de la variabilidad de las especies y del medio ambiente. También es necesario reconocer la diferencia existente entre procedencia y fuente de semilla, de lo contrario pueden cometerse importantes y costosos errores durante la siembra, ya que la procedencia denota el área geográfica original de la cual se obtuvo la semilla u otros propágulos (Zobel y Talbert, 1988); y la fuente de semilla, denota la procedencia o raza geográfica, de la que se obtuvo la semilla u otro propágulo.

Burley (1970) citado por Patiño y Garzón (1976), señala que los ensayos de procedencias tienen cinco objetivos, que son:

- a) Determinar la extensión y patrones de la variación genética en tantos caracteres como sea posible y a través de lotes de semilla recolectados en el rango de distribución de la especie.
- b) Determinar el efecto de estos caracteres en diferentes condiciones climáticas dentro del rango de distribución de la especie y evaluar la importancia de las interacciones entre las procedencias y el medio ambiente.
- c) Comparar plantas procedentes de semilla recolectada en rodales naturales, con plantas derivadas de semilla recolectada en plantaciones, de lo cual se puede esperar obtener la constitución genética de la población.

- d) Jerarquizar y agrupar las procedencias dentro de cada localidad en orden de adaptabilidad y productividad. Los caracteres más importantes serán aquellos relacionados con la supervivencia y la resistencia a factores adversos del medio ambiente y bióticos, crecimiento, forma y rectitud.
- e) Este último objetivo puede estar en función de la cantidad de semilla disponible de cualquier procedencia, ya que si ésta es pequeña, bien se puede obtener a través de los ensayos de campo material de buena calidad para la iniciación o continuación de un programa selectivo de mejoramiento de árboles. La diferencia entre procedencias pueden ser pequeñas, así que la selección de árboles individuales puede efectuarse sobre el ensayo completo, pudiéndose proceder sin observar cada procedencia en particular.

Pero a fin de evitar tener grandes pérdidas económicas y de tiempo, se deben usar las siguientes reglas (Nienstaedt, 1990):

- a) No trasladar una especie de un clima marítimo o mediterráneo a un clima continental. Las diferencias de las temperaturas y la precipitación, son muy grandes y los árboles no pueden aceptarlas fácilmente.
- b) No trasladar una especie de un clima uniforme con pocas fluctuaciones de lluvia y temperatura a un clima con fluctuaciones grandes.
- c) No trasladar una especie de elevaciones altas o latitudes altas a elevaciones bajas o latitudes bajas. Sin embargo, poblaciones de elevaciones bajas o latitudes bajas pueden ser trasladadas a latitudes más bajas y elevaciones más altas.
- d) No trasladar una especie de suelos básicos a suelos ácidos (o de suelos arenosos a arcillosos).
- e) La homología de las condiciones de los ambientes de origen de de la región de establecimiento es muy importante.

Aunque siempre es necesaria una gran investigación, las actividades en las pruebas de procedencias han sido satisfactorias y los resultados muy provechosos. Para cualquier programa de mejoramiento genético forestal es fundamental obtener información acerca de la mejor fuente de semilla. Las ganancias genéticas de un programa convencional de mejoramiento son determinadas o restringidas por la calidad de la raza geográfica o fuente de semilla utilizada. Lo ideal es emprender un programa intensivo de mejoramiento genético hasta que se conozca la mejor procedencia. En la práctica esto no es posible, pero pueden obtenerse buenas ganancias si se efectúa el desarrollo adecuado de la raza local introducida, aun cuando es posible que la procedencia utilizada no sea muy buena (Zobel y Talbert, 1988).

Donahue (1990), al evaluar variación geográfica de *Pinus greggii* en relación a la acidez del suelo, utilizando procedencias agrupadas por la altitud de sus habitat naturales (baja y alta elevación) encontró, que las procedencias de baja elevación, crecen más rápido que las de alta elevación y que la especie está mejor adaptada a suelos ácidos. El mismo autor señala que en *Pinus greggii* Engelm., las investigaciones de este tipo han sido pocas, teniendo algunos resultados provechosos y otros contrastantes. Asimismo, señala que cuando la especie ha sido plantada en sitios diferentes a los de su habitat natural, ha presentado mejores crecimientos que en su medio natural; cita que Darrow y Coetzee (1983) en un ensayo de plantaciones en Sudáfrica, demostraron que el *P. greggii* puede tener un uso potencial para plantaciones comerciales, estableciéndose en algunos casos mejor que las especies nativas.

Los ensayos realizados en México indican que la especie¹ es tolerante a la sequía (Vargas, 1985; Vargas y Muñoz, 1988; López, 1990; y Cuevas et al., 1991) y es tolerante a plagas (González, 1978, citado por Malagón, 1990).

F. Factores ecológicos y genéticos que influyen en la variabilidad de las plantas

La variación natural es la materia prima del mejoramiento genético forestal; sin variación en la adaptabilidad a condiciones ambientales, la velocidad de crecimiento, las características de la madera o en la resistencia a enfermedades o plagas, no sería posible producir genotipos con crecimiento rápido, resistentes a plagas y enfermedades y bien adaptados a las condiciones ambientales.

La variación en los árboles está asociada con la variación de las condiciones del medio ambiente a través del rango de distribución de la especie, lo que produce plantas genéticamente variables. Si una especie cubre un rango de distribución amplio con condiciones variables, es casi seguro que existirán diferencias entre los árboles, como una respuesta de la especie al adaptarse a un determinado habitat; así que individuos de una misma especie vegetando en condiciones ambientales diferentes, pueden desarrollar diferentes hábitos de adaptación a los diferentes factores climáticos del mismo ambiente, tales como humedad, luz y temperatura.

Ocampo (1987), señala que las respuestas germinativas de las semillas pueden variar mucho por influencia del medio ambiente,

¹En el Anexo A, se presentan los principales aspectos considerados por Webb (1980), para ensayos de procedencias de *Pinus greggii*.

pero esa variación tiene límites que son controlados genéticamente. Wright (1964) citado por Ruiz (1989), menciona que la semilla proveniente de una región más seca presenta semillas más grandes; y Niembro et al. (1978), señalan que los factores de calidad de la semilla, como la capacidad germinativa, el tamaño inicial de las plántulas y la potencialidad de conservar las características genéticas sobresalientes, están sujetos a múltiples variaciones inherentes a la procedencia de la semilla. A parte de las variaciones genéticas, las semillas presentan otro tipo de variaciones, causadas por ciertas deficiencias en los mecanismos de traslocación de alimentos hacia el fruto y las semillas, provocadas por condiciones climáticas adversas.

Zobel y Talbert (1988), señalan que la variación genética en los rodales naturales se debe a cuatro grandes fuerzas; dos que aumentan la variación, que son la mutación y el flujo génico; y dos que la disminuyen, que son la selección natural y la deriva genética:

- a) Mutaciones. Una mutación es un cambio heredable en la constitución genética de un organismo, que por lo común se presenta a nivel del gene. Dado que la constitución genética de un individuo está determinada por la acción e interacción de miles de combinaciones génicas y alélicas, las mutaciones ocurren con bastante frecuencia en cualquier punto de un organismo, pero esto no suele ocurrir para cualquier gene específico o complejo génico, o bien para una característica dada de un individuo. La mayoría de las mutaciones son deletéreas y muchas son eliminadas por la población. Sin embargo, algunas mutaciones son retenidas, debido a que son recesivas y no pueden reconocerse o detectarse, a menos que se encuentren

en la forma homocigótica. Estas mutaciones recesivas o neutrales normalmente no alteran un sistema genético integrado como lo haría una mutación dominante, permaneciendo en la población por varias generaciones. Las mutaciones ocurren más o menos al azar y aunque pueden ser raras y pequeñas, originan una variación que quizá hace que un individuo se adapte mejor a medida que los ambientes cambian.

b) Flujo génico (migración génica). Es la migración de alelos de una población o especie hacia otra, donde pueden faltar o estar con una frecuencia distinta. Las principales causas del flujo génico son el movimiento del polen o las semillas. Este es importante en las poblaciones naturales y causa diferentes cambios en los patrones de variación. La acción combinada del flujo génico y la recombinación genética es la fuente de inmediata de mayores patrones de variación en muchas poblaciones, aun cuando la fuente final de variación sea la mutación.

c) Selección natural. La selección natural es una importante fuerza que suele reducir la variabilidad, puesto que determina qué árboles crecerán y se reproducirán; tiene efecto direccional (no al azar) sobre la constitución genética de una población. La selección natural favorece a aquellos individuos que poseen combinaciones génicas que los hacen estar mejor adaptados para crecer y reproducirse en un determinado ambiente. Aunque normalmente es un proceso que disminuye la variabilidad, la selección natural en realidad preserva o aumenta la variabilidad si favorece la heterocigosis.

d) Deriva genética. La deriva genética es un mecanismo complejo que opera a través de fluctuaciones aleatorias (no fluctuaciones causadas por presiones de selección) en la frecuencia de alelos de una población; ésta no es direccional y tiende a crear "desorden". Es esencialmente un fenómeno de muestreo, en el que las frecuencias génicas de las poblaciones de progenie se desvían al azar de las encontradas en las poblaciones parentales. Dichas poblaciones casi siempre son pequeñas y muestran una tendencia hacia la fijación o pérdida de un alelo que afecta a una característica.

Nienstaedt (1990), divide la variación en dos grupos:

- a) La variación genotípica y fenotípica. Factores internos y ambientales controlan la variación. El factor interno (genotipo) tiene los genes que determinan las propiedades hereditarias de un individuo. El fenotipo, por otro lado, es el tipo de árbol en cuanto a sus características sensibles, apreciables directamente por nuestros sentidos.
- b) La variación adaptativa y no adaptativa. Los factores ambientales tienen un valor selectivo y determinan los genotipos que sobreviven y la expresión fenotípica de los genotipos. Son las fuerzas de la selección natural las que han resultado en el desarrollo de poblaciones de árboles con adaptación a ambientes específicos. La adaptación puede ser muy precisa y por esta razón no es posible mover una población de un ambiente a otro, sin disminución del crecimiento o si el ambiente nuevo es muy diferente en comparación con el original, el fracaso será completo.

La existencia de variación se puede definir en varios niveles: variación geográfica, de localidad, individual y dentro de individuos.

- a) Variación geográfica. Representa las diferencias fenotípicas entre árboles nativos que crecen en localidades diferentes del área de distribución de una especie, donde la cantidad de variación está determinada por la extensión del área de distribución de las especies y diversidad ambiental dentro de la misma, así como la presencia y extensión de barreras geográficas (Wright, 1976).
- b) Variación de localidad. Esta se presenta debido al flujo de genes entre poblaciones adyacentes, donde la cantidad de transferencia de genes se hace más probable conforme las poblaciones se hallan más estrechamente relacionadas espacial y genéticamente (Mettler y Gregg, 1972).
- c) Variación individual. Esta se presenta entre los individuos de una localidad donde existen condiciones ambientales más o menos uniformes. La variación puede deberse a diferencias génicas, especialmente en lo relativo a los rasgos de pariedad como forma y adaptabilidad; o diferencias microambientales como competencia, la textura o nutrientes del suelo.
- d) Variación dentro de individuos. Esta se presenta en los individuos de una localidad, donde existen condiciones ambientales más o menos uniformes, debido a diferencias en sus características, que guardan relación con la posición que ocupa en el árbol o edad del mismo (Critchfield, (1957).

La forma y magnitud de las variaciones en los niveles anteriormente señalados, conforman la variación natural de una especie, la cual corresponde a un patrón de variación que puede ser clinal o ecotípica. Nepamuceno et al. (1989), citan que la variación biológica se traduce concretamente en la amplia gama de taxa biológicas existentes y la impresionante diversificación correspondiente dentro y entre los taxa. Esta variación resulta ser la parte complementaria de la herencia y pueden considerarse los dos aspectos, uno estático y otro dinámico; la variación como aspecto estático, es la diversidad observable entre individuos y entre poblaciones de una especie, o la diversidad entre especies distintas; la variación en su aspecto dinámico, es un proceso que implica que el desarrollo de los individuos pueda verse modificado por influencias ambientales y que la herencia también puede modificarse por recombinación genética y mutaciones.

En *Pinus greggii* se han desarrollado pocos estudios de variación, sin embargo los resultados obtenidos han sido importantes. Vargas (1985), evaluó respuesta a sequía en cuatro especies de pino en estado de plántula, encontrando que el *P. greggii* presentó una mayor capacidad para soportar las condiciones de sequía, teniendo el mayor número de raíces laterales vivas, mayor potencial hídrico y ligeramente más transpiración; y detectó una fuerte variación *inter* e *intra* específica en las características anatómicas, fisiológicas y del crecimiento de las plántulas. Ruiz (1989) al evaluar variación de caracteres juveniles en 42 familias de *P. greggii*, observó que para la variable porcentaje de emergencia de plántula, existe variación altamente significativa entre procedencias.

Malagón (1990), evaluó la variación morfológica y de la germinación con cuatro procedencias de *P. greggii*, encontrando que en la longitud de las acículas hay variación a nivel de

poblaciones e interprovincial; variación interprovincial en el peso y longitud de los conos. Para los índices de capacidad y velocidad germinativa, existieron diferencias asociadas a las procedencias. Plancarte (1990), evaluó variación en longitud de cono, peso de semilla y de la germinación, en tres procedencias de *P. greggii*, obteniendo resultados similares a los de Malagón (1990) para longitud del cono; para peso y tamaño de la semilla observó que hay mayor variación a nivel de árboles que de procedencias; para capacidad germinativa e inicio de la germinación, no observó variación, lo que difiere con Malagón (1990), tal vez debido que el autor, utilizó pretratamiento de remojo de semillas (48 hr.) antes de la siembra y, control de termoperíodo y fotoperíodo en la germinación.

G. Interacción Genotipo-Ambiente (GA) y estabilidad

La interacción Genotipo-Ambiente (GA) posee un gran interés en el mejoramiento genético forestal y en la prueba de procedencias. Este se puede definir como la falta de uniformidad en el rendimiento relativo a clones, familias, procedencias o especies, cultivadas en dos o más ambientes; es decir, este término se utiliza para describir la situación donde existe un cambio en el rendimiento de determinados genotipos cuando se cultivan en diferentes ambientes (Zobel y Talbert, 1988; Quijada, 1980).

La interacción GA, puede involucrar competencia e interacción entre genotipos y factores abióticos del sitio, entre genotipos y agentes bióticos y entre genotipos y tratamientos silvícolas (Morgestern, 1982). Nepamuceno et al. (1989), mencionan que pueden ser muy diversas las causas de la interacción, pero en sentido general, se asocian a factores climáticos o factores del suelo, incluso pueden modificarse con el tiempo, debido a que los

sitios no mantienen constantes sus condiciones ambientales en el transcurso del tiempo. A la vez, llega a ocurrir que a pesar de la presencia de grandes diferencias ambientales, no se detecta la respuesta de interacción GA, lo que conduce a suponer la existencia de estabilidad en los genotipos.

Zobel y Talbert (1988), mencionan que es fundamental no considerar a las verdaderas interacciones GA como una simple respuesta a las diferencias ambientales, donde la condición entre familias probadas permanece esencialmente sin cambios, aún cuando los rendimientos promedio de las familias en los diferentes ambientes varíen ampliamente, ya que un error común es referirse a las diferencias de rendimiento de un sitio a otro como una interacción GA.

Quijada (1980), señala que la interacción puede considerarse como un indicador de la estabilidad relativa de un genotipo. Si la interacción se aproxima a cero los genotipos son bastante estables para las características en consideración, o sea que sus posiciones relativas y las diferencias en magnitud de respuesta son similares en los diferentes ambientes; sólo cambia la magnitud misma de la respuesta que esta en función de los genotipos particulares (especies procedencias, individuos) y los sitios considerados.

La interacción GA puede expresarse mediante una extensión del modelo que relaciona el rendimiento fenotípico con los efectos genético y ambiental, ya que la expresión fenotípica (F) de todo ser vivo es debido a (Zobel y Talbert, 1988; Gómez, 1983):

$$F = G + A + GA$$

donde:

G = efecto genético

A = efecto ambiental

GA = efecto de la interacción genotipo-ambiente

La única forma de explicar el efecto de la interacción GA es realizar pruebas genéticas en más de un ambiente; los ambientes pueden consistir en diferentes localidades, diferentes años o diferentes tratamientos de manejo o preparación del sitio (Zobel y Talbert, 1988).

Entre los factores del medio que influyen en la detección de interacciones tenemos las condiciones del suelo, como los más sensibles, pues se detectan a nivel de interparcela, sobre extensiones relativamente pequeñas. Las condiciones climáticas necesitan puntos más extremos para ser detectadas; por ejemplo, variaciones limitantes de temperatura (baja o alta), de humedad (sequías o inundaciones), etc. (Quijada, 1980).

El conocimiento de la variabilidad genotípica causada por la interacción, tiene importancia en la regeneración de especies nativas, en la delimitación de zonas semilleras y en programas de mejoramiento; porque complica la selección y las pruebas de progenies, a parte de que puede limitar la ganancia genética (Morgenstern, 1982); los estudios de la interacción GA, pueden realizarse a nivel de procedencias, árboles individuales, familias y de genotipos idénticos obtenidos por propagación vegetativa (Nepamuceno et al., 1989).

A nivel de especie, las diferencias en cuanto a adaptabilidad a ambientes son mayores, o sea que hay especies que poseen un amplio espectro de adaptación, de manera tal que la detección de interacción necesita de pruebas sobre condiciones más amplias de

ambiente. Al reducir el espectro genético tales como los niveles de procedencias y progenies, las pruebas de interacción resultan más sensibles, por cuanto a los rangos de tolerancia se hacen menores y se refleja en diferentes reacciones ante pequeñas variaciones del medio (Quijada, 1980).

Gómez (1983), señala que las razones para estudiar el comportamiento de un grupo de genotipos bajo ambientes diferentes son:

- a) Agrupar los genotipos de acuerdo a alguna(s) variable(s) de interés, en general o en un ambiente específico.
- b) Demostrar la superioridad de algun(os) genotipo(s), en todos los ambientes ó en sólo un subconjunto de ellos.
- c) Determinar si la habilidad a mostrar una interacción mínima con el ambiente, es o no una característica genética.
- d) Estimar los parámetros de estabilidad para cada uno de los genotipos estudiados.

En las últimas décadas los genetistas reconocieron la importancia de la interacción GA y han desarrollado varios métodos estadísticos para estimar la adaptabilidad general o estabilidad, los cuales se han utilizado en diversos programas de mejoramiento genético (Gómez, 1983; Zobel y Talbert, 1988). Palomo y Molina (1975), señalan que entre los investigadores que han propuesto métodos para identificar variedades estables, o efectuado sugerencias para ayudar a la interpretación de dichos métodos, destacan: Plaisted y Peterson (1959), Finlay y Wilkinson (1963), Bucio (1966), Eberhart y Russell (1966), Betanzos (1970), Carballo (1970), Marquez (1973), entre otros.

Sin embargo Gómez (1983), señala que la idea de separar una interacción en sus componentes, data desde el año de 1938, cuando

Yates y Cochran describieron el análisis de un grupo de experimentos donde consideran tres factores: años (A), localidades (L) y variedades (V); y muestran la metodología para separar las interacciones VL, VA y VLA; mencionando, que el grado de asociación entre las diferencias varietales y la fertilidad general (indicada como la media de todas las variedades), puede investigarse por el cálculo de las regresiones de la producción de las variedades por separado, sobre la producción media de todas las variedades.

Finlay y Wilkinson (1963) citados por Gómez (1983), mostraron que esas regresiones explican en gran parte la interacción VL, al estudiar la adaptación de 277 variedades de cebada en siete ambientes, usando un análisis de regresión lineal semejante al de Yates y Cochran, con la diferencia de que usaron la transformación logarítmica para inducir linealidad en las regresiones individuales y homogeneidad en los errores experimentales.

Eberhart y Russell (1966), considerando que en (a) ambientes se han comparado (v) genotipos y que en cada ambiente se ha utilizado un mismo diseño experimental, es decir, S_j^2 con $j = 1, 2, \dots, a$ en cada ambiente y utilizando los rendimientos promedio de cada genotipo, propusieron para estudiar la estabilidad de los genotipos, un modelo² en el que considera: el rendimiento promedio de las variedades inter e intra todos los ambientes; el coeficiente y desviaciones de regresión; y un índice ambiental que se calcula en base a la media de los genotipos en cada ambiente menos la media general del experimento. El modelo proporciona un medio para separar la interacción GA de cada variedad en dos partes a reconocer:

²El modelo propuesto por Heberhart y Russell (1966), se describe en el subcapítulo V.B.

- a) La variación debida a la respuesta de la variedad al variar los índices ambientales.
- b) Las desviaciones no explicadas por la regresión sobre los índices ambientales.

Los mismos autores señalan que la desventaja de usar los promedios de producción de todas las variedades, en un ambiente particular como índice ambiental es evidente cuando se considera la distribución de la prueba de semejanzas. Si pudiera obtenerse un índice independiente, basado en el conocimiento de la influencia de los factores ambientales y los cuadrados medios de las desviaciones fueran homogéneos, las pruebas de F y t serían seguras.

Algunos ejemplos de las investigaciones en que se estudia la interacción GA en especies forestales, utilizando los modelos de análisis combinatorio, se presentan a continuación:

Yeatman (1966) citado por Morgenstern (1982), realizó una serie de experimentos con *Pinus banksiana* en ambientes controlados, encontrando que hay interacción procedencia X fotoperiodo sobre la germinación. Así como interacción procedencia X temperatura e intensidad de luz, pero estas no son muy notables. Los análisis estadísticos estuvieron basados en regresiones y métodos de análisis multivariados.

Morgenstern y Teich (1969), evaluaron la estabilidad fenotípica en altura de crecimiento de 16 procedencias de *Pinus banksiana* en cuatro ambientes durante doce años, calculando la estabilidad por los métodos de Wricke (1962) y Eberhart y Russell (1966), observando que las procedencias de más al norte (47°-48° L.N.) y más al sur (44°-45° L.N.), presentaron mayor interacción con los ambientes, que las procedencias del centro (46° L.N.) que tienen

poca interacción; una razón aparente de estas diferencias, citan los autores, es la distancia de plantación con los sitios de origen, pues esta es menor para las procedencias centrales.

Snyder y Allen (1971), evaluaron la habilidad competitiva de 200 familias de *Pinus elliottii* Engelm. de dos años de edad, analizadas por el método de estabilidad genotipo-ambiente (Heberhart y Russell, 1966), sobre las variables fenotípicas de altura y diámetro de crecimiento; las familias estuvieron en condiciones de invernadero (ambiente controlado) teniendo como variables de tratamientos la humedad del sustrato y la luz. Ellos determinaron que hubo ineteracción GA y dividen las respuestas en tres tipos: a) coeficientes de regresión negativos (adaptación a los ambientes menos favorables); b) Coeficientes cercanos a 1.0 (adaptabilida a todos los ambientes); y c) Coeficientes positivos (adaptación a los ambientes más favorables).

Donahue (1990), evaluó variación geográfica en *Pinus greggii*, causada por la interacción pH del suelo X crecimiento; analizando las variables fenotípicas altura de plántula, diámetro de cuello de la raíz y el peso seco de la parte aérea, de seis procedencias divididas en 54 familias, sembradas en dos sustratos con pH controlado (4.5-5.5 y 6.5-7.5) bajo condiciones de invernadero, a un periodo de crecimiento de 150 días; de acuerdo al análisis de datos, se encontraron diferencias significativas a nivel de procedencia para todas las características analizadas, exepcto para el diámetro del cuello de la raíz. La variación entre familias fue significativa para todas las características. Las plántulas bajo pH ácido crecieron 33.6% más, tuvieron un incremento de 12.4% mayor en diámetro, y un incremento de 7.3% mayor en el peso seco que las plantas bajo pH alcalino.

V. MATERIALES Y METODOS

A. Material utilizado y Diseño experimental

La investigación se realizó en el Laboratorio del Proyecto de Investigación en Germoplasma Forestal, del Campo Experimental "COYOACAN", C.I.F.A.P.D.F., sito en Progreso # 5, Deleg. Coyoacán, Distrito Federal.

La semilla utilizada, se colectó en el año de 1987, en seis rodales naturales de *Pinus greggii* Engelm., abarcando todos sus sitios de distribución (Figura # 1), teniendo como procedencias o sitios de colecta: "El Piñón", Jacala y "Laguna Atezca", Molango, Hgo.; El Madroño y "Tres Lagunas", Landa de Matamoros, Qro.; "Los Lirios", Coah. (dos sitios); y "Las Placetas", Galeana, N.L. (Cuadro # 2). De cada sitio se colectaron conos de 10 arboles, realizando la extracción de semillas en el Campo Experimental "COYOACAN", teniendolas en refrigeración (4°C, promedio) hasta la fecha en que se realizó la siembra.

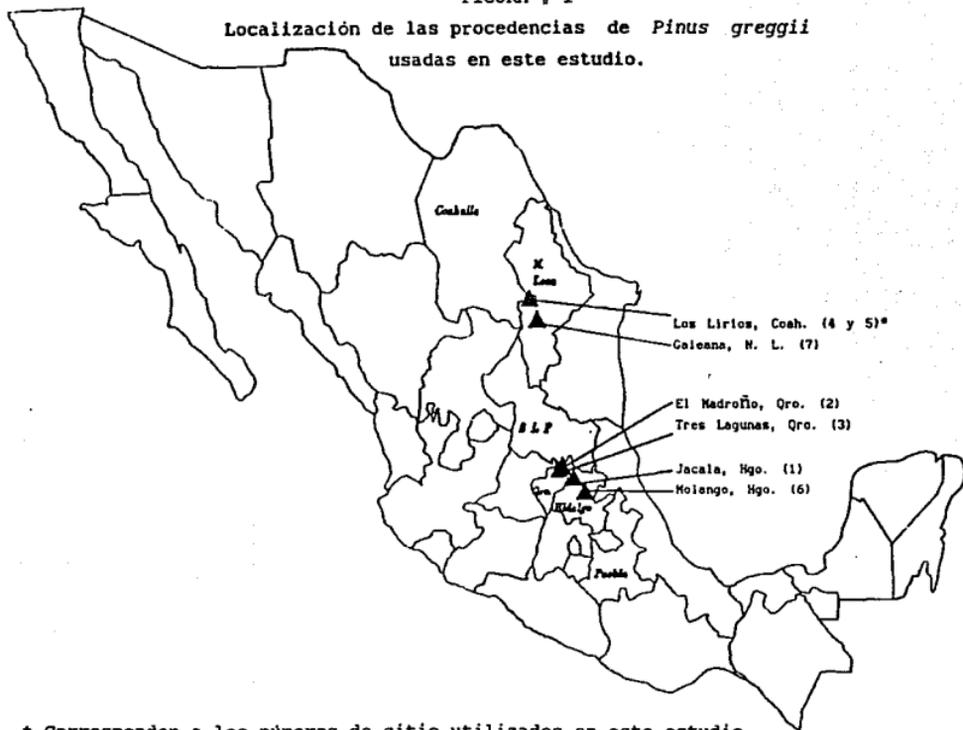
El Diseño experimental y la distribución de localidades queda de la manera siguiente:

1. Procedencias: Distribuidas en cada tratamiento por sitio de colecta como se describe a continuación:

Sitio 1	Jacala, Hgo.
Sitio 2	El Madroño, Qro.
Sitio 3	Tres Lagunas, Qro.
Sitio 4	Los Lirios, Coah.
Sitio 5	Los Lirios, Coah.
Sitio 6	Molango, Hgo.
Sitio 7	Galeana, N.L.

FIGURA # 1

Localización de las procedencias de *Pinus greggii*
usadas en este estudio.



* Corresponden a los números de sitio utilizados en este estudio.

Cuadro # 2

Localización y condiciones del medio ambiente de las procedencias de *Pinus greggii* incluidas en el estudio

PROCEDECIAS	LATITUD LONGITUD	ELEVACION (metros)	PRECIPITACION ANUAL (mm)	TEMPERATURA X ANUAL (°C)
Región central de México:				
El Piñon, Jucala,	21° 02' N	1850	723	18 - 20
Hidalgo (1)	99° 10' O			
El Madroño,	21° 16' N	1580	737	17.4
Querétaro (2)	99° 10' O			
Tres Lagunas,	21° 01' N	1750	737	17.4
Querétaro (3)	99° 13' O			
Molango,	20° 49' N	1350	1438	19.8
Hidalgo (6)	98° 46' O			
Región Noreste de México:				
Los Lirios,	25° 22' N	2360	418	12 - 14
Coahuila (4 y 5)	100° 29' O			
Galeana,	24° 55' N	2470	418	12 - 14
Nuevo León (7)	100° 11' N			

* Corresponden a los números de Sitio utilizados en este estudio.

Fuente: Ruiz, 1989; Donahue, 1990; Melagón, 1990.

2. Tratamientos: Tres temperaturas de germinación¹ constantes (10°, 20° y 30°C) y una oscilante de 24° a 29°; la oscilación de la temperatura en el cuarto tratamiento, se consideró tomando como base la desviación estandar de las temperaturas máximas y mínimas medias diarias, registradas en el termómetro de máximas y mínimas marca Foxboro. Cada tratamiento se consideró en un bloque por separado, colocándolo en una cámara de la germinadora marca Sedburó, controlada a la temperatura correspondiente (Figura # 2).

¹Por temperatura de germinación se entiende la temperatura en el punto o nivel donde se hayan colocado a germinar las semillas (FAO, 1956).

3. Unidad experimental: 50 semillas, colocadas en una caja de Petri de 10 cm. de diámetro por 1.5 cm. de alto; se utilizaron 112 cajas de Petri en total.
4. Diseño Experimental: Bloques al azar con 4 repeticiones.
5. Montaje del Diseño experimental: De las semillas colectadas en cada árbol y para cada sitio por separado, se tomó una muestra de 82 semillas, para ser mezcladas y posteriormente contar grupos de 50 semillas y colocarlas ordenadamente en las cajas de Petri, regarlas y meterlas en la cámara de germinación con la temperatura correspondiente (Figura # 3).

FIGURA # 2

Germinadora marca Seedburo, con dos cámaras.

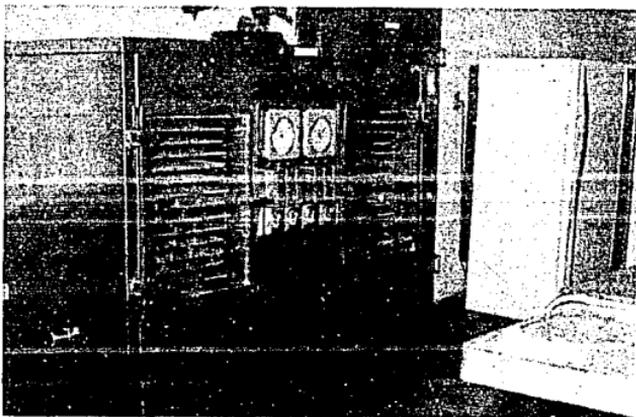


FIGURA # 3

Colocación de los tratamientos en la cámara de germinación.



6. Riegos: Un riego inicial con 2.5 a 3.0 ml. de agua destilada en cada repetición, revisando cada tercer día la humedad de las cajas de Petri, recuperándola conforme se requiera.
7. Parámetro de evaluación: Se consideraron semillas germinadas, aquellas en que la radícula tuviera igual o mayor tamaño, que la semilla original.
8. Periodo de conteos: El conteo de semillas germinadas se hizo diario, eliminando las que se contabilizaban.

B. Evaluación de datos

El cálculo de los índices o variables germinativas se realizó conforme al formato propuesto por Camacho y Morales (1985), tomando como base los siguientes índices:

1. **Capacidad germinativa (CG):** Que es el porcentaje final de germinación, resultante de la multiplicación de la suma acumulativa del número de semillas germinadas en cada conteo (A_i) hasta el último día de la prueba ($\sum G_i$) por una constante de transformación porcentual (C), la cual se obtiene dividiendo cien entre el número de semillas de la muestra (n):

$$CG = \sum G_i (100/n)$$

2. **Valor germinativo (VG):** Es una medida de la calidad de germinación resultante de combinar y ponderar la capacidad, velocidad y uniformidad germinativa. El índice de VG que se calculó, fue el propuesto por Maguire (1962), citado por Camacho y Morales (1985); que resulta de multiplicar la constante de transformación porcentual (C) por, la suma acumulativa de los cocientes obtenidos de dividir el porcentaje de germinación sencillo alcanzado en cada conteo (G_i) entre los días transcurridos desde la siembra (D_i):

$$VG = C \times \sum \frac{G_i}{D_i}$$

3. **Velocidad germinativa:** Es el tiempo transcurrido desde la siembra hasta un punto arbitrario sobre las curvas de germinación y es independiente de la CG. La velocidad germinativa se calculó tomando los índices de los Días Medios (DM) y los días a los cuartiles 25%, 50% y 75%, que son los índices más recomendables para evaluar el tiempo de germinación. Los DM se obtienen dividiendo, el valor acumulado de los resultados de la multiplicación del punto medio del tiempo transcurrido de la siembra a dos conteos sucesivos (PM_i) por el número de semillas germinadas entre ellos (G_i), entre la suma acumulativa del número de

semillas germinadas en cada conteo hasta el último día de la prueba (G_1):

$$DM = \frac{\sum PM_1 G_1}{\sum G_1}$$

Los días (D) a un porcentaje dado ($N\%$), se obtienen buscando en los datos de germinación acumulada diaria (A_1) el equivalente (E), que se calcula sumando uno al último valor de dichos datos ($\sum G_1$) y multiplicando el resultado por el porcentaje expresado en decimales:

$$E = (\sum G_1 + 1) \times (\% / 100)$$

si el valor de E se encuentra en los datos de A_1 se anotan los días correspondientes; si no se emplea la siguiente fórmula:

$$D N\% = d + \frac{(D - d) (E - a)}{A - a}$$

donde:

A = Valor de A_1 mayor más cercano a E

a = Valor de A_1 menor más cercano a E

D = Días requeridos para alcanzar A

d = Días requeridos para alcanzar a

4. Uniformidad de germinación: Es la magnitud de las diferencias en el tiempo de germinación de las semillas individuales de una muestra, se evalúa con medidas de dispersión. El índice de uniformidad germinativa calculado, fué el de la Desviación Estandar del tiempo de germinación (S), ya que es preferible emplear éste como medida de la uniformidad, que el índice del Período Germinativo (PG), que se obtiene restando los Días a Inicio (DI) de los Días al 100% ($DI100\%$), pues éstos se fundamentan en los valores extremos

del tiempo de germinación. La S, es la raíz de la siguiente fórmula:

$$S^2 = \frac{\sum G_i (PM_i) - \frac{(\sum G_i PM_i)^2}{\sum G_i}}{(\sum G_i) - 1}$$

Dado que en la temperatura de 10°C muchos tratamientos no tuvieron germinación, se decidió que para el análisis estadístico de las variables velocidad y uniformidad germinativa, no se incluyera esa temperatura, analizando únicamente los datos de las temperaturas 20°, 30° y 24° a 29°C. La razón por la que se no se incluyeron esos datos, fué que para esas variables, los valores de cero no son evaluables porque son valores indefinidos y al incluirlos causan confusión en la interpretación de resultados, pudiendo llegar a conclusiones erróneas. Sin embargo, para no eliminar totalmente los datos de la temperatura de 10°C, se presentan en el Cuadro # 9 los valores de la velocidad germinativa y CG observados en las cuatro temperaturas estudiadas, pero a fin de que dichos datos fueran representativos del comportamiento observado en la germinación a 10°C, en la obtención de promedios sólo se consideraron aquellos tratamientos en los que germinó al menos una semilla.

El modelo que se utilizó para realizar el análisis estadístico, a fin de estimar los parámetros de estabilidad en la germinación de *Pinus greggi* Engelm., fué el modelo propuesto por Eberhart y Russell (1966), que se define como:

$$Y_{ij} = V_i + B_i I_j + d_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = media varietal de la procedencia i en la temperatura j .
($i = 1, 2, \dots, v$; $j = 1, 2, \dots, n$)

V_i = media de la procedencia i sobre todas las temperaturas.

B_i = coeficiente de regresión que mide la respuesta de la variedad i a diferentes temperaturas.

I_j = Índice ambiental obtenido como el promedio de todas las variedades en la temperatura j , menos la media general.

Los parámetros de estabilidad son:

1. El coeficiente de regresión,

$$b_i = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2}$$

2. Las desviaciones de la regresión,

$$S^2_{di} = \left[\sum_j \hat{d}^2_{ij} / (n-2) \right] - S_e / r^2$$

donde: S^2_e / r es el estimador del error conjunto,

$$\sum_j \hat{d}^2_{ij} = \left[\sum_j Y_{ij}^2 - \frac{Y_{i.}^2}{n} \right] - \left(\sum_j Y_{ij} I_j \right)^2 / \sum_j I_j^2$$

El estadístico b mide el incremento promedio del carácter medido de una procedencia por unidad de incremento en el índice ambiental; S^2_{di} mide qué tanto la respuesta predicha está de acuerdo con la observada.

El análisis de varianza apropiado se presenta en el Cuadro 3. La comparación de medias de procedencias se hace bajo la hipótesis nula, $H_0: V_1 = V_2 \dots V_r$, y se prueba como, $F = CM_1 / CM_3$. En igual

forma, la hipótesis nula para la comparación de los coeficientes de regresión es,

$H_0: B_1 = B_2 = \dots = B_v$, y se prueba como $F = CM_2/CM_3$

Se prueba la diferencia respecto a 1, del coeficiente de regresión de cada procedencia usando la prueba de t.

Una prueba aproximada de las desviaciones de regresión para cada procedencia se obtiene como:

$$F = \frac{(\sum \hat{d}_{ij}^2 / n - 2)}{\text{error conjunto}}$$

La comparación específica de medias entre procedencias se efectuó por la prueba de Tukey.

En el presente estudio, una procedencia con germinación deseable es aquella que presentó un coeficiente de regresión $b_1 = 1$ y desviación de regresión $S^2_{d1} = 0$, así como los mejores índices de las variables de germinación analizadas, de acuerdo a lo siguiente:

1. Para CG y VG (Maguire), los mejores índices son los más altos.
2. En velocidad germinativa (D25%, D50%, D75% y DM), los mejores índices son los más bajos, que resultan ser los más rápidos.
3. Para uniformidad de germinación (S), los mejores índices son los más bajos, que corresponden a los menos dispersos.

CUADRO # 3

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DETERMINAR PARÁMETROS DE ESTABILIDAD
EN LA GERMINACIÓN DE *Pinus greggii* ENGELM.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO
TOTAL	$nv - 1$	$\sum \sum Y_{ij}^2 - F.C.$	
PROCEDECIAS (V)	$v - 1$	$\frac{1}{n} \sum Y_{ij}^2 - F.C.$	CM_1
TEMPERATURAS (A)	$n - 1$	$\sum \sum Y_{ij}^2 - \sum Y_{ij}^2/n$	
PROC. (V) X TEMP. (A) $(v - 1)(n - 1)$	$v(n - 1)$		
TEMPERATURA (lineal)	1	$\frac{1}{v} (\sum Y_{ij} I_j)^2 / \sum I_j^2$	
PROC. X TEMPERATURA (lineal)	$v - 1$	$\sum [(\sum Y_{ij} I_j)^2 / \sum I_j^2] - S.C.A. (lineal)$	CM_2
DESVIACIONES PONDERADAS	$v(n - 2)$	$\sum \sum s_{ij}^2$	CM_3
PROCEDECIA 1	$n - 2$	$\left[\sum Y_{ij}^2 - \frac{(Y_{ij})^2}{n} \right] - (\sum Y_{ij} I_j)^2 / \sum I_j^2$	
:	:		
:	:		
:	:		
:	:		
PROCEDECIA v	$n - 2$	$\left[\sum Y_{ij}^2 - \frac{Y_{ij}^2}{n} \right] - (\sum Y_{ij} I_j)^2 / \sum I_j^2$	
ERROR PONDERADO	$n(r - 1)(v - 1)$		

Las gráficas de las líneas de regresión se obtienen ajustando los valores de la variable analizada, empleando la fórmula

$$Y_{ij} = \bar{Y} + b_1 I_j$$

y se relacionan con los Índices ambientales (I), mismos que se evalúan de acuerdo con los parámetros descritos para las variables germinativas.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

A. Resultados

En los resultados de los análisis de varianza tanto individuales de las cuatro temperaturas de germinación estudiadas, como en los combinados para evaluar estabilidad de la germinación, existieron diferencias altamente significativas ($F \alpha 0.05$) entre las procedencias en todas las variables estudiadas. Asimismo, se observó que en el análisis combinado solo existió interacción Procedencia X Temperatura (P X T) en las variables de Valor germinativo ($F \alpha 0.01$) y Dias al 75% ($F \alpha 0.05$) (Cuadro # 4).

Cuadro # 4

Valores de F calculados para las Procedencias en los Análisis de Varianza individuales y combinados

TRATAN.	CG	VC	D25X	D50X	D75X	DH	S
Individuales							
10°C	5.55**	5.19**					
20°C	5.40**	92.35**	606.80**	267.00**	99.24**	153.70**	23.06**
30°C	39.34**	242.30**	14.58**	68.59**	39.46**	70.53**	9.31**
24-29°C	83.28**	271.20**	206.60**	728.40**	79.22**	225.40**	53.93**
Combinados							
PROC.	4.99**	18.91**	27.33**	22.33**	47.68**	34.14**	22.39**
INTERACC.	0.73	5.26**	1.70	1.18	4.85*	1.70	3.08

* Significancia estadística ($F \alpha 0.05$)

** Significancia estadística ($F \alpha 0.01$)

1. Capacidad germinativa (CG)

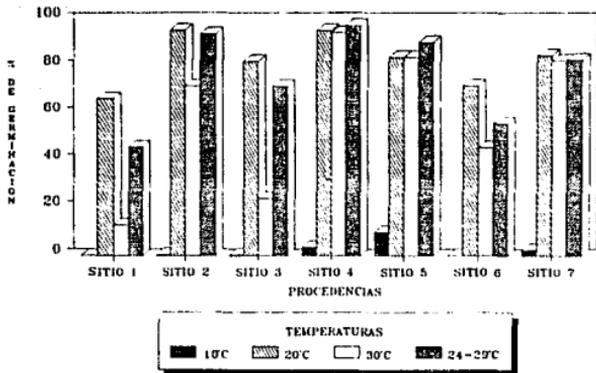
En este índice todas las procedencias tuvieron una CG muy baja en la temperatura de 10°C, de tal forma que los sitios 1 y 6 no tuvieron germinación, los sitios 2 y 3 obtuvieron promedios de 0.5%, el sitio 7 de 2.5% el sitio 4 de 3.5% y el sitio 5 que obtuvo la mejor CG, en esa condición obtuvo el 10% (Grafica # 1).

Así también en la temperatura de 30°C disminuyeron los promedios de CG de algunos sitios; el sitio 1 obtuvo 12.98%, el sitio 3, 24%; el sitio 6, 45.5%; y el sitio 2, 71.95%; éste último en las temperaturas de 20° y 24-29°C sus promedios fueron de los más altos ($\bar{X} = 94.7\%$); los sitios 4, 5 y 7 no presentaron grandes diferencias en su CG, entre las temperaturas de 20°, 30° y 24-29°C, pues la oscilación para el sitio 4 estuvo entre 94.4 y 97.5%, para el sitio 5 entre 84 y 90.5%, y para el sitio 7 entre 82.7 y 85%.

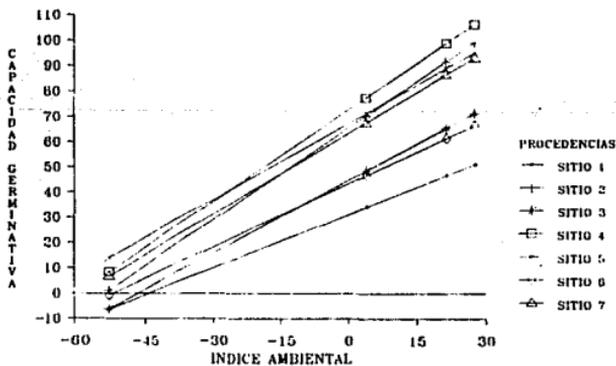
En el análisis estadístico existieron diferencias altamente significativas ($F\alpha 0.01$) entre medias de las procedencias, donde el porcentaje más alto se obtuvo en el sitio 4 ($\bar{X} = 72.71\%$) y el más bajo en el sitio 1 ($\bar{X} = 31.38\%$); no se presentaron diferencias estadísticas ($F\alpha 0.01$) entre pruebas de las procedencias sobre los índices ambientales, por lo que no hubo interacción P X T en la CG.

Los coeficientes de regresión son estadísticamente ($t \alpha 0.05$) iguales a 1.0 (Gráfica # 2); mientras que en las desviaciones de regresión, se observó que los sitios 1, 3, 4, 5 y 7, resultaron estadísticamente diferentes de cero ($F \alpha 0.01$), lo que indica que son inconsistentes en su respuesta a la variación de temperaturas en la germinación; y los sitios 2 y 6 tienen desviaciones de regresión estadísticamente iguales a cero ($F \alpha 0.01$), por lo que son estables en su CG (Cuadro # 5)

GRAFICA # 1: CAPACIDAD GERMINATIVA DE *Pinus greggii* ENGELM. EN 4 TEMPERATURAS



GRAFICA # 2. LINEAS DE REGRESION DE LA CAPACIDAD GERMINATIVA DE *Pinus greggii* ENGELM.



Cuadro # 5

Capacidad Germinativa y Parámetros de estabilidad

PROCEDECIAS	CAPACIDAD GERMINATIVA	COEFICIENTES DE REGRESION	DESVIACIONES DE REGRESION
SITIO 4	72.71	1.21	200.90**
SITIO 5	67.22	1.00	138.93**
SITIO 2	65.48	1.21	-3.37
SITIO 7	63.35	1.07	145.60**
SITIO 3	44.74	0.96	394.26**
SITIO 6	43.43	0.83	17.50
SITIO 1	31.38	0.71	354.43**

** Nivel de Significancia ($F \alpha 0.01$)

De acuerdo con la prueba de medias ($w \alpha 0.05$) los mejores índices de CG se obtuvieron en el sitio 4 sobre las temperaturas de 20°, 30° y 24-29°C ($\bar{X} = 95.45\%$); el sitio 2 en las de 20° y 24-29°C ($\bar{X} = 94.73\%$); y el sitio 5 en la de 24-29°C (90.475). Las CG más bajas se presentaron en la temperatura de 10°C, cabiendo resaltar que el sitio 5 obtuvo $\bar{X} = 10\%$, en tanto que los sitios 2, 3, 4 y 7 no rebasan el 3.5% y los sitios 1 y 6 no presentaron germinación, pero todos los sitios tuvieron promedios estadísticamente iguales (Cuadro # 6).

Cuadro # 6

Prueba de medias (Tukey) de la Capacidad germinativa¹

PROCEDECIAS	20°C	24°-29°C	30°C	10°C	PROMEDIO ²
SITIO 4	95.41a	97.47a	94.46ab	3.50ij	72.71a
SITIO 5	84.15cd	90.47abcd	84.25bcd	10.00ij	67.22ab
SITIO 2	95.50a	93.96abc	71.95e	0.50j	65.48abc
SITIO 7	85.03bcd	83.13d	82.73d	2.50j	63.35abc
SITIO 3	82.46d	72.00e	24.00h	0.50j	44.74d
SITIO 6	72.12e	56.10f	45.50g	0.00j	43.43d
SITIO 1	66.68e	45.85g	12.99i	0.00j	31.38e

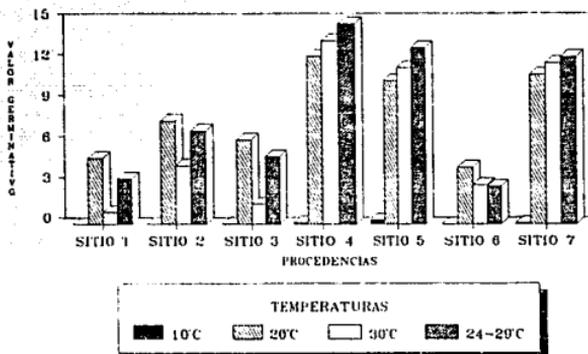
1 Valores de CG seguidos de letras iguales son estadísticamente iguales (α 0.05 = 10.26).

2 Estos valores se consideran en una prueba por separado.

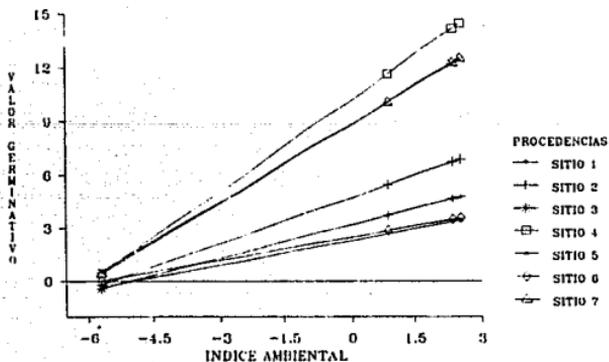
2. Valor germinativo (VG) de Maguire

Los más bajos índices de VG se observaron en los tratamientos a 10°C, donde: los sitios 1 y 6 presentaron valores de cero; los sitios 2, 3 y 7, no rebasaron el 0.1; el sitio 4 obtuvo 0.105; y el sitio 5 fué el mayor con valor de 0.295. En los sitios 1, 2 y 3, la temperatura de 30°C afectó negativamente su VG (0.89, 4.34 y 1.49, respectivamente), ya que en la de 20°C obtuvieron mayores índices (4.9, 7.64 y 6.27, respectivamente), lo que los ubica dentro de los valores intermedios de VG generales. En el sitio 6 las variaciones no fueron tan grandes en las temperaturas de 20°, 30° y 24-29°C (4.22, 2.93 y 2.8, respectivamente), teniendo en la de 20°C su mejor VG, pero también es bajo; los sitios 4, 5 y 7 que no presentan grandes variaciones en esas temperaturas, donde el promedio más bajo se presentó en la de 20°C (\bar{X} = 11.29) y el más alto en la de 24-29°C (\bar{X} = 13.33) (Gráfica # 3).

GRAFICA # 3: VALOR GERMINATIVO (MAGUIRE)
DE *Pinus grezgi* ENGELM. BAJO CUATRO
TEMPERATURAS



GRAFICA # 4. LINEAS DE REGRESION PARA EL
VALOR GERMINATIVO (MAGUIRE) DE
Pinus grezgi ENGELM.



En los resultados del análisis estadístico, existieron diferencias altamente significativas ($F \alpha 0.01$), entre las medias de procedencias, teniendo el VG más alto en el sitio 4 (10.17) y el más bajo en el sitio 1 (2.29). En cuanto a los efectos de regresión de las procedencias sobre los índices ambientales, se observó que existen diferencias altamente significativas ($F \alpha 0.01$) por lo que si existe interacción entre procedencias X temperaturas sobre el VG, es decir que al menos una procedencia respondió diferente a las demás, en los diversas temperaturas.

Los coeficientes de regresión de todas las procedencias, son estadísticamente ($t \alpha 0.05$) iguales a 1.0 (Gráfica # 4); sin embargo, de acuerdo a la prueba de las desviaciones de regresión, todas las procedencias presentaron desviaciones estadísticamente diferentes a cero ($F \alpha 0.01$), por lo que fueron inconsistentes en el VG a los cambios de temperatura (Cuadro # 7).

Cuadro # 7

Valor germinativo (Maguire) y parámetros de estabilidad

PROCEDENCIAS	VALOR GERMINATIVO	COEFICIENTES DE REGRESION	DESVIACIONES DE REGRESION
SITIO 4	10.17	1.70	3.44**
SITIO 5	8.82	1.45	2.51**
SITIO 7	8.82	1.47	2.37**
SITIO 2	4.72	0.86	0.97**
SITIO 3	3.20	0.63	3.82**
SITIO 6	2.49	0.43	0.47**
SITIO 1	2.29	0.46	2.77**

** Nivel de Significancia estadística ($P \alpha 0.01$)

Cuadro # 8

Prueba de medias (Tukey) del Valor Germinativo (Maguire)¹

PROCEDENCIAS	24-29°C	30°C	20°C	10°C	PROMEDIO ²
SITIO 4	14.74a	13.50b	12.33cd	0.11no	10.17a
SITIO 5	12.95bc	11.49ef	10.53g	0.30no	8.82b
SITIO 7	12.30cd	11.87de	11.02fg	0.08o	8.82b
SITIO 2	6.91hi	4.34jk	7.64h	0.01o	4.72c
SITIO 3	5.01j	1.50m	6.27i	0.01o	3.20d
SITIO 6	2.80l	2.93l	4.22k	0.00o	2.49de
SITIO 1	3.37l	0.89mn	4.90jk	0.00o	2.29e

1 Valores de VG seguidos de letras iguales son estadísticamente iguales ($w \alpha 0.05 = 0.79$). *

2 Estos valores se consideran en una prueba por separado.

De acuerdo con la prueba de medias ($w \alpha 0.05 = 0.79$), se observó que el mejor sitio fué el 4 en las temperaturas de 24-29°C (14.74), 30°C (13.5) y 20°C (12.33); seguido por los sitios 5 (12.95) y 7 (12.3) en la temperatura de 24-29°C; los valores más bajos se presentaron en la temperatura de 10°C, los cuales fueron inferiores a 0.3 en los sitios 2, 3, 4, 5 y 7, y en los sitios 1 y 6, fueron de cero (Cuadro # 8).

3. Velocidad germinativa

Como ya se indicó en el subcapítulo V.B., los datos de la temperatura de 10°C, no se incluyeron en el análisis estadístico de la velocidad y uniformidad germinativa, sin embargo, a fin de no eliminarlos definitivamente, en el Cuadro # 9¹ se resumen los datos de los índices de velocidad, uniformidad y capacidad

¹ En el Anexo C se presentan las gráficas del comportamiento de la germinación de las procedencias usadas en el estudio.

germinativas observados en las las cuatro temperaturas estudiadas; tomando dichos datos, para la realización de las gráficas que se presentan en este trabajo. Haciendo la aclaración que los promedios de la temperatura de 10°C, se calcularon en base a los tratamientos en los que haya germinado al menos una semilla, por lo que algunos de ellos no coinciden con los promedios presentados en el análisis de CG.

En los resultados de velocidad germinativa se pudo observar que en la temperatura de 10°C, la germinación se realizó entre los 28 y 45 días para los sitios 2, 3, 4, 5 y 7, que fueron en los que hubo germinación, siendo el sitio 7 el que germinó más rápido (29 y 32 días) y el sitio 2 el más lento, pues solo germinó un 2% a los 45 días.

En la temperatura de 20°C, la germinación se presenció entre los 6.25 y 27.5 días, siendo los sitios más rápidos el 4 (6.25 y 27.5 días), 5 (7 y 11.5 días) y el 7 (6.75 y 9.75 días); y el sitio más lento fué el 6, que germinó entre los 9.75 y 27.5 días. En la temperatura de 30°C, se observó la germinación entre los 4.75 y 31.25 días, siendo los más rápidos los sitios 4 (4.75 y 13.5 días), 5 (5 y 13.5 días) y 7 (5 y 14 días); y los sitios más tardados fueron el 2 (8.75 y 3.25 días) y el 3 (8.75 y 29.75 días). En la temperatura de 24-29°C, la germinación se llevó a cabo entre los 5 y 45 días, siendo también los sitios 4 (5 y 12.25 días), el 5 (5.75 y 12.75 días) y 7 (5.25 y 8.5 días) los más rápidos; los más lentos fueron el sitio 2 (8.25 y 29.75 días) y el 6 (9.5 a 31.25 días).

Cuadro # 9

Velocidad y uniformidad germinativa de *Pinus greggii* Engelm.

PROCEDECENCIAS	D25X	D50X	D75X	DM	S	CC
Temperatura de 10°C						
SITIO 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SITIO 2	45.00	45.00	45.00	45.00	0.00	2.00
SITIO 3	38.00	38.00	38.00	38.00	0.00	2.00
SITIO 4	30.63	32.25	36.13	31.83	2.86	7.00
SITIO 5	32.00	34.56	38.09	34.54	3.27	10.00
SITIO 6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SITIO 7	29.66	31.66	32.00	30.72	1.07	3.47
Temperatura de 20°C						
SITIO 1	11.84	13.25	15.04	13.63	2.99	66.68
SITIO 2	10.77	12.08	13.79	12.40	2.39	95.50
SITIO 3	11.54	12.76	14.31	13.05	2.48	82.46
SITIO 4	6.75	7.30	7.86	7.35	0.92	95.41
SITIO 5	7.09	7.52	7.94	7.57	0.87	84.50
SITIO 6	13.98	17.79	21.51	17.84	4.91	72.12
SITIO 7	6.76	7.29	7.78	7.28	0.71	85.03
Temperatura de 30°C						
SITIO 1	11.98	16.63	18.81	14.90	3.90	12.99
SITIO 2	14.05	17.12	22.95	18.15	6.03	71.95
SITIO 3	13.00	16.69	26.44	18.01	7.44	24.00
SITIO 4	5.42	6.53	8.35	7.01	2.14	94.46
SITIO 5	5.78	7.04	8.48	7.27	1.97	84.25
SITIO 6	13.83	15.75	21.29	16.71	5.46	45.50
SITIO 7	5.52	6.37	7.80	6.91	2.06	82.73
Temperatura de 24-29°C						
SITIO 1	11.46	14.21	18.31	14.69	5.09	45.80
SITIO 2	11.10	13.25	18.03	14.53	5.04	93.96
SITIO 3	12.39	14.20	17.22	14.97	4.28	72.00
SITIO 4	5.41	6.07	7.10	6.34	1.35	97.47
SITIO 5	5.81	6.58	7.31	6.67	1.29	90.47
SITIO 6	19.14	21.93	25.29	21.43	5.51	56.10
SITIO 7	5.55	6.36	7.25	6.39	0.98	83.13

a) Días al 25% (D25%)

En este índice de acuerdo con el análisis estadístico, se presentaron diferencias altamente significativas ($F \alpha 0.01$) entre las medias de las procedencias, siendo los sitios 4 (5.86 días), 5 (6.23 días) y 7 (6.22 días) los más rápidos y el sitio 6 (15.65 días) el más tardío (Gráfica # 5). También se observó que no hubo diferencia estadística ($F \alpha 0.01$) entre las desviaciones de regresión de las procedencias sobre los índices ambientales, por tanto no existió interacción P X T.

Los coeficientes de regresión de todas las procedencias fueron estadísticamente ($t \alpha 0.05$) iguales a 1.0 (Gráfica # 6), sin embargo, de acuerdo a la prueba de las desviaciones de regresión, los sitios 2 y 6 presentaron desviaciones de regresión estadísticamente diferentes de cero ($F \alpha 0.01$), por lo que son inconsistentes en los D25% a las variaciones de temperatura de germinación, mientras que los sitios restantes las presentaron iguales a cero, por lo que son estables (Cuadro # 10).

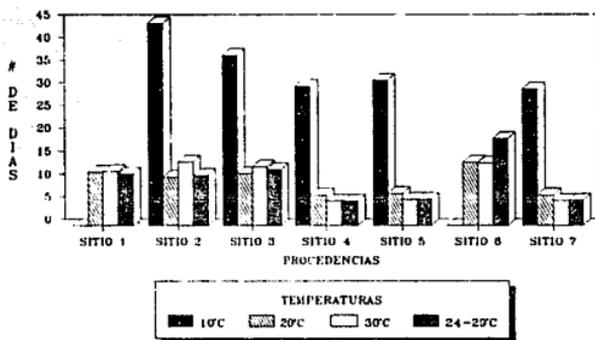
Cuadro # 10

Días al 25% de germinación y Parámetros de estabilidad

PROCEDENCIAS	DIAS AL 25%	COEFICIENTES DE REGRESION	DESVIACIONES DE REGRESION
SITIO 4	5.86	-4.04	-0.02
SITIO 7	5.94	-3.65	-0.06
SITIO 5	6.23	-3.85	-0.01
SITIO 1	11.76	-1.37	-0.38
SITIO 2	11.97	-0.32	6.07**
SITIO 3	12.31	2.28	0.39
SITIO 6	15.65	17.95	2.75**

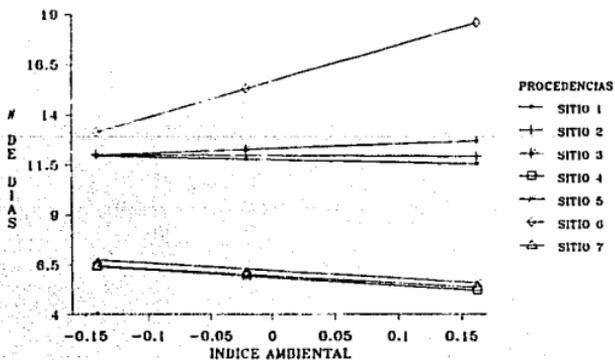
** Nivel de Significancia estadística ($F \alpha 0.01$)

GRAFICA # 5: DIAS AL 25% DE GERMINACION
EN *Pinus greggii* ENGELM. BAJO CUATRO
TEMPERATURAS.



* LOS SITIOS 1 Y 6 NO GERMINARON A 10°C.
POR LO QUE SU VALOR ES CERO.

GRAFICA # 6. LINEAS DE REGRESION PARA
LOS DIAS AL 25% DE GERMINACION EN
Pinus greggii ENGELM.



De acuerdo con la prueba de medias ($w \alpha 0.05 = 1.73$) los mejores promedios se obtuvieron en los sitios 4, 5 y 7, en las temperaturas de 20°, 30° y 24-29°C ($\bar{X} = 6.01$); los promedios más tardíos los obtuvieron el sitio 2 en la temperatura de 30°C (14.05 días), el sitio 3 en las temperaturas de 20° y 30°C ($\bar{X} = 13.9$ días) y en la de 24-29°C (19.14 días) (Cuadro # 11).

Cuadro # 11
Prueba de medias (Tukey) de los Días al 25%¹

PROCEDENCIAS	20°C	24-29°C	30°C	PROMEDIO ²
SITIO 4	6.75a	5.41a	5.42a	5.86a
SITIO 7	6.76a	5.55a	5.52a	5.94a
SITIO 5	7.09a	5.81a	5.78a	6.23a
SITIO 1	11.84bc	11.46bc	11.98bc	11.76b
SITIO 2	10.77b	11.10b	14.05d	11.97b
SITIO 3	11.54bc	12.39bcd	13.00cd	12.31b
SITIO 6	13.98d	13.83d	19.14e	15.65c

1 Valores de D25% seguidos de letras iguales son estadísticamente iguales ($w \alpha 0.05 = 1.73$).

2 Estos valores se consideran en una prueba por separado.

b) Días al 50% (D50%)

En esta variable, en las tres temperaturas existieron diferencias notables entre los sitios 4, 5 y 7 y los demás sitios, pues los primeros alcanzaron sus D50% en un promedio de $\bar{X} = 6.78$ días y los demás sitios en un periodo de 12 a 22 días (Gráfica # 7).

En los resultados del análisis de varianza existieron diferencias altamente significativas ($F \alpha 0.01$), entre las medias de las procedencias, así también, que no hubo diferencia estadística ($F \alpha 0.01$) entre los efectos de regresión de las procedencias sobre los índices ambientales, es decir que no hubo interacción P X T.

Cuadro # 12

Días al 50% de germinación y Parámetros de estabilidad

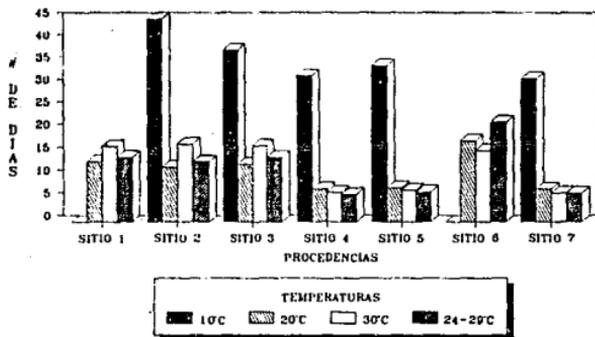
PROCEDENCIAS	DIAS AL 50%	COEFICIENTES DE REGRESION	DESVIACIONES DE REGRESION
SITIO 4	6.63	-0.73	0.25
SITIO 7	6.67	-0.83	-0.06
SITIO 5	7.05	-0.46	0.12
SITIO 2	14.15	4.21	1.69**
SITIO 3	14.55	3.32	0.24
SITIO 1	14.69	2.83	0.43**
SITIO 6	18.49	-1.36	18.36

** Nivel de Significancia estadística ($F \alpha 0.01$)

Los coeficientes de regresión resultaron iguales estadísticamente ($t \alpha 0.05$) a 1.0 en todas las procedencias (Gráfica # 8); y de acuerdo con la prueba de las desviaciones de regresión, los sitios 2 y 6 fueron estadísticamente diferentes de cero, por lo que son inconsistentes en sus D50% a la variación de temperaturas de germinación; y los sitios 1, 3, 4, 5 y 7, fueron estadísticamente iguales a cero, por lo que son estables en sus D50% en las temperaturas de 20°, 30° y 24-29°C (Cuadro # 12).

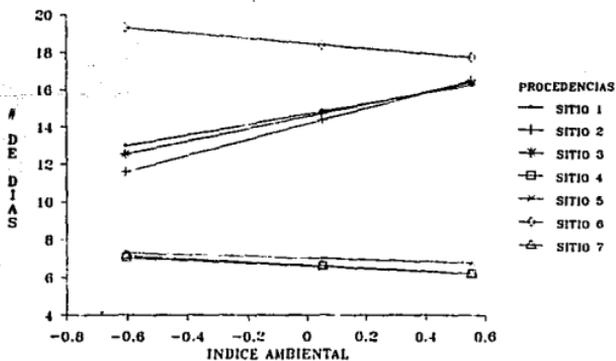
De acuerdo a la prueba de medias ($w \alpha 0.05 = 1.09$), el mejor promedio se obtuvo en el sitio 4 en la temperaturas de 24-29°C (6.07 días) y 30°C (6.53), siendo similares los sitios 5 y 7 en esas temperaturas; los promedios más tardíos se observaron en el sitio 2 en la temperatura de 30°C y en el sitio 6 en las de 20°C (17.79 días) y 24-29°C (21.93 días) (Cuadro # 13).

GRAFICA # 7: DIAS AL 50% DE GERMINACION
EN *Pinus greggii* ENGELM. BAJO CUATRO
TEMPERATURAS.



* LOS SITIOS 1 Y 6 NO GERMINARON A 10°C.
POR LO QUE SU VALOR ES CERO.

GRAFICA # 6: LINEAS DE REGRESION PARA
LOS DIAS AL 50% DE GERMINACION EN
Pinus greggii ENGELM.



Cuadro # 13

Prueba de medias (Tukey) de los Días al 50%¹

PROCEDENCIAS	24-29 °C	20 °C	30 °C	PRONEDIO ²
SITIO 4	6.07a	7.30bc	6.53abc	6.63a
SITIO 7	6.36ab	7.29bc	6.37ab	6.67a
SITIO 5	6.58abc	7.51c	7.04abc	7.05a
SITIO 2	13.25ef	12.08d	17.12hi	14.15b
SITIO 3	14.20f	12.76dc	16.69gh	14.55b
SITIO 1	14.21f	13.25ef	16.63gh	14.69b
SITIO 6	21.93j	17.79i	15.75g	18.49c

1 Valores de D50% seguidos de letras iguales son estadísticamente iguales ($w \alpha 0.05 = 1.09$).

2 Estos valores se consideran en una prueba por separado.

c) Días al 75% (D75%)

En el índice D75%, también se observó la marcada diferencia que existe entre los sitios 4, 5 y 7 y los demás sitios con respecto a los D25% y D50%, pues los primeros tuvieron sus D75% entre los 7 y 8.5 días, en tanto que en los demás sitios fué entre los 13 y 27 días; pero en este caso fué notable que los sitios 2 y 3 en la temperatura de 30 °C, se elevaron sus D75% (22.95 y 26.44 días, respectivamente), en relación a sus respuestas en las demás temperaturas, y en el sitio 6 se presentó algo similar en la temperatura de 24-29 °C (25.29 días) (Gráfica # 9).

En el análisis de varianza, al igual que los D25% y D50%, existieron diferencias estadísticas entre medias de las procedencias ($F \alpha 0.01$), pero en este índice se encontraron diferencias significativas ($F \alpha 0.05$), entre los efectos de

regresión de las procedencias sobre los índices ambientales, detectándose que sí hubo interacción de P X T, es decir que la respuesta en los D75%, al menos una procedencia fue diferente al variar las temperaturas de germinación.

El coeficiente de regresión del sitio 2 resultó estadísticamente diferente de 1.0 ($t \alpha 0.05$), en tanto que los demás sitios resultaron iguales (Grafica # 10); y en la prueba de las desviaciones de regresión, el sitio 6 fué estadísticamente diferente de cero ($F \alpha 0.01$) y los demás sitios fueron iguales a cero. De estos resultados se dedujo que los sitios 2 y 6 son inconsistentes en sus D75%, al variar la temperatura de germinación (Cuadro # 14).

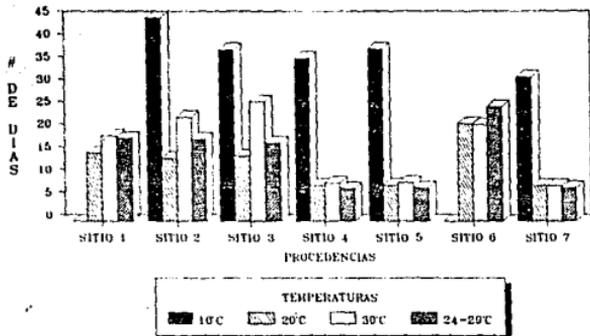
Cuadro # 14
Días al 75% y Parámetros de estabilidad

PROCEDENCIAS	DIAS AL 75%	COEFICIENTES DE REGRESION	DESVIACIONES DE REGRESION
SITIO 7	7.61	0.01	-0.64
SITIO 4	7.77	0.14	-0.18
SITIO 5	7.91	0.15	-0.30
SITIO 1	17.39	1.01	0.63
SITIO 2	18.26	2.48*	-0.83
SITIO 3	19.32	3.30	4.55
SITIO 6	22.70	-0.09	9.22**

* Significancia estadística ($t \alpha 0.05$)

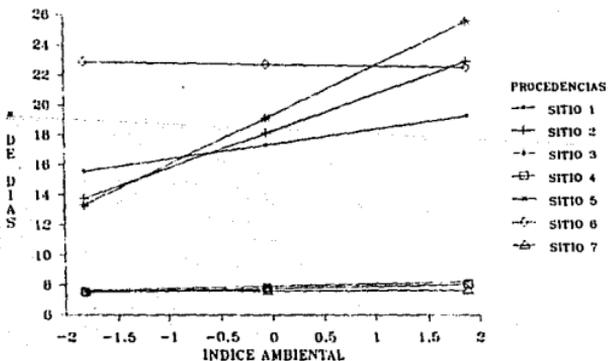
** Significancia estadística ($F \alpha 0.01$)

GRAFICA # 9. DIAS AL 75% DE GERMINACION
EN *Pinus greggii* ENGELM. BAJO CUATRO
TEMPERATURAS.



* LOS SITIOS 1 Y 6 NO GERMINARON A 10°C.
POR LO QUE SU VALOR ES CERO.

GRAFICA # 10: LINEAS DE REGRESION PARA
LOS DIAS AL 75% DE GERMINACION EN
Pinus greggii ENGELM.



ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Cuadro # 15

Prueba de medias (Tukey) de los Días al 75%¹

PROCEDECENCIAS	20°C	24-29°C	30°C	PROMEDIO ²
SITIO 7	7.78a	7.25a	7.80a	7.61a
SITIO 4	7.86a	7.10a	8.35a	7.77a
SITIO 5	7.94a	7.31a	8.48a	7.91a
SITIO 1	15.04bc	18.31d	18.81d	17.39b
SITIO 2	13.79b	18.03d	22.95ef	18.26b
SITIO 3	14.31b	17.22cd	26.44g	19.32b
SITIO 6	21.51e	25.29fg	21.29e	22.70c

1 Valores de D75K seguidos de letras iguales son estadísticamente iguales ($w \alpha 0.05 = 2.39$).

2 Estos valores se consideran en una prueba por separado.

De acuerdo con la prueba de medias ($w \alpha 0.05 = 2.39$), los sitios 4, 5 y 7, tienen los mejores promedios, siendo estadísticamente iguales entre si en las tres temperaturas ($\bar{X} = 7.76$ días); los promedios más tardíos se obtuvieron en el sitio 2 en la temperatura de 30°C (22.95 días), el 3 en la de 30°C (26.43 días) y el 6 en la temperatura de 24-29°C (25.29 días) (Cuadro # 15).

d) Días Medios (DM)

En esta variable también hubo una marcada diferencia entre los sitios 4, 5 y 7 ($\bar{X} = 6.98$ días) con respecto a los demás sitios, que tuvieron sus DM muy altos y variables entre si, siendo notable que en la temperatura de 30°C los sitios 2 y 3 se elevó el índice hasta $\bar{X} = 18.08$ días y en el sitio en la temperatura de 24-29°C hasta 21.43 días (Gráfica # 11).

Los resultados del análisis estadístico, indicaron la existencia de diferencias altamente significativas entre las medias de las procedencias ($F \alpha 0.01$). No se detectaron diferencias estadísticas entre efectos de regresión de procedencias sobre índices ambientales ($F \alpha 0.01$), no habiendo interacción entre procedencias y temperaturas.

Cuadro # 16

Días medios de germinación y parámetros de estabilidad

PROCEDENCIAS	DIAS MEDIOS	COEFICIENTES DE REGRESION	DESVIACIONES DE REGRESION
SITIO 7	6.86	-0.32	0.09
SITIO 4	6.90	-0.31	0.23
SITIO 5	7.17	-0.28	0.14
SITIO 1	14.41	0.93	-0.15
SITIO 2	15.03	3.96	0.93*
SITIO 3	15.34	3.42	0.53
SITIO 6	18.66	-0.40	11.80**

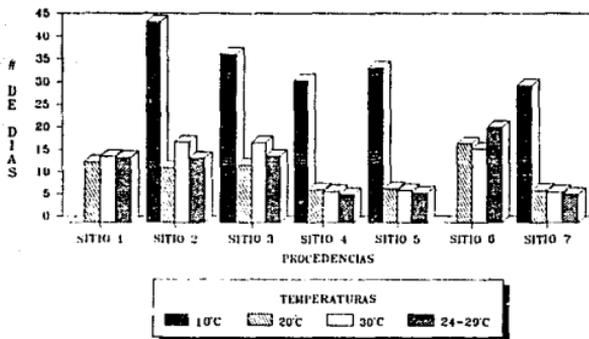
* Significancia estadística ($F \alpha 0.05$)

** Significancia estadística ($F \alpha 0.01$)

Los coeficientes de regresión de todas las procedencias resultaron estadísticamente ($t \alpha 0.05$) iguales a 1.0 (Gráfica # 12); mientras que en la prueba de las desviaciones de la regresión, se observó que solo los sitios 2 ($F \alpha 0.05$) y 6 ($F \alpha 0.01$) tuvieron desviaciones estadísticamente diferentes de cero, por lo que fueron inconsistentes en sus DM al variar la temperatura de germinación (Cuadro # 16).

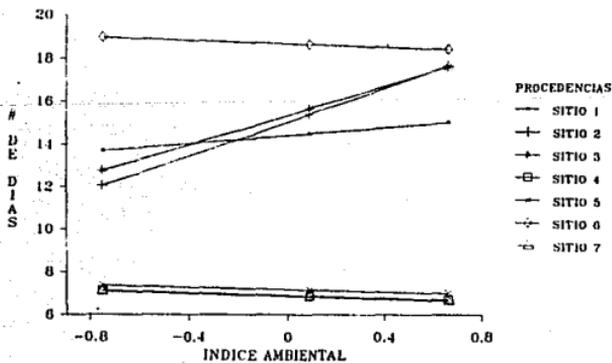
De acuerdo con la prueba de medias ($w \alpha 0.05$), el mejor promedio se obtuvo en el sitio 4 en la temperatura de 24-29°C (6.34 días), siendo similar su respuesta en las otras dos temperaturas y la de los sitios 5 en temperaturas de 30° y 24-29°C (7.27 y 6.67 días,

GRAFICA # 11: DIAS MEDIOS DE GERMINACION
EN *Pinus greggii* ENGELM. BAJO CUATRO
TEMPERATURAS.



* LOS SITIOS 1 Y 6 NO GERMINARON A 10°C.
POR LO QUE SU VALOR ES CERO.

GRAFICA # 12: LINEAS DE REGRESION PARA
LOS DIAS MEDIOS DE GERMINACION EN
Pinus greggii ENGELM.



respectivamente) y 7 en las tres temperaturas (\bar{X} = 6.86 días); los promedios más tardíos fueron en los sitios 2 y 3 en la temperatura de 30°C (18.5 y 18.01 días, respectivamente) y el sitio 6 en la de 24-29°C (21.43 días) (Cuadro # 17).

Cuadro # 17

Prueba de medias (Tukey) de los Días medios¹

PROCEDENCIA	20°C	24-29°C	30°C	PROMEDIO ²
SITIO 7	7.28ab	6.39ab	6.91ab	6.86a
SITIO 4	7.35ab	6.34a	7.01ab	6.90a
SITIO 5	7.57b	6.67ab	7.27ab	7.17a
SITIO 1	13.63de	14.69ef	14.90f	14.41b
SITIO 2	12.40c	14.53ef	18.15h	15.03b
SITIO 3	13.05cd	14.97f	18.01h	15.34b
SITIO 6	17.84gh	21.43i	16.71g	18.66c

1 Valores de DM seguidos de letras iguales son estadísticamente iguales ($w \alpha 0.05 = 1.18$).

2 Estos valores se consideran en una prueba por separado.

4. Uniformidad de la germinación (S)

Para la desviación estandar de la germinación (S), se observó que la temperatura de 30°C con respecto a los demás tratamientos, afectó negativamente a los sitios 2, 3 y 7 (6.03, 7.44 y 2.06 días, respectivamente); en el sitio 1 sucedió algo similar en la temperatura de 24-29°C (5.09 días); el sitio 6 no presentó mucha variabilidad en sus S, pero su dispersión es alta en las tres temperaturas (\bar{X} = 5.29 días) (Gráfica # 13).

De acuerdo al análisis estadístico de la S, se observó que también existen diferencias altamente significativas entre las medias de las procedencias ($F \alpha 0.01$); no existieron diferencias

estadísticas ($F \alpha 0.01$) entre efectos de regresión de procedencias sobre los índices ambientales, por lo tanto no hubo interacción P X T.

Los coeficientes de regresión de todas las procedencias, resultaron estadísticamente ($t \alpha 0.05$) iguales a 1.0 (Gráfica # 14); y la prueba de las desviaciones de regresión indicó que el sitio 1 es estadísticamente diferente de cero ($F \alpha 0.05$), por lo que su S fue inconsistente al variar las temperaturas de germinación; y los sitios restantes resultaron estadísticamente iguales a cero ($F \alpha 0.01$), por lo que son estables en su S en las temperaturas de 20°, 30° y 24-29°C (Cuadro # 18).

Cuadro # 18

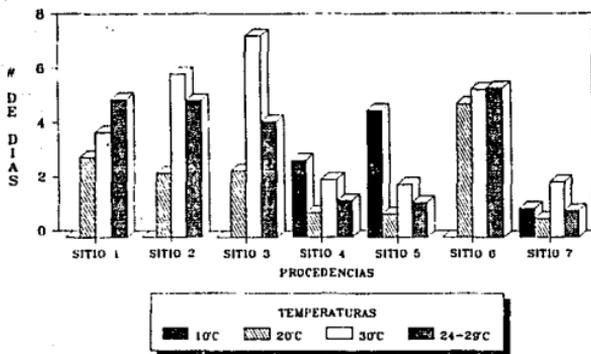
Desviación estándar de la germinación y Parámetros de estabilidad

PROCEDECIAS	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTES DE REGRESION	DESVIACIONES DE REGRESION
SITIO 7	1.25	0.65	-0.04*
SITIO 5	1.37	0.54	-0.19
SITIO 4	1.47	0.60	-0.17
SITIO 1	3.99	0.57	1.35
SITIO 2	4.49	1.89	-0.10
SITIO 3	4.73	2.45	0.69
SITIO 6	5.29	0.30	-0.19

* Significancia estadística ($F \alpha 0.05$)

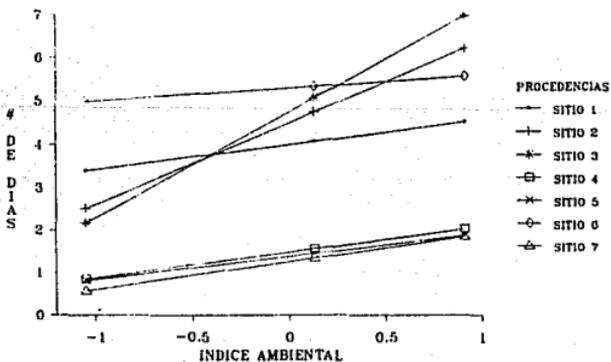
Al realizar la prueba de medias ($w \alpha 0.05 = 1.27$), los mejores índices se presentaron en el sitio 7 en las temperaturas de 20°C (0.71 días) y 24-29°C (0.98 días), en el sitio 5 en las tres temperaturas ($\bar{X} = 1.37$ días) y en el sitio 4 en las de 20° y 24-29°C (0.92 y 1.35 días, respectivamente). Los promedios menos uniformes se ubicaron en los sitios 2 y 3 en la temperatura de 30°C (6.03 y 7.44 días, respectivamente) (Cuadro # 19).

GRAFICA # 13: UNIFORMIDAD DE GERMINACION (DESVIACION ESTANDAR) EN *Pinus greggii* ENGELM. BAJO CUATRO TEMPERATURAS.



* LOS SITIOS 1 Y 6 NO GERMINARON A 10°C.

GRAFICA # 11. LINEAS DE REGRESION PARA LA UNIFORMIDAD GERMINATIVA (DESVIACION ESTANDAR) EN *Pinus greggii* ENGELM.



Cuadro # 19

Prueba de medias (Tukey) de la Uniformidad germinativa (S)¹

PROCEDENCIAS	20 °C	24-29 °C	30 °C	PROMEDIO ²
SITIO 7	0.71a	0.98abc	2.06bcde	1.25a
SITIO 5	0.87ab	1.29abcd	1.97abcde	1.37a
SITIO 4	0.92abc	1.35abcd	2.14cde	1.47a
SITIO 1	2.99ef	5.09ghi	3.90fg	3.99b
SITIO 2	2.39de	5.04ghi	6.03i	4.49bc
SITIO 3	2.48de	4.28gh	7.44j	4.73bc
SITIO 6	4.91ghi	5.51hi	5.46hi	5.29c

1 Valores de S seguidos de letras iguales son estadísticamente iguales ($w \alpha 0.05 = 1.27$).

2 Estos valores se consideran en una prueba por separado.

B. Discusión

De los resultados obtenidos en los análisis de varianza, se pudo observar que en todos los índices utilizados para evaluar la germinación (CG, VG, D25%, D50%, D75%, DM y S) de siete procedencias de *Pinus greggii* bajo cuatro tratamientos de temperatura, existieron diferencias altamente significativas ($F \alpha 0.01$) entre las procedencias, lo que concuerda con lo observado por Malagón (1990).

Al analizar el comportamiento de las procedencias en cada uno de los índices estudiados, se observó lo siguiente (Cuadro # 20):

Cuadro # 20

Estabilidad de la germinación de las procedencias de
Pinus gregii Engelm.

PROCEDECENCIA	CG	VG	D25%	D50%	D75%	DM	S
SITIO 4	72.71	10.17	5.86 E	6.63 E	7.77 E	6.90 E	1.47 E
SITIO 5	67.22	8.82	6.23 E	7.05 E	7.91 E	7.17 E	1.37 E
SITIO 7	63.35	8.81	5.94 E	6.67 E	7.61 E	6.86 E	1.25 E
SITIO 2	65.48 E*	4.72	11.97	14.15	18.26	15.02	4.49 E
SITIO 3	44.74	3.20	12.31 E	14.55 E	19.32 E	15.34 E	4.73 E
SITIO 6	43.43 E	2.49	15.65	18.49	22.70	18.66	5.29 E
SITIO 1	31.38	2.29	11.76 E	14.69 E	17.39 E	14.40 E	3.99

*E = Estable en su respuesta a los cambios de temperatura de germinación.

En la CG, aún cuando los promedios más altos se obtuvieron en los sitios 4 (72.71%) y 5 (67.22%), el sitio 2 es el que mejor comportamiento tiene, pues también obtuvo un promedio alto (65.48%) y fué estable estadísticamente (α 0.01) en las cuatro temperaturas; los sitios 1 y 3 resultaron ser los menos recomendables por ser inestables estadísticamente (α 0.01) en su respuesta a los cambios de temperatura, además de tener bajos promedios (31.38% y 44.75%, respectivamente).

En el VG (Maguire), todos los sitios resultaron estadísticamente inconsistentes (α 0.01) en sus respuestas a los cambios de temperatura, sin embargo de acuerdo a los promedios, la mejor procedencia fue el sitio 4, seguido con valores similares de los sitios 5 y 7; los sitios menos recomendables son el 1 y 6 por tener los promedios más bajos de VG (2.49% y 2.29%, respectivamente).

En los índices utilizados para evaluar velocidad germinativa (D25%, D50%, D75% y DM), se observó una clara separación de los

sitios 4, 5 y 7, los cuales a parte de haber presentado los promedios más deseables, fueron estadísticamente iguales (α 0.05) entre ellos y estables (α 0.01) en sus respuestas a las temperaturas de germinación; los sitios 2 y 6, aunque no fueron estadísticamente iguales (α 0.05), y aunque el sitio 2 presentó mejores promedios que el sitio 6 en todos los índices, ambos sitios resultaron estadísticamente inestables en sus velocidades germinativa (α 0.05 y α 0.01), al variar las temperaturas de germinación.

En la uniformidad germinativa, que se calculó mediante la desviación estandar de la germinación (S), también se observó una marcada diferencia de los sitios 4, 5 y 7 que obtuvieron las mejores S, y el resto de las procedencias, que presentaron unas S considerablemente más dispersas. En este índice dado que el sitio 1, que fue el único que resultó estadísticamente inestable (α 0.05) en sus respuestas a la variación de temperaturas y el sitio 6 que presentó la S más alta, son los menos recomendables.

De acuerdo a lo expuesto, se puede decir que las mejores procedencias fueron los sitios 4, 5 y 7, pues presentaron las características más deseables en todos los índices estudiados; el sitio 2 aunque presentó en su CG, en VG y S fué intermedio y en la velocidad germinativa fué tardado, por lo que no es muy recomendable; el sitio 3 aunque presentó estabilidad en sus respuestas a la variación de temperaturas en los índices de velocidad germinativa y S, su CG y VG fueron bajos, por lo que tampoco es recomendable. El sitio 1 presentó respuestas similares al sitio 3 en la velocidad germinativa, en la S fue mayor que el 3 pero inestable en los cambios de temperatura de germinación; en la CG y VG fue el sitio menos recomendable, por lo que sus características de germinación no son buenas; y el sitio 6 presentó estabilidad únicamente en los índices de CG y S,

pero sus promedios en todos los índices no fueron deseables, por lo que al igual que el sitio 1 sus características de germinación no son buenas, siendo por tanto los sitios menos recomendables de las siete procedencias estudiadas.

Al observar los datos obtenidos, fue evidente que en la CG el sitio 2 presentó las mejores características, tanto por el alto promedio, como por su estabilidad. Si únicamente hubieramos tomado éste índice para obtener conclusiones, éstas habrían sido erróneas, pues el sitio 2 resultó con las características más indeseables en los índices de velocidad germinativa; y en los índices de valor germinativo y uniformidad de la germinación, quedó como una procedencia intermedia, lo que hace suponer que si bien, no es el sitio menos recomendable, tampoco es un sitio altamente deseable.

Por lo que de acuerdo con Camacho y Morales (1985), no es suficiente utilizar la CG para evaluar germinación, sino que es necesario calcular otros índices que permitan conocer el comportamiento de las semillas de un lote, procedencia o especie. Sin embargo no es necesario calcular muchos índices para evaluar la germinación, sobre todo cuando se trata de comparar dos o más lotes de semillas entre sí, pues es suficiente calcular la CG, los DM como índice de la velocidad germinativa, la S como medida de dispersión o índice de la uniformidad germinativa y el VG (Maguire); el cálculo de estos índices, permite llevar una secuencia de sumatorias que relacionan el número de semillas germinadas y los días requeridos para alcanzar la germinación.

El conocimiento de estos índices, nos permite calcular y programar la producción en viveros, pues se obtiene tanto el porcentaje de semillas capaces de producir plantas y el tiempo que tardan en germinar, aunque en este sentido, es necesario

definir o experimentar, si todas las semillas que germinan tienen el mismo vigor, o si tienen más vigor las semillas que germinan en los primeros días, en relación con las semillas que germinan a la mitad ó al final del periodo de germinación.

Por otra parte, las respuestas de las procedencias en la temperatura de 10°C, en los índices de CG y VG, indicaron la inconveniencia de colocar semillas de *Pinus greggii* Engelm. en esa temperatura de germinación, pues aunque varios sitios presentaron germinación en esa temperatura, sus respuestas de CG y VG se vieron reducidas considerablemente con respecto a las otras temperaturas; inclusive los sitios 1 y 6 no presentaron germinación. Por lo que de acuerdo con Hartman y Kester (1975), los sitios 2, 3, 4, 5 y 7, la temperatura de germinación de 10°C es baja y para los sitios 1 y 6 es muy baja. También se puede observar que la CG se reduce considerablemente a la temperatura de 30°C en los sitios 1 y 3. En este sentido, de acuerdo con Mayer y Poljakoff - Mayber (1975), se puede decir que las temperaturas cardinales varían entre las procedencias.

Asimismo se pudo observar, que en cuanto a temperaturas de germinación existieron diferencias entre las respuestas de las procedencias a los tratamientos utilizados, pues aunque sólo se detectó la interacción P X T en los índices VG v D75%, se puede decir que si hubo algún efecto sobre la germinación por esa interacción, pues el VG es el resultado de combinar y ponderar la capacidad, velocidad y uniformidad germinativa. Tal vez la interacción sea causado en mayor grado, por la temperatura de 10°C, pues en ella se modificaron considerablemente las respuestas de germinación de todos los sitios, en tanto que la temperatura de 30°C, sólo afectó la CG y VG de los sitios 1 y 3.

En base al comportamiento que en general presentaron las procedencias en las diferentes temperaturas de germinación se observó que los sitios 4, 5 y 7 tuvieron la mayor diferencia con respecto a otras procedencias, tanto por haber presentado los mejores índices de germinación, como por haber sido las más estables en sus respuestas a las variaciones de temperatura, pues inclusive fueron las que mejor se comportaron en la temperatura de 10°C, aunque estadísticamente en esa temperatura fueron iguales a las otras procedencias. Estas diferencias pueden estar asociadas a las condiciones del hábitat donde se desarrollan naturalmente, ya que las tres procedencias son de la Región Noreste de México; en esos sitios se reportan temperaturas más bajas con respecto a los sitios de la Región Central de México, pero también es una región con baja precipitación pluvial, además de estar a más de 2,300 m.s.n.m. En esas condiciones dada la baja humedad ambiental existente, se presentan diferencias considerables, entre la temperatura del día y la noche (climas extremos), además de que los inviernos son severos, pudiendo bajar la temperatura en ocasiones, a menos de 0°C. En general, esas condiciones pudieron provocar a través de varias generaciones una selección natural, donde los genotipos existentes presentaron respuestas de adaptación a las condiciones adversas, no sólo en relación a la temperatura de germinación, sino también a la sequía (Cuevas et al, 1991), y a suelos alcalinos (Donahue, 1990), pues presentan en todos los casos, diferencias estadísticas con respecto a las procedencias de la Región Central.

En cuanto a los sitios 1, 2, 3 y 6, que corresponden a las procedencias de la Región Central de México, sus respuestas a las temperaturas de germinación fueron variables entre sí, dado que los sitios 2 y 3 que corresponden a las procedencias de Querétaro, quedaron intermedias entre las procedencias del

Noreste y los sitios 1 y 6 que corresponden a las procedencias de Hidalgo, por lo que no se puede decir que formaron un grupo específico entre sí, pues las respuestas de los cuatro sitios fueron variables en los diferentes índices. Fué apreciable que el sitio 6 (Molango, Hgo.), fue la procedencia más inconsistente en sus respuestas a la variación de temperaturas de germinación, además de haber obtenido índices de germinación indeseables, lo que puede deberse a que en su habitat natural, existen condiciones de precipitación (1,438 mm) y de temperatura ($\bar{X} = 18 - 20^{\circ}\text{C}$), que permiten un buen desarrollo de la especie, sin estar sometida a altas presiones de selección a causa del medio ambiente, que le permitan obtener un alto componente genético, para sus respuestas a las variaciones de temperatura de la germinación.

Así mismo se observó que los sitios 1 y 3 tienen un rango de temperatura de germinación más reducido que los demás sitios, pues sus respuestas a las variables estudiadas se vieron afectadas negativamente en las temperaturas de 10° y 30°C , lo que puede deberse, al igual que en el caso del sitio 6, a las condiciones favorables de temperatura ($\bar{X} = 18 - 20^{\circ}\text{C}$) y precipitación ($\bar{X} = 730$ mm), en que se desarrollan las procedencias naturalmente.

Por otra parte, el modelo propuesto por Eberhart y Russell (1966) para evaluar estabilidad, toma como una base para evaluación de procedencias, el promedio de cada una en los diversos ambientes, lo que únicamente permite comparar la variación a nivel de procedencias, sin poder hacerlo a nivel de ambientes, por lo que al hacer la prueba de medias, se observó la necesidad de incluir una prueba por separado, incluyendo los datos de las procedencias en cada temperatura, a fin de observar la variación *inter e intra*, en las procedencias de *Pinus greggii*, en los tratamientos de temperatura de germinación.

VII. CONCLUSIONES

Existe variación altamente significativa (α 0.01) en las variables de germinación, entre procedencias de *Pinus greggii* Engelm., lo que es importante dado que permite suponer que la especie posee un gran componente genético en relación con el componente ambiental, siendo susceptible de ser utilizada en el mejoramiento genético.

Las procedencias presentaron diferencias en su germinación, al variar la temperatura; siendo las dos procedencias de Los Lirios, Coah. y la de Galeana, N. L., las que presentaron las mejores características de germinación; en tanto que las procedencias de Jacala y Molango, Hgo., fueron las que presentaron los índices de germinación menos deseables.

Las respuestas a la variación de temperatura de germinación, fué más variable en las procedencias de la Región central de México entre sí, que las procedencias de la Región Noreste.

Existió diferencia entre procedencias, en la estabilidad de la germinación, al variar la temperatura, siendo los sitios de la Región Noreste los que presentaron mayor estabilidad en sus respuestas a los cambios de temperatura de germinación, en relación con los sitios de la Región Central, de los que el sitio de Molango, Hgo. presentó menos estabilidad sobre todo en la velocidad y uniformidad germinativa.

Las procedencias que presentaron mejores características de germinación, fueron las de la Región Noreste, dado que presentaron mayor estabilidad en la germinación, altos promedios de CG y VG, fueron rápidas en la Velocidad germinativa y tuvieron poca dispersión en la Uniformidad germinativa (S).

La temperatura de 10°C no es propicia para la germinación de *Pinus greggii* Engelm., siendo ésta baja para las procedencias de la Región Noreste, Jacala, Hgo. y Tres Lagunas, Qro.; y muy baja para las procedencias de El Madroño, Qro. y Molango, Hgo.

La temperatura de 30°C afecta negativamente la germinación de las procedencias de Jacala, Hgo. y Tres Lagunas, Qro., siendo esto más notable en las variables de capacidad germinativa y valor germinativo.

En general, se observó que las temperaturas cardinales de germinación de *Pinus greggii* Engelm., varían entre las procedencias.

En el modelo utilizado para evaluar estabilidad, la comparación de medias debe hacerse tomando en cuenta los datos de cada procedencia en todos los ambientes, ya que permite observar la variación inter e intra, en las respuestas de las procedencias en los distintos ambientes estudiados.

VIII. RECOMENDACIONES

Llevar a cabo un estudio que permita conocer las temperaturas cardinales de las diferentes procedencias de *Pinus greggii* Engelm.

Evaluar estabilidad de la germinación con los diversos factores externos que la afectan, como pueden ser el fotoperíodo, termoperíodo, humedad o diferentes sustratos, ya sea trabajándolos cada uno por separado o interactuándolos.

Evaluar la estabilidad de la germinación y de otras variables del crecimiento ó estadios del desarrollo de *Pinus greggii* Engelm., en dos ó más ambientes naturales.

Debido a las respuestas que se han observado en este y otros estudios en las procedencias de *Pinus greggii* Engelm., es evidente la gran variabilidad que tiene la especie, por lo que es recomendable se siga estudiando, a fin de aprovechar su potencial genético en beneficio de la producción de plantas y la regeneración de bosques y selvas.

IX. BIBLIOGRAFIA CITADA

- BONNER, F. T., 1975. Germination temperatures and prechill treatments for white ash (*Fraxinus americana* L.). Proc. Assoc. Off. seed Anal. vol. 65. p. 69-65.
- CAMACHO M., F. y MORALES V., G., 1985. Formato y recomendaciones para evaluar germinación. En: III Reunión Nacional sobre Plantaciones forestales. Pub. esp. Núm. 48. INIF, México. p. 123-138.
- CAPO A., M. A., 1981. Banco de Germoplasma de árboles forestales del Norte de México. En: Avances de investigación 1981. UAAAN, México. p. 44.
- CAMPOS D., J.L., 1990. Importancia de los pinos mexicanos. Nota técnica # 5, Centro de Genética Forestal, México.
- CEBALLOS F., S. y CARMONA V., T., 1981. Banco de información de estudios tecnológicos de maderas de especies que vegetan en México (Banco Xilotecnológico). Catálogo # 2, INIF, México.
- CERVANTES S., M. A., 1986. Variación morfológica en semillas, efecto de la temperatura en la germinación y crecimiento de plántulas de 53 familias de 6 procedencias de *Pinus tecumanii* Equiluz et Perry. Tesis M. C., CP, México. 125 p.
- CETINA A., V. M., 1984. Estudio sobre germinación de *Pinus cembroides* Zucc. en condiciones naturales. Tesis M. C., CP, México. p. 4-31.
- CRITCHFIELD, W. B., 1957. Geographic variation in *Pinus contorta*. Maria Moors Cabot Fundation. Pub. núm. 3, Harvard University, U.S.A.

- CUEVAS R., R., DE LA GARZA L., y NEPAMUCENO M., F., 1991. Tolerancia a sequía de *Pinus greggii* Engelm. En: Memorias de Resúmenes del II Congreso Nacional de Genética, Sociedad Mexicana de Genética, Saltillo, México.
- DANIEL, P. W., HELMS, U. E. y BAKER, F. S., 1982. Principios de silvicultura. 2a. ed. Mc Graw Hill. p. 339-406.
- DAUBENMIRE, 1986. Manual de botánica ecológica. LIMUSA, México. p. 194-253.
- DONAHUE, J., 1990. Geographic variation in *Pinus greggii* Engelm. in relation to soil acidity. M. Sci. Thesis, Raleigh University, USA. p. 1-27.
- EBERHART, S. A. y RUSSELL, W. A., 1966. Stability Parameters for Comparing Varieties. Crop. Sci. 6. p. 36-40.
- EGUILUZ P., T. Ensayo de integración de los conocimientos del género *Pinus* en México. Tesis, UACH, México. p. 438-446.
- FAO, 1956. La manipulación de las semillas forestales. Cuaderno de fomento forestal # 4. FAO, Italia.
- , 1975. Prácticas de plantación de árboles en la sabana africana. Cuaderno de fomento forestal # 19. FAO, Italia. p. 43-45.
- GRAJALES M., O. y MARTINEZ H., E., 1983. Fisiología vegetal; apuntes para el curso de Seminario IV. Ingeniería Agrícola, UNAM, FES Cuautitlán, México. p. 184-196.

- GOMEZ M., M. V., 1983. Análisis estadístico del modelo de Eberhart y Russell y una metodología multivariada alternativa. Tesis M. C., CP, México. p. 1-13.
- HARTMAN, H. y KESTER, D., 1975. Propagación de plantas; principios y prácticas. CECSA, México, p. 141-144.
- KAMRA, S. K. y SIMAK, M., 1968. Germination studies on Scots pine (*Pinus silvestris* L.) seed of different provenances under alternating and constant temperatures. Studia Forestalia Suecia, núm. 62. Royal College of Forestry Stockholm.
- KANNINEN et al., 1990. Manual para el manejo de semillas de coníferas. SARH, México. 64 p.
- KOLK, H., 1979. Weed seeds. Advances in research and Technology of seeds. Part 4. ISTA, Wageningen. p. 12-16.
- LOPEZ U., J., 1986. Características de la progenie de plantaciones jóvenes de *Pinus greggii* Engelm. Tesis, UACH, México. p. 4-16 y 37-60.
- , 1990. Selección familiar por tolerancia a sequía en *Pinus greggii* Engelm. Tesis M. C., CP, México. 97 p.
- MALAGON L., M., 1990. Estudio de variación morfológica y de la germinación en 4 procedencias de *Pinus greggii* Engelm. Tesis, UNAM, ENEP-Iztacala, México. p.31-40 y 53-57.
- MARTINEZ, M., 1948. Los pinos mexicanos. 2a. ed., Botás, México, p. 337-342.

- MAYER, A. y POLJAKOFF-MAYBER, . 1975. The germination of seeds. 2a. ed. Pergamon Press England.
- METTLER, L. E. y GREGG, T. G., 1972. Genética de las poblaciones y evolución. UTHEA, México.
- MILLER, E. V, 1981. Fisiología vegetal. UTHEA, México, p. 230-235.
- MIROV, N. T., 1967. The genus Pinus. Ronald Press Company, N. Y., USA, p. 225-226.
- MORGENSTERN, E. K., 1982. Interactions between genotype, size and silvicultural treatment. Information report PI-X-14. Patawa National Forestry Institute. Canadian Forestry Service.
- _____, y TEICH, A. H., 1969. Phenotypic stability of height growth of Jack pine provenances. Canadian Journal of genetics and cytology. vol. XI, núm. 1. p. 110-116.
- MUSALEM, M. A., 1984. Effect of enviromental factors on regeneration of Pinus montezumae Lamb., in a temperate forest of México. Ph. D. Thesis, Yale University, USA. p. 1-5 y 101-114.
- _____, 1985. Influencia del fotoperiodo y la temperatura en la germinación de semillas de Pinus montezumae Lamb. En: III Reunión Nacional sobre plantaciones foestales. Pub. esp. # 48, INIF, México. p. 139-152.
- NEPAMUCENO M., F. et al., 1989. Prospección, conservación y evaluación de germoplasma forestal. En: Memoria del Congreso forestal Mexicano. Tomo II. Toluca, México.

_____, 1990. Lugar de origen y su relación con el crecimiento de plantas de *Pinus greggi* Engelm. y Plantación de conservación genética ex situ de pino. En: Resúmenes de 2a. Reunión Científica, Forestal y Agropecuaria, CIFAPDF, México.

NIEMBRO R., A., MUSALEM, M. y RAMIREZ M., H., 1978. Efecto del tamaño y color de las semillas de *Pinus hartwegii* Lindl. en la germinación. En: Memoria de Primera Reunión Nacional sobre plantaciones forestales. Pub. esp. # 13. SARH, México. p. 110-117.

_____, 1985. La importancia del conocimiento y la necesidad de investigación en semillas forestales para el establecimiento de plantaciones en México. En: III Reunión Nacional sobre plantaciones forestales. Publicación especial # 48. SARH, México. p. 115-122.

_____, 1986. Mecanismos de reproducción sexual en pinos. Limusa, México. p. 100-110.

_____, y FIERROS G., A., 1990. Factores ambientales que controlan la germinación de las semillas de pinos. En: Memoria "Mejoramiento genético y plantaciones forestales". Centro de genética forestal, México. p. 124-144.

NIENSTAEDT, H., 1990. Importancia de la variación natural: y Selección de especies y procedencias. En: Memoria "Mejoramiento genético y plantaciones forestales". Centro de genética forestal, México. p. 16-23 y 34-41.

_____, et al., 1990. La primera zonificación de semillas en México. Nota técnica # 6. Centro de genética forestal, México.

- OCAMPO R., R. A., 1987. Influencia de la temperatura, luz, estratificación y escarificación mecánica sobre la germinación de cuatro especies de malezas de importancia agrícola en México. Tesis, UACH, México. 79 p.
- PALOMO G., A. y MOLINA G., J. Estabilidad del rendimiento en variedades del algodónero (*G. hirsutum* L.) para la Comarca Lagunera. Agrociencia # 21. C. P., México. p. 67-76.
- PATIÑO V., F. y GARZON R. G., J. C., 1976. Manual para el Establecimiento de ensayos de Procedencias. Bol. div. # 43. INIF, México. p. 5-22.
- , 1978. Métodos de mejoramiento genético. En: Memoria de Primera reunión Nacional sobre plantaciones forestales. Pub. esp. # 13. SARH, México. p. 88-102.
- , et al., 1983. Guía para la recolección y manejo de semillas de especies forestales. Bol. div. # 63. SARH - INIF, México. p. 30-51.
- PLANCARTE B., A., 1990. Manual para el establecimiento y evaluación de ensayos de especies y procedencias. Bol. téc. núm. 4. Centro de genética forestal, México. p. 2-21.
- , 1990. Variación en longitud de cono y peso de semilla en *Pinus greggii* Engelm. de tres procedencias de Hidalgo y Querétaro. Nota téc. # 4. Centro de Genética Forestal, México. 6 p.
- POLLOCK, B. y TOOLE, V., 1984. Post-maduración, periodo de reposo y latencia. En: Semillas. USDA, CECSA, México. p. 201-213.

- QUIJADA, M., 1980. Interacción Genotipo-Ambiente. En: Mejora genética de árboles forestales; informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales. FAO, Italia. p. 231-235.
- RIVERA L., R., 1991. Determinación experimental de la capacidad germinativa de algunos cultivos hortícolas en soluciones salinas de diferente concentración total y composición cualitativa. Tesis Ing. Agrícola, UNAM, FES Cuautitlán, México. p. 34-38.
- RUIZ M., M., 1989. Variación de caracteres juveniles de 42 familias de 2 procedencias de Pinus greggii Engelm. en tres tipos de sustrato. Tesis, UACH, México. 92 p.
- RUIZ G., A., BARRIOS E, J. y GONZALEZ CH., J., 1990. Observaciones sobre algunos factores que limitan el establecimiento de la regeneración natural en bosques de pino en Calpulalpan, Tlax. Tesis, UACH, México.
- SANCHEZ A., S. y CETINA A., V., 1989. Efecto de la temperatura en la velocidad de germinación en Pinus cembroides Zucc. Memorias del III Simposio Nacional sobre pinos piñoneros. UAAAN, México. p. 40.
- S.A.R.H., 1991. Apuntes del curso: Inducción y Capacitación de Regulación Técnica y Operativa en Materia Forestal. Inédito, Subsecretaría Forestal, Dir. Gral. de Protección Forestal, México.
- SAYERS, R., 1982. Pruebas de germinación y vigor. En: Memorias del curso de actualización sobre tecnología de semillas. UAAAN-AMSAC, México. p. 129-136.

- SERRANO J., M. S., 1986. Efecto de algunos factores ambientales en la germinación de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw. bajo condiciones controladas. Tesis, UACH, Chapingo, México. p. 26-39.
- SNYDER, E. B. y ALLEN, R. M., 1971. Competitive ability of Slash pine analyzed by Genotype X Environment stability method. Proceedings of the eleventh Conference on Southern Forest tree improvement. USDA, Mississippi, USA. p. 142-147.
- SOLORZANO I., F., 1987. Efecto de algunos factores ambientales en la germinación de semillas de *Pinus hartwegii* Linl., bajo condiciones controladas. Tesis, UACH, México. 81 p.
- TOOLE, E. y TOOLE, V., 1984. Hasta que el tiempo y el lugar sean favorables. En: Semillas. USDA, CECSA, México. p. 190-200.
- VARGAS H., J. J., 1985. Respuesta a la sequía de cuatro especies de *Pinus* en estado de plántula. Tesis M. C., CP, México, 99 p.
- , y MUÑOZ O., A., 1988. Resistencia a sequía: II crecimiento y supervivencia en plántulas de cuatro especies de *Pinus*. Agrociencia # 72, CP, México. p. 197-208.
- VAZQUEZ P., S., 1988. Características de la progenie de plantaciones jóvenes de *Pinus greggii* Engelm. (2a. etapa). Tesis, UACH, México. p. 3-8 y 51-60.
- VELAZQUEZ M. et al., 1986. Influencia del tratamiento al suelo y la condición de apertura del dosel, en el establecimiento inicial de la regeneración natural de *Pinus hartwegii* Lindl. Agrociencia núm. 64. CP, México. p.147-170.

VILLAGOMEZ A., Y., 1978. Pruebas de semillas forestales y su aplicación en vivero. En: Memoria de Primera reunión Nacional sobre plantaciones forestales. Publicación especial # 13. SARH, México.p. 103-109.

_____, 1987. Germinación de semillas de *Pinus montezumae* Lamb. en diferentes temperaturas, sustratos y tratamientos de asepsia. Ciencia Forestal, 12:61, INIFAP, México. p. 159-190.

WAIZEL B., J., 1970. Análisis de la influencia de algunos factores sobre la germinación de las semillas de *Pinus strobus* var. *chiapensis* Mtz. Tesis, UNAM, México. 55 p.

WEBB, D. B., 1980. Guía y claves para seleccionar especies en ensayos forestales de regiones tropicales y subtropicales. London U. K. Overseas, Development Administration.

WRIGHT, J. W., 1976. Introduction to forest genetics. Academic Press New York, USA.

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

X. ANEXOS

A. Principales aspectos considerados por Webb (1980), para ensayos de procedencias de Pinus greggii Engelm.

Taxonomía:

Familia	Pinaceae
Sinónimos	<i>P. pseudopatula</i> (Bios.) Hort.

Distribución natural:

Latitud	20° - 28° N.
Areas	Alturas Mexicanas

Clima:

Rango altitudinal	2000 - 3000 msnmm
Precipitación media anual	650 - 800 mm
Régimen de lluvia	Verano
Estación seca	3 - 5 meses
Temp. máx. prom. del mes más cálido	16 - 24°C
Temp. mín. Prom. del mes más frío	5 - 10°C
Temp. promedio anual	10 - 15°C

Suelos:

Textura	Franco-arenosos o arcillosos
Reacción (pH)	Neutros o ácidos
Drenaje	Bueno
Otras características	Suelos profundos

Silvicultura:

Tamaño	15 - 18 metros de altura
Descripción	Siempre verde
Forma	Aceptable, mala
Necesidad de luz	Exigente
Otras características	Resistente a heladas

Rendimiento:

Volumen	5 - 13 m ³ /ha/año
---------	-------------------------------

Usos conservacionales:

Barreras rompevientos

Madera:

Densidad	0.45 - 0.48
Durabilidad natural	No durable
Preservación	Impregnación fácil
Trabajabilidad	Fácil
Condiciones de secado	Sin problemas
Otras características	Suave

Utilización:

Madera aserrada	Construcciones livianas
Madera rolliza	Estacas, pulpa de fibra larga

Vivero:

Fuentes de semilla	México, Africa del Sur
Semillas	70,000 - 80,000/Kg.
Almacenaje	En seco, en frío, durante varios años
Pretratamiento	Ninguno
Sistema de producción	En bolsas
Plagas y enfermedades:	No se ha mencionado ninguna de mayor importancia

B. Cuadro A.1.

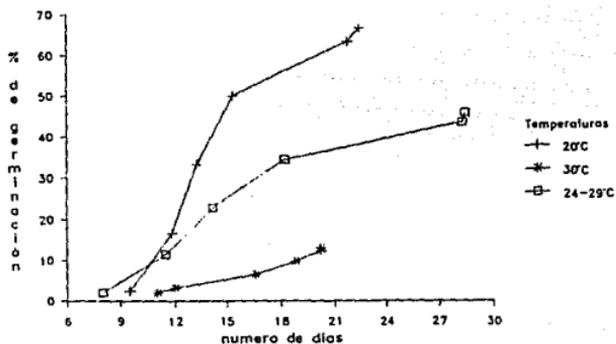
Valores ajustados e Indices ambientales calculados¹

Temperatura (°C)	PROCEDENCIAS							Indice Ambiental
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	
	Capacidad Germinativa							
10	-6.27	1.18	-6.19	8.37	13.96	-0.75	6.71	-53.04
20	50.96	98.91	71.22	106.15	94.91	66.40	92.79	27.58
30	34.18	70.25	48.52	77.49	71.17	46.71	67.55	3.94
24-29	46.66	91.57	65.41	98.82	88.83	61.36	86.33	21.53
	Valor Germinativo							
10	-0.33	-0.20	-0.41	0.44	0.55	0.03	0.42	-5.71
20	3.36	6.74	4.67	14.16	12.21	3.49	12.26	2.34
30	2.68	5.46	3.74	11.63	10.07	2.86	10.18	0.86
24-29	3.44	6.89	4.78	14.44	12.45	3.57	12.51	2.51
	Días al 25x							
20	11.95	12.02	11.99	6.43	6.77	13.11	6.46	-0.14
30	11.79	11.99	12.26	5.94	6.31	15.28	6.02	-0.02
24-29	11.54	11.92	12.68	5.20	5.60	18.56	5.35	0.16
	Días al 50x							
20	12.98	11.59	12.53	7.07	7.32	19.31	7.17	-0.61
30	16.27	16.49	16.39	6.23	6.79	17.74	6.21	0.55
24-29	14.84	14.36	14.72	6.59	7.02	18.42	6.63	0.05
	Días al 75x							
20	15.56	13.75	13.31	7.51	7.63	22.87	7.59	-1.82
30	19.28	22.91	25.54	8.04	8.20	22.52	7.63	1.88
24-29	17.32	18.10	19.12	7.76	7.90	22.70	7.61	-0.06
	Días Medios							
20	13.70	12.05	12.77	7.13	7.38	18.96	7.10	-0.75
30	15.02	17.63	17.60	6.69	6.99	18.40	6.65	0.66
24-29	14.49	15.40	15.66	6.87	7.14	18.62	6.83	0.09
	Desviación estandar							
20	3.39	2.51	2.17	0.84	0.81	4.98	0.57	-1.05
30	4.51	6.21	6.97	2.02	1.87	5.56	1.85	0.91
24-29	4.08	4.74	5.06	1.55	1.45	5.33	1.34	0.13

¹ Con estos datos se trazan las líneas de regresión
(Valores ajustados de Procedencias/Indices ambientales)

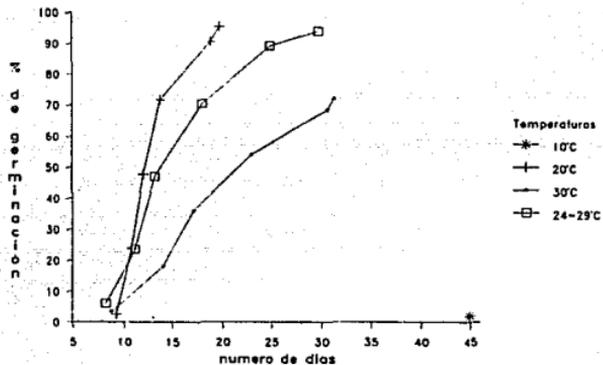
C. Gráficas del comportamiento de la germinación de las procedencias de *Pinus greggii* usadas en este estudio

Gráfica A.1. Germinación de la procedencia de Jacala, Hgo. (1)*



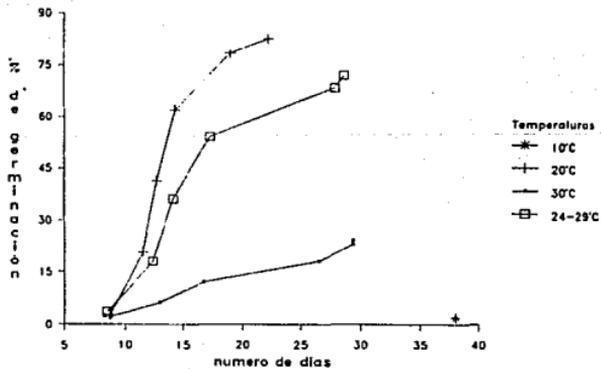
* Corresponde al número de Sillo.
** La temperatura de 10°C no aparece dada que no hubo germinación.

Grafica A.2. Germinación de la
procedencia de El Madroño Oro. (2)*



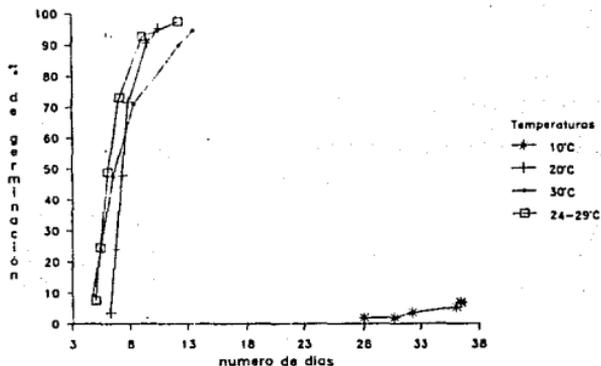
* Corresponde al numero de Sifio.

Grafica A.3. Germinación de la
procedencia de Tres Lagunas, Oro. (3)*



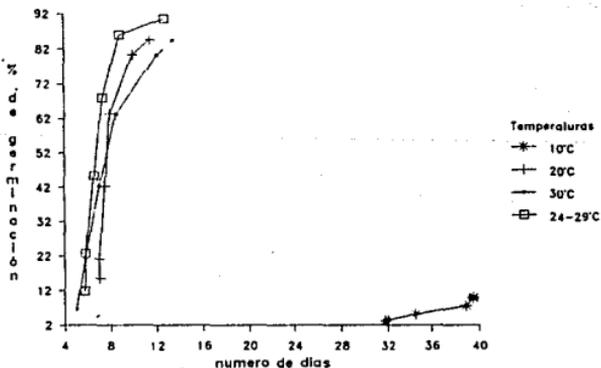
* Corresponde al numero de Sifio.

Grafica A.4. Germinación de la
procedencia de Los Lirios, Coah. (4)*



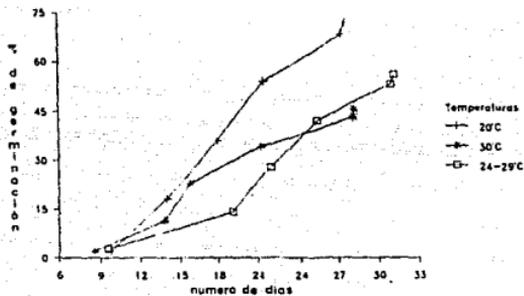
* Corresponde al numero de Sitio.

Grafica A.5. Germinación de la
procedencia de Los Lirios, Coah. (5)*



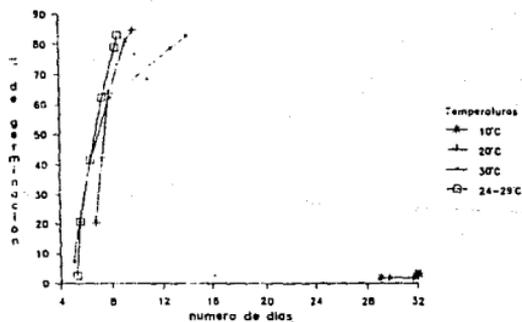
* Corresponde al numero de Sitio.

Grafica A.6. Germinación de la procedencia de Molango, Hgo. (6)*



* Corresponde al número de Sileo.
 ** La temperatura de 10°C no aparece dada que no hubo germinación.

Grafica A.7. Germinación de la procedencia de Galeana, N. L. (7)*



* Corresponde al número de Sileo.