

**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**

83  
24

**Métodos de Análisis para el Estudio de la**  
**Germinación de *Manfreda brachystachya***  
**(Cav.) Rose Fam. Amaryllidaceae**

**TESIS**  
**Que para obtener el Título de**  
**BIÓLOGO**  
**Presenta**  
**ANA MARIA LOURDES**  
**GONZÁLEZ ZERTUCHE**

México, D. F.

1992

**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.

---

## RESUMEN

Con base en los resultados del estudio del efecto de temperatura en la germinación de *Manfreda brachystachya*, se realizó una revisión de los métodos de análisis para el estudio de la germinación.

Los resultados indican que, **los principales parámetros** para el estudio de la germinación son: la capacidad de germinación, la tasa de germinación, el tiempo de inicio de la germinación, el tiempo promedio de germinación y la uniformidad.

Los **índices** que pueden ser útiles, porque dan una medida relativa de los parámetros respectivos serían el Coeficiente de Velocidad, el Inverso del Coeficiente de Velocidad, y el Coeficiente de Uniformidad. El cálculo de estos índices se puede evitar si se cuenta con programas apropiados para el ajuste de funciones logísticas.

Para esta especie **el modelo** que resultó con la mejor relación entre los datos observados y los esperados fue una **Función sigmoide exponencial**, derivada de la Función de Richards. Además con este modelo se pueden calcular los principales parámetros para el estudio del efecto de la temperatura en la germinación.

---

## **INTRODUCCION**

### **PRESENTACION**

La germinación es un proceso biológico que ha sido estudiado desde diversos puntos de vista. La literatura sobre el tema desde el punto de vista fisiológico es abundante, y en los últimos años también han aparecido trabajos de índole ecofisiológico.

Un aspecto común, en la literatura revisada es la diversidad de métodos que se emplean para presentar e interpretar los resultados, algunos de los cuales llevan a un análisis superficial de los datos.

Ante esta diversidad de métodos, algunos de ellos sólo analizados muy recientemente, es muy fácil confundirse y utilizar el que menos información da sobre el comportamiento germinativo que se está estudiando.

La mayoría de los estadísticos plantean que una situación particular depende principalmente del problema mismo; para unos el objetivo es encontrar la proporción de semillas germinadas en una muestra dentro de un período específico; unos investigadores plantean que

---

se requiere el número total de semillas germinadas y la tasa de germinación durante un período de prueba; otros investigadores están interesados en medir efectos de tratamientos específicos en el tiempo de germinación, o investigar si las diferentes combinaciones de factores pueden estar relacionados con diferentes curvas de germinación.

En diferentes publicaciones se han realizado diversos intentos para expresar en términos matemáticos el complejo proceso de germinación (Berry *et al*, 1988). Se han propuesto muchos índices y fórmulas para evaluar la germinación bajo condiciones de campo y laboratorio, pero no han sido ampliamente aceptados por limitaciones en su aplicabilidad o interpretación (Hsu *et al*, 1984).

Algunas de las limitaciones que presentan son:

- No reflejan la distribución en el tiempo.
- Incluyen valores acumulados confundiendo las tasas y porcentajes de germinación.
- No miden la varianza de las respuestas en el tiempo.
- Presuponen que las tasas de germinación son uniformes, etcétera.

Las curvas de germinación, por lo general, tienen la misma forma paramétrica, pero hay importantes diferencias en el comportamiento entre las poblaciones que son evidentes. En los estudios de germinación, las semillas en tratamiento responden en diferentes tiempos de tal manera que se observa una distribución de respuestas para cada tratamiento o unidad experimental. En múltiples ocasiones, las curvas de distribución en el tiempo son sigmoideas (Berry *et al*, 1988), pero no es frecuente que presenten una distribución normal, ya que están generalmente sesgadas positivamente en el tiempo (Nichols & Heydecker, 1968).

---

Se requiere un método más universal para proveer mayor información en los análisis de germinación. Así, la elección del mejor modelo, en el momento de analizar los resultados sobre germinación, permitirá obtener una buena relación entre los valores observados y esperados con los parámetros más relevantes en germinación (Berry *et al*, 1988).

En la actualidad, todavía no han sido establecidos modelos confiables para describir y comparar las respuestas básicas de germinación por lo que una serie de reglas o una fórmula estándar para describir y comparar las pruebas de germinación serían muy útiles.

## **OBJETIVOS**

---

### **Objetivo General**

En este trabajo se propone analizar, los métodos de análisis de datos de germinación existentes y proporcionar una serie de recomendaciones para su uso o aplicación, con base en los resultados obtenidos en el estudio del efecto de la temperatura en la germinación de la especie *Manfreda brachystachya*.

### **Objetivos particulares**

- Estudiar el comportamiento germinativo de la especie *Manfreda brachystachya*.
- Elaborar un resumen de los índices de germinación que se han propuesto para describir patrones de germinación (medición de la germinación).
- Aplicar algunos de los métodos o modelos de análisis a los datos de germinación de *Manfreda brachystachya*.
- Establecer algunas de las ventajas y desventajas de los métodos.

---

## **ANTECEDENTES**

El comportamiento germinativo de las especies posiblemente sea resultado de fuertes presiones de selección, las cuales han llevado a que la germinación ocurra cuando las condiciones ambientales favorezcan el posterior establecimiento de las plántulas.

El estudio y el conocimiento del comportamiento germinativo de las especies, así como el rango de las condiciones físicas en que se da la germinación, permiten conocer algunas de las adaptaciones de las especies para su establecimiento y distribución.

## **GERMINACION**

La germinación, desde el punto de vista fisiológico es la perforación de la envoltura de la semilla por la radícula debido a un alargamiento de las células radiculares (Evenari, 1957) y significa, el término del período de reposo del embrión. Este reposo puede ser de dos tipos, conocidos con los nombres de latencia y quiescencia.

---

La **latencia** es un período de interrupción del desarrollo debido a un bloqueo químico, metabólico o estructural que impide la germinación, mientras que **quiescencia** es simplemente un estado de reducción del desarrollo mantenido solamente por un inadecuado suministro de agua (Orozco-Segovia, 1991).

La latencia es un fenómeno ligado a la semilla desde el momento en que es liberada de la planta madre, sin embargo, puede presentarse una latencia de tipo secundaria, es decir, adquirir el estado latente después de que la semilla ha sido liberada al ambiente, debido a factores ambientales adversos.

La latencia puede ser de diversos tipos y reciben diferentes nombres de acuerdo con el autor que las clasifique, entre los que se encuentran: Crocker (1916), Vegis (1964) y Amen (1968).

Este trabajo se restringe a la clasificación de Harper (1977), quien las cataloga como **innata** (primaria), **inducida** (secundaria), e **impuesta** (ambiental, obligada o forzada).

La **latencia innata**, que equivale a la latencia primaria, se presenta en las semillas desde el momento en que se separan de la planta madre y evita la germinación por un lapso de duración variable después de la dispersión o cosecha de éstas.

En Villers (1979) se señalan como causas frecuentes de latencia innata:

- El desarrollo incompleto del embrión.
- El disparo bioquímico endógeno en el que no están involucrados factores externos a la semilla.
- La presencia de un inhibidor que puede ser lavado o destruído.
- La restricción física para el acceso del agua y/o los gases, para el crecimiento del embrión (testa dura o impermeable).
- La combinación de las causas anteriores.

---

Este tipo de latencia requiere de postmaduración del embrión y se rompe cuando la semilla es expuesta a condiciones ambientales tales como frío, tiempo de almacenamiento, tratamientos hormonales, etcétera.

Por ejemplo, las semillas del manzano después de hidratarse requieren de un período enfriamiento (5°C) para que germinen (Villers, 1979). La anual de invierno *Veronica arvensis* necesita almacenarse deshidratada por más de tres meses, con ello se evita que durante la estación calurosa y seca del año germine (Villers, 1979).

Existen semillas que requieren de altas temperaturas como las alcanzadas durante un incendio o en lugares soleados y abiertos, al medio día, para romper la testa dura como es el caso de *Ochroma lagopus* (Vázquez-Yanes, 1974).

La latencia innata se presenta frecuentemente en semillas de especies de zonas templadas o áridas, donde resulta selectivamente importante evadir el enfrentamiento de la plántula a la época desfavorable.

La **latencia impuesta**, (ambiental, obligada o forzada), está controlada por un factor bioquímico endógeno, que es regulado por factores externos que indican condiciones favorables o desfavorables para el establecimiento de plántulas, y termina al modificarse alguno de estos factores, por lo que esta forma de romperse no puede considerarse radicalmente distinta a la de la latencia innata; tal es el caso de la germinación regulada por luz y temperatura.

Por ejemplo *Urera caracasana* requiere de una amplia fluctuación de temperatura para alcanzar el óptimo de germinación, por lo que semillas que llegan a zonas donde la cobertura vegetal protege el suelo y no se presentan estas fluctuaciones, tienen pocas posibilidades de germinar y establecerse. (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1982).

---

La **latencia inducida**, que corresponde a la latencia secundaria, se desarrolla después de la dispersión en semillas que no eran latentes o que ya habían salido parcial o totalmente de la latencia primaria; aquí se hace énfasis en la función que desempeñan las condiciones ambientales que rodean a la semilla en su desarrollo.

Este tipo de latencia, por lo general está ligada al control por disparo bioquímico endógeno en el que pueden estar involucrados o no factores externos a la semilla. Una revisión extensa sobre las causas que inducen la latencia secundaria en especies, que ya habían salido de la latencia innata o que habían sido diseminadas sin latencia, se puede encontrar en Karssen (1980).

Algunas de las causas que inducen la latencia secundaria durante la permanencia de las semillas en el suelo son:

- La alternancia de períodos de sequía y humedad.
- Altas concentraciones de CO<sub>2</sub>.
- Condiciones de luz y temperatura inadecuadas.

Por ejemplo, la humedad puede causar que semillas de lechuga cv Olof se vuelvan fotosensibles al momento de la diseminación. En estudios sobre germinación de la especie *Sisymbrium officinale*, después de liberar a las semillas de la latencia innata con un tratamiento con nitratos, se presenta latencia secundaria si se les expone a una atmósfera muy aerada.

Algunos autores como Bewley & Black (1982) han simplificado los tipos de latencia a considerar y proponen sólo dos tipos básicos de latencia: la latencia primaria y secundaria, la diferencia entre ellas es el tiempo en el que se presentan, la primaria en el proceso de maduración del embrión y la secundaria en la semilla ya madura, pero ambas se pueden expresar como un problema ligado al embrión (todo lo que se ha expresado hasta ahora para las latencias innata y obligada) o bien como un problema ligado a los tegumentos.

---

La latencia al limitar o impedir la germinación, se convierte en un mecanismo predictor de épocas o lugares favorables o desfavorables para el establecimiento de las plántulas, es así como los factores que rompen la latencia actúan como indicadores de la existencia de un medio favorable para el crecimiento.

Los principales factores ambientales que regulan la germinación son el agua, la luz, la temperatura, el oxígeno y diferentes compuestos químicos.

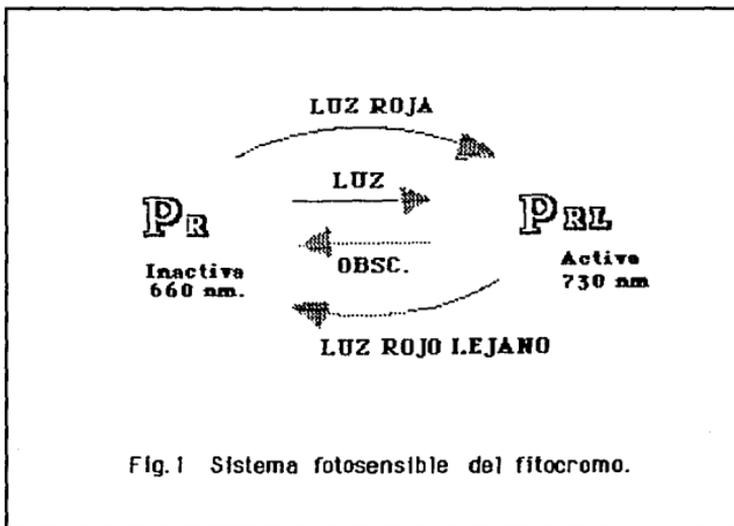
Las semillas latentes deben absorber cierta cantidad de agua antes de que inicien el proceso fisiológico, con un aumento de hidratación llegando a un nivel crítico. La cantidad de agua que se requiere para iniciar la germinación, es relativamente pequeña, generalmente no mayor de dos o tres veces el peso de la semilla. Sin embargo, durante la germinación se requiere de gran cantidad de agua para el crecimiento de las plántulas y sus requerimientos son mayores conforme la transpiración aumenta (Kramer & Koslowski, 1979).

La **imbibición** consiste en la absorción pasiva del agua del medio circundante a partir del cual es posible la germinación. Algunos de los factores que pueden afectar el proceso de absorción son: la tensión hidrostática del sustrato, el grado de contacto entre la semilla y el sustrato, que a su vez está determinado por el tamaño, forma y superficie de la semilla.

### **Germinación regulada por luz**

La luz es uno de los factores del medio que tienen más importancia en el desencadenamiento de la germinación, ya que hay especies que germinan en la luz y en la oscuridad, pero otras semillas de especies heliófitas tienen germinación regulada por luz. La intensidad de la luz, los fotoperíodos y la calidad de la luz son importantes en la germinación.

En las semillas fotosensibles el pigmento fotoreceptor es el fitocromo, sustancia que absorbe principalmente en la longitud de onda 600-760 nm con picos de absorción en los 665 y 730 nm de la longitud de onda. El fitocromo tiene dos formas químicas fotorreversibles: un arreglo circular en su forma activa (Pfr) que absorbe luz roja lejana (730 nm) y un arreglo lineal en la forma inactiva (Pr) que absorbe luz roja (660 nm) (Borthwick *et al*, 1952, en Orozco - Segovia 1992).



El arreglo de la molécula depende de la luz que ha absorbido, el rojo la activa y el rojo lejano la inactiva. En semillas que requieren luz para germinar la forma activa da lugar a la germinación mientras que la forma inactiva por lo general la inhibe.

---

Las semillas con base en la sensibilidad a la luz se clasifican en tres grupos: fotoblásticas positivas que son las que no germinan en la oscuridad, son producidas por plantas heliófilas que requieren de luz intensa para crecer; fotoblásticas negativas son las que su germinación es inhibida por la luz; por último las indiferentes que son, por lo general, plantas de sombra o árboles de bosque (Côme, 1970).

Actualmente, se ha descubierto que existen especies cuyas respuestas no caben totalmente dentro de estos grupos, como las plantas que requieren de luz para germinar, pero ésta puede ser roja lejana. El cociente rojo/rojo lejano de la luz juega un papel importante en el disparo de la germinación de muchas especies de zonas templadas y tropicales, que para germinar tienen un requerimiento de luz con un cociente alto de luz rojo/rojo lejano, como el que hay en la luz no filtrada por doseles vegetales.

Los doseles vegetales inhiben la germinación de muchas de las especies fotoblásticas positivas debido a que la luz dentro de las comunidades tiene una proporción mayor de rojo lejano que de rojo ( $R:RL < 1$ ). Esta característica del clima lumínico de las comunidades en relación a la germinación tiene gran valor en la detección de áreas apropiadas para la germinación y el establecimiento.

La luz durante la germinación promueve o puede estar involucrada en:

- El metabolismo de los lípidos.
- El control de la respiración
- La síntesis de las enzimas.
- Síntesis de hormonas como giberelina
- Efectos en la permeabilidad de la membrana.
- La síntesis de RNA mensajero.
- El metabolismo de las grasas.
- La respiración de las semillas (Villiers, 1972).

---

La luz es un factor importante en la germinación de semillas enterradas en el suelo, ya que la respuesta fotoblástica puede variar dependiendo de las especies y de las condiciones particulares del suelo.

### **Germinación regulada por la temperatura**

La temperatura es uno de los factores ambientales más importantes que determinan el comportamiento ecológico de poblaciones y especies de plantas superiores. Las respuestas térmicas de las semillas son complicadas y son expresadas como cambios en el nivel de latencia antes de la maduración y como sensibilidad a la fluctuación de la temperatura.

La temperatura durante la germinación puede modificar:

- La permeabilidad celular permitiendo el flujo de sustancias necesarias para la germinación.
- Las enzimas y sus precursores que tienen puntos de activación dependientes de la temperatura.
- El equilibrio de intermediarios respiratorios, los cuales pueden ser desfavorables a altas temperaturas o promovidos a bajas temperaturas (Villers, 1972).

La temperatura afecta la capacidad de germinación y la tasa de germinación sobre un rango definido característico para cada especie; por lo tanto, hay claramente temperaturas mínimas y máximas para la germinación de las semillas y entre éstas hay un amplio intervalo donde la germinación de las semillas puede ser alcanzado (Bewley & Black, 1986).

La temperatura óptima es aquella en la cual se da el más alto porcentaje de germinación en el tiempo más corto; a ambos extremos de la temperatura óptima, se obtiene una germinación máxima. Las especies pueden tener temperaturas máximas y mínimas ampliamente diferentes, y es útil conocerlas para propósitos experimentales y descriptivos y para establecer cuando

---

ocurre el 50% de la germinación, al cual se hace referencia como el GT<sub>50</sub>. En varias especies el GT<sub>50</sub> es afectado por factores de crecimiento. (Bewley & Black, 1985).

Aunque todas las semillas de una especie pueden germinar en un amplio intervalo de temperatura, la tasa de germinación, es decir, el tiempo necesario para alcanzar el máximo porcentaje, varía con la temperatura. En algunas semillas ocurre la germinación aún a bajas temperaturas, pero la mayoría necesita más tiempo para el disparo de la germinación. Así, esta heterogénea respuesta a la temperatura determina la distribución de la germinación en el tiempo (Kramer & Koslowsky, 1979).

Las semillas en condiciones naturales raramente se encuentran sometidas a temperaturas constantes por largos períodos; por lo general se presenta una fluctuación de la temperatura del suelo entre las horas de mayor insolación y las temperaturas de la noche o las que ocurren durante la mañana. Muchas especies requieren de estas fluctuaciones de temperatura para germinar, las cuales en lugares expuestos a la insolación y lugares sombreados indican a las especies las características del hábitat. El enterramiento puede ser percibido como ausencia de luz, o como una fluctuación de temperatura menor.

El significado ecológico de estos tipos de comportamiento térmico en semillas ha sido ampliamente discutido por Fenner (1983). En condiciones naturales la temperatura actúa regulando la germinación de tres maneras:

- Determinando la capacidad y la tasa de germinación.
- Removiendo la latencia secundaria o primaria.
- Induciendo latencia secundaria.

En algunos trabajos debido a la forma en que se maneja la información obtenida no es posible distinguir cual de estas formas de regulación está involucrada.

---

Las especies tienen un intervalo de temperatura específico para germinar. Esta sensibilidad a la temperatura limita la germinación de algunas especies a determinadas épocas del año o áreas geográficas. Algunas prefieren altas temperaturas para germinar y otras prefieren bajas temperaturas. Este efecto puede ser estudiado, experimentalmente, en lugares donde la temperatura diurna fluctúa en el suelo en claros de diferentes tamaños, el tamaño del hueco o claro influye en la amplitud de la temperatura y aparece relacionado con el porcentaje de germinación.

Las diferencias en los requerimientos de temperatura para la germinación son importantes para determinar la distribución de las plantas, porque obviamente ellas limitan la germinación a regiones que tienen las temperaturas viables, por lo tanto las especies indígenas de una región particular muestran característicos requerimientos de temperatura, ya que ellas están adaptadas a las condiciones térmicas prevalecientes en el ambiente.

### **Relación luz y temperatura**

La amplitud de la temperatura que puede alcanzar el suelo en un claro de vegetación depende de la profundidad a la cual ésta es medida. Los claros de vegetación pueden además, tener efectos importantes en la alteración de la luz ambiental en la superficie del suelo y, así las semillas enterradas pueden usar otro mecanismo diferente al del sistema del fitocromo para obtener información posicional.

En muchos casos, la temperatura es un factor que regula o modifica la respuesta fotoblástica. Después de un pretratamiento de baja temperatura, pueden germinar especies que no lo hacen en relaciones R/RL bajas (Pons, 1984). En otras especies el tratamiento de estratificación puede causar una reversión en la oscuridad (Pfr a Pr) y aumentar el nivel de requerimiento de Pfr para alcanzar el umbral de respuesta (Senden *et al*, 1986).

---

Los investigadores Erasmus y Standen (1986, en Orozco - Segovia y Vázquez - Yanes, 1992 ) han propuesto que:

- La temperatura y el fitocromo actúan al mismo nivel sobre las membranas celulares en el proceso de germinación.
- Las formas intermedias entre Pr y Pfr son dependientes de la temperatura.
- La temperatura puede regular la formación de “productos” que promovidos por la luz actúan en los mecanismos de germinación.
- La imbibición a bajas temperaturas puede ser suficiente para sensibilizar las semillas a la irradiación.

En general, se ha planteado que la interacción entre luz y temperatura tienen importancia ecológica tanto en especies de zonas templadas como en especies tropicales .

Las características de la germinación pueden aportar información del origen geográfico de las plantas cultivadas, aún en plantas con una larga historia de cultivo; ya que los caracteres de estas especies pueden haber permanecido sin cambio, aunque limitados por el rango climático sobre el cual se haya practicado el cultivo.

### **Profundidad de la latencia y Polimorfismo**

Existen muchas especies cuyas semillas poseen diferentes grados de latencia o patrones de germinación multimodal, frecuentemente esta variabilidad fisiológica está relacionada con diferencias en la morfología de la semilla.

Este polimorfismo puede manifestarse por diferencias en la latencia entre semillas provenientes de una misma inflorescencia, de diferentes inflorescencias de la misma planta o de diferentes plantas, sin embargo se ha demostrado que esta variabilidad está controlada genéticamente (Westoby,1981) o ambientalmente (Silvertown,1980).

---

La latencia puede ser superficial o profunda dependiendo de los factores ambientales que rodean a la semilla durante su formación, cuyas señales se traducen en un control hormonal endógeno, por ejemplo: la temperatura, el fotoperíodo, la calidad de la luz y el estrés hídrico.

También, influyen las señales derivadas de la estrecha relación en que se encuentran el tejido materno y las semillas, como la competencia por oxígeno entre estos tejidos y el embrión ó la coloración de estos tejidos, ya que pueden filtrar la luz diferencialmente y permitir el paso de luz de onda larga; por lo que se dice que la planta, madre rige y controla la germinación de su progenie. En el caso de la latencia secundaria la profundidad de la latencia depende también de los factores ambientales que la determinan (Villers, 1972).

---

## MEDICION DE LA GERMINACION

---

La magnitud en la que la germinación progresa puede determinarse por la absorción de agua y la respiración, pero estas mediciones dan sólo una amplia indicación de que el proceso de germinación se inició, pero no necesariamente indican que se completará. El único estado de la germinación que se puede precisar es la terminación (emergencia de la radícula).

En condiciones experimentales raramente ocurre la germinación en el total de una población de semillas debido a diferentes causas:

- Inviabilidad inicial.
- Pérdida de la viabilidad por el tratamiento.
- Pérdidas azarosas.
- Pérdidas reales debidas a la prematura terminación de la prueba por encontrarse las semillas en latencia, etcétera.

Es importante distinguir entre estas diferentes causas, ya que estas pérdidas complican el análisis estadístico y la subsecuente interpretación (Scott, 1984). Por lo cual, se recomienda un estudio del comportamiento germinativo para cuantificar la viabilidad inicial de las semillas y caracterizar la distribución de la germinación de las semillas.

Generalmente, la germinación está considerada como una respuesta cualitativa del desarrollo de una semilla, que puede proporcionar diferentes cantidades de información dependiendo de la forma en que es evaluada. A continuación, se definen algunos de los términos y parámetros ligados a este proceso. En principio, es importante aclarar que cada lote o población de semilla tiene un rango específico dentro del cual la germinación puede ocurrir por lo que es posible marcar grados de germinabilidad (Washitani, 1984).

---

El grado en que la germinación se completa, se expresa generalmente, como un porcentaje en un intervalo de tiempo, que es el período que tarda en completarse la germinación (Janssen,1973).

La **capacidad de germinación**, es el máximo porcentaje de semillas capaces de germinar, en condiciones óptimas. Sin embargo, se puede hablar de baja capacidad o de reducción de la capacidad de germinación, cuando sólo un bajo porcentaje de las semillas germinan, a pesar de que son viables. Esta conducta puede ser debida a la latencia o a las condiciones ambientales. La expresión del porcentaje final indica sólo la proporción de semillas que lograron el estado de emergencia, pero no revela el tiempo tomado para ello.

Otro aspecto en el que pueden diferir las poblaciones es la **uniformidad**, que es el grado de simultaneidad o sincronía de la germinación. Una población carece de uniformidad cuando las semillas individuales alcanzan su germinación en períodos de tiempo muy diferentes. Un comportamiento altamente uniforme se da cuando la mayoría de las semillas germinan en un intervalo de tiempo relativamente corto, en otras palabras, es cuando las tasas de germinación individual son cercanas al tiempo promedio de germinación de la población. La uniformidad puede además ser expresada como la varianza de los tiempos individuales alrededor del tiempo promedio.

Algunas poblaciones pueden ser semejantes en capacidad de germinación y uniformidad, pero diferenciarse en la **tasa de germinación** que puede ser definida como el recíproco del tiempo tomado para completarla, es decir, el porcentaje obtenido después de cierto tiempo bajo ciertas condiciones estipuladas, las cuales pueden no ser óptimas, (diferentes tratamientos). La tasa de germinación generalmente aumenta regularmente, de un mínimo a un máximo y entonces disminuye. Esta puede ser expresada para

---

una semilla individual, para una población o para una fracción de ésta (50%).

Las diferencias entre las curvas de germinación nos indican cambios en:

- Tiempo medio de germinación.
- Nivel final de germinación (capacidad).
- Variabilidad alrededor del tiempo medio de germinación (Uniformidad).
- Tasa de germinación (forma de la curva).

Se han propuesto diferentes índices, métodos o fórmulas para medir estas diferencias.

---

## INDICES DE GERMINACION

### **Coefficiente de velocidad** (Kotowski, 1926).

Es una medida de la distribución en el tiempo de la germinación, no es estrictamente una medida de la velocidad. Este coeficiente es el número de semillas germinadas inversamente relacionado con el tiempo y el número de semillas germinadas por día.

$$CV = [ \sum n_i / \sum (n_i * t_i) ] * 100$$

CV = Coeficiente de velocidad.

$n_i$  = Número de semillas germinadas el día  $i$ .

$t_i$  = Número de días desde la siembra .

### **Indice de Abbot** (Abbot, 1955).

Intenta expresar el tiempo de la germinación en función del tiempo con coeficientes, asignándole a los coeficiente el valor de: 1 para las semillas germinadas el primer día, 1/2 para las del segundo día, 1/3 para las del tercer día, etc. y después sumándolos.

$$IA = \sum ((n_i) / i)$$

IA = Indice de Abbot.

$i$  = Número de día.

$n_i$  = Número de semillas germinadas el día  $i$ .

---

**Índice de germinación.** definido en Scott, (1984).

Este índice es el producto de número de semillas germinadas en el tiempo en relación al número de semillas sembradas.

$$IG = \Sigma (t_i * n_i) / N$$

IG = Índice de germinación.

$n_i$  = Número de semillas germinadas el día  $i$ .

$t_i$  = Número de días después de la siembra .

$N$  = Total de semillas sembradas.

**Valor de germinación.** Czabator(1962).

Es el producto del pico de germinación por la media diaria del número de semillas germinadas. El pico de germinación es definido como el número de semillas acumulado en el punto de inflexión de la curva en el cual, la tasa de germinación empieza a disminuir (Janssen, 1973). Intenta expresar la tasa de germinación y el porcentaje final en un solo índice.

$$C = p * m * t^{-1}$$

$C$  = Valor de germinación.

$p$  = Porcentaje acumulado hasta el pico germinación, que equivale al punto de inflexión de la curva.

$m$  = Porcentaje final de germinación.

$t$  = Tiempo de germinación desde la siembra hasta que germina la última semilla.

---

### **Velocidad de germinación . Maguire(1962).**

Propuso relacionar el número de semillas germinadas con el tiempo de germinación cómo una fórmula para calcular la velocidad.

$$M = \Sigma (n_i / t)$$

M = Velocidad de germinación.

$n_i$  = Número de semillas germinadas el día i.

t = Tiempo de germinación desde la siembra hasta la germinación de la última semilla.

### **Inverso del coeficiente de Velocidad. Harrington(1962).**

Este índice se ha reportado en diversas ocasiones con diferentes nombres:

**Tiempo promedio de germinación** Come,(1968).

**Resistencia a la germinación** Gordon,(1971).

Equivale a una media de germinación ponderada.

$$t = \Sigma(t_i * n_i) / \Sigma n_i$$

t = Tiempo promedio de germinación.

$t_i$  = Número de días después de la siembra.

$n_i$  = Número de semillas germinadas el día i.

### **Respuesta del punto medio. Went (1957)**

Es el tiempo en número de días para que germine el 50% de las semillas sembradas, provee una medida de la localización de los datos no distribuidos normalmente.

---

**Coefficiente de Timson.** Timson (1965).

Este valor involucra el número de semillas germinadas diariamente, inversamente relacionado con el tiempo desde el inicio de la siembra, después estos valores son sumados. Combina tasa de germinación y el nivel final de emergencia.

$$T = \Sigma [ g_i ( j - i + 1 ) ]$$

T = Coeficiente de Timson.

$g_i$  = Porcentaje de germinación en el día  $i$ .

$j$  = Número de intervalos de tiempo desde la siembra hasta que germina la última semilla.

**Tiempo de latencia.** Come(1967).

Tiempo necesario para el inicio de la germinación.

**Pendiente de la porción lineal.** Come (1967).

Porcentaje de semillas que germinaron en los primeros 2 días, después del inicio de la germinación, sobre la porción lineal de la curva.

**Tasa de emergencia.** Gramshaw(1972).

Estimó la tasa de germinación como el tiempo necesario para que germinen el 50% del total de semillas germinadas en un periodo determinado: 10 días.

**Recíproco del tiempo.** Kanemasu *et al.*(1975), Angus(1981) .

Es el recíproco del tiempo necesario para que germinen el 50% del total de semillas germinadas.

---

**Coefficiente de uniformidad de la germinación. Nickols & Heydecker (1968).**

Este coeficiente mide la varianza en el tiempo de germinación.

$$CUG = \Sigma (n_i) / \Sigma [(g - t_i)^2 * n_i]$$

CUG = Coeficiente de uniformidad de la germinación.

g = t = Tiempo promedio de germinación o resistencia a la germinación.

t<sub>i</sub> = Número de días después de la siembra.

n<sub>i</sub> = Número de semillas germinadas el día i.

**Factor de uniformidad. Gordon (1971).**

Este factor también mide la varianza en el tiempo de germinación.

$$U = \Sigma [(g - t_i)^2 * n_i] / n_i - 1$$

g = t = tiempo promedio de germinación.

t<sub>i</sub> = número de días después de la siembra.

n<sub>i</sub> = número de semillas germinadas el día i.

---

## AJUSTE DE CURVAS

### **Transformación Probit.** Reportado en Scott (1984).

Algunas curvas acumulativas pueden transformarse en líneas rectas mediante la transformación Probit; que es la probabilidad de que una semilla individual germine para un tiempo determinado expresado como  $\text{Probit} = \log (P/1 - P)$ .

La graduación de la escala probabilística se hace en unidades de desviación estándar. Estas desviaciones correspondientes a porcentajes acumulativas se denominan desviaciones equivalentes normales (D.E.N.). Estas son codificadas mediante la adición de 5.0 lo cual evitará los valores negativos en la mayoría de las desviaciones (Sokal, 1969).

### **Regresión polinomial ortogonal.** Goodchild & Walker (1971).

Plantean que en las investigaciones, las diferentes combinaciones de factores, pueden estar relacionados con diferentes curvas de germinación. El mejor método para estudiar la germinación en relación con componentes bioquímicos y fisiológicos es uno que mida los cambios en las tasas de germinación y la germinación total. Un modelo de regresión provee esta información, ya que describe la forma de la curva y los cambios en la tasa de germinación.

Ajustaron por el método de regresión polinomial curvas estándar (curvas de porcentaje acumulado). Resultando regresiones de primer orden (lineales) y de segundo orden (cuadrática). El orden de ajuste fue determinado por el método de residuales eligiendo la que presentaba la sumatoria más reducida.

$$y = b + m x$$

$$y = a + b x - c x^2$$

lineal

cuadrático

## **Función distribución normal. Janssen(1973).**

Cualquier técnica de ajuste podría ser apropiada cuando no se ha hecho ningún comentario acerca de la forma de la curva o ninguna consideración para cierto tipo de curva; sin embargo, una razón fundamental para pensar que las curvas tengan la forma de una distribución normal acumulada, es que es muy grande el número de factores ambientales concernientes a la respuesta germinativa de las semillas. Estos factores pueden ser determinados genéticamente o por las condiciones de crecimiento de las plantas maternas, por lo cual podemos esperar que la germinación de semillas de una población puede estar distribuida normalmente.

Janssen utilizó el programa FARMFIT, que usa esencialmente el método de Gauss-Newton; para encontrar un ajuste de mínimos cuadrados a una serie de datos con:

Función de distribución normal

$$F(t, a, \tau) = \sum a_j \phi_j(t, \tau)$$

Función de densidad normal

$$F(t, a, \tau) = a * e^{-\tau^2 (t - \tau_2)^2} * e^{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

$$y = \frac{I}{\sigma \sqrt{2\pi}} * e$$

F = Función de distribución normal.

$\tau_2 = \mu$  = Media del tiempo de germinación.

$\tau_1 = \sigma$  = Desviación standard

a = Cercanamente relacionado a  $\sigma$  y al total de la suma acumulada.

I = Porcentaje final de germinación.

### **Función de Richards.** (Richards, 1959).

La función de crecimiento de Von Bertalanffy (1941, 1957) fue derivada de consideraciones teóricas para el crecimiento de animales. En 1959, Richards extendió esta función para incluir parámetro  $m$  mayores que la unidad.

El término exponencial es positivo cuando  $m$  es mayor que la unidad y negativo cuando es menor, para  $m = 1$  es indefinido. Las diferentes formas que pueden ser generadas son debidas a diferencias de  $m$ . Cuando  $m = 0$ ,  $m = 1$ , ó  $m = 2$  la función de Richards tiene como casos especiales las funciones Monomolecular, Gompertz, o Logística respectivamente.

$$G = A (1 - be^{-(a+kt)})^{\frac{1}{1-m}}$$

Si  $m = 0$  y  $a = 0$

$$G = A (1 - be^{-kt})$$

Si  $m = 2$  y  $a = 0$

$$G = \frac{A}{1 + be^{-kt}}$$

Si  $m = 2$

$$G = A (1 - be^{-(a+kt)})$$

$G$  = Porcentaje de germinación en el tiempo  $t$ .

$A$  = Máximo # de semillas germinadas.

$b$  = Un parámetro escala dependiente (inicio de la germinación).

$k$  = Tasa a la cual la función  $G$  cambia (velocidad de germinación).

$m$  = Parámetro de la forma de la curva (posición del punto de inflexión).

Los parámetros A, b, k, y m deben estimarse a partir de la muestra y pueden tomar entonces positivos o negativos. En dinámica de poblaciones la primer derivada se usa frecuentemente:

$$\frac{dG}{dt} = bG \frac{A - G}{A}$$

En el estudio de Schimp, Flint, & Palmbald, (1977) se demuestra un método para derivar k con una simple regresión. Como G es conocido, la función logística puede ser fácilmente ajustada por la técnica desarrollada por Berkson (1953). Una regresión lineal de logaritmos,  $\log[P/100\%-P]$  en t es calculada. El coeficiente de regresión es el estimador de k y la intersección el estimador b. P es el porcentaje de G que ha germinado para el tiempo t. La verdadera curva logística tiene dos límites asintóticos: las sustituciones pueden ser hechas para P=0% y 100% nosotros usamos 1/2M y (2M-1)/2M, respectivamente.

## INDICES DE GERMINACION

Símb	Nombre	Fórmula	Referencia
CV	Coef. de Velocidad	$CV = [\Sigma(n_i) / \Sigma(n_i * t_i)] * 100$	Kotowski (1926)
IA	Índice de Abbot.	$IA = \Sigma[(n_i) / i]$	Abbot (1955)
IO	Índice de Oerm.	$IO = \Sigma(t_i * n_i) / N$	Scott (1984)
C	Valor de Oerm.	$C = \Sigma p * N * 1 / t$	Czabator (1962)
M	Velocidad de Oerm.	$M = \Sigma(n_i / t)$	Meguire (1962)
1/CV	Inverso del CV	\	Harrington (1962)
$\bar{t}$	Tiempo promedio	$\bar{t} = \Sigma(t_i * n_i) / \Sigma(n_i)$	Bewley & Black (78)
$\bar{g}$	Resistencia a Oer.	/	Gordon (1971)
CI	Coef. Timson	$T = \Sigma[n_i(j-i+1)]$	Timson (1965)
CUO	Coef. Uniformidad	$CUO = \Sigma n_i / \Sigma[(\bar{t} - t_i)^2 * n_i]$	Nickolls & Heydocke (1968)
U	Factor de Unif.	$U = \Sigma[(\bar{t} - t_i)^2 * n_i] / \Sigma n_i$	Gordon (1971)
TL	Tiempo de Latencia	TL = t cuando $n > 1$	Côme (1967)
PL	Pendiente de la porción lineal	$PL = n_1 + n_2$	Côme (1967)
W	Resp al punto medio	W = t cuando $\Sigma n_i = 50\%$ de N	Went (1957)
G	Tasa de emergencia	IA = t cuando $\Sigma n_i = 50\%$ de $\Sigma n_i$	Gramshaw (1972)
K	Recíproco del tiempo	$K = 1/t$ cuando $\Sigma n_i = 50\%$ de $\Sigma n_i$	Kanemasu (1975)

N = Total de semillas sembradas

$\Sigma n_i$  = Total de semillas germinadas.

$n_i$  = num. de semillas que germinaron en el intervalo de tiempo i.

$q_i$  = Porcentaje de semillas que germinaron en el intervalo de tiempo i

T = Tiempo total (desde la siembra hasta la emergencia de la última semilla)

t = Tiempo desde que germinó la primera semilla hasta la última.

$t_i$  = Intervalo de tiempo

j = Numero de intervalos de tiempo.

$\Sigma p$  = Porcentaje de máxima germinación por día (pico de la curva).

---

## **MATERIALES Y METODOS**

### **DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.**

#### **Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel**

##### **Localización**

La colecta de semillas se realizó en la **Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel**, localizada en la Ciudad de México en el Distrito Federal, pertenece a la Delegación de Coyoacán y forma parte de los terrenos de la Ciudad Universitaria (Fig.3).

Se encuentra localizada en el suroeste del Valle de México entre los paralelos 19°20'02" y 19°13'45" latitud norte, y los meridianos 99°08'26" y 99°14'03" longitud oeste. A una altitud entre los 2250 m.s.n.m. y 3100 m.s.n.m. (Rzedowsky,1954).

El derrame volcánico original fue de 80 km<sup>2</sup> que en su mayoría ha sido ocupado por asentamientos humanos, el área protegida consta de 1.46 km<sup>2</sup> (Rojo,1990) dividida en dos áreas por la Avenida de los Insurgentes.

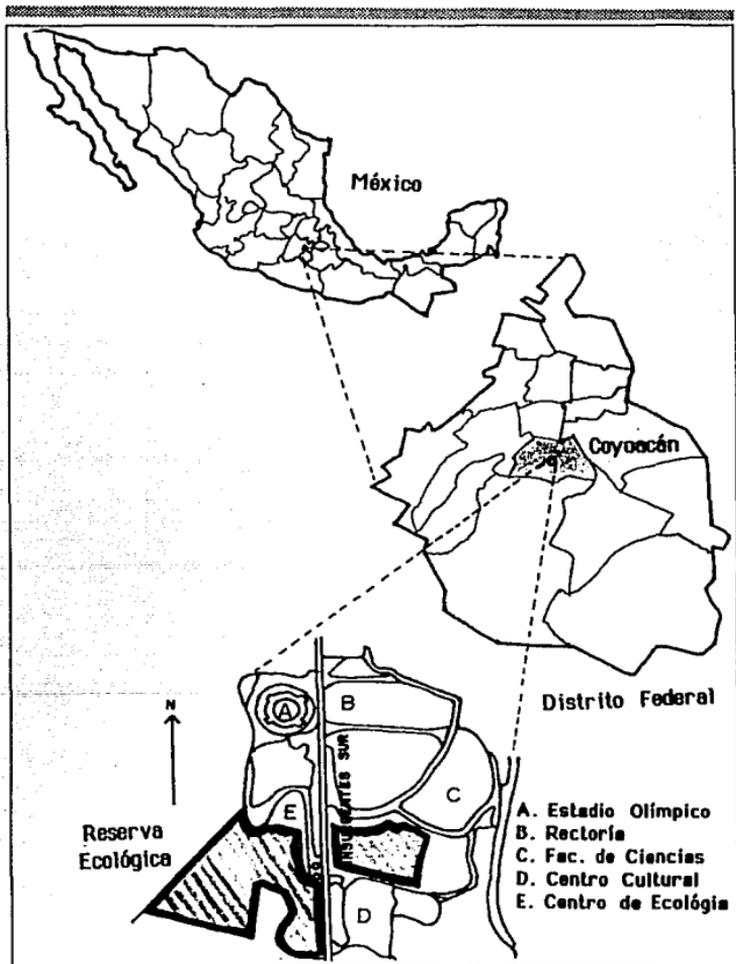


Fig. 3 Localización geográfica del área de estudio.

---

## Origen

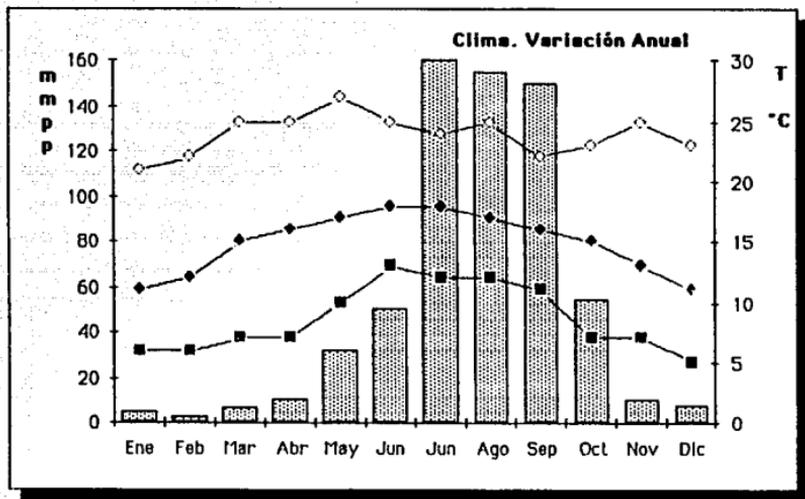
Tiene una edad aproximada de 2500 años, producto de la erupción del Xitle, volcán que forma parte del Eje Neovolcánico. El derrame volcánico originalmente se extendía desde el pueblo de San Angel hasta la falda del Ajusco, cubriendo una area de 80 km<sup>2</sup> aproximadamente. Está formado principalmente por roca ígnea basáltica de olivino con afinidad alcalina y arena volcánica. El color de la roca es gris oscuro, presenta gran cantidad de hoquedades y grietas de profundidad y forma variable.

Los suelos que se han formado sobre la lava son de origen eolítico y orgánico, con un espesor de muy pocos centímetros. Sus constituyentes son arenosos, limosos, moderadamente ácidos, poseen gran cantidad de potasio y calcio y son pobres en nitrógeno y fósforo reciclables (Rzedowsky,1954).

Presenta una topografía accidentada, que da origen a un medio muy heterogéneo con gran cantidad de microambientes, lo cual ha permitido el establecimiento de una flora muy variada. (Diego, 1970). Se encuentra en la zona de transición entre la región neártica y neotropical y contiene elementos florísticos y faunísticos de ambas (Alvarez, *et al* 1982).

## Clima

En términos generales, comparte las características climáticas del sur del Valle de México: clima templado, sin estación fría pronunciada; estación lluviosa de junio a octubre; presión atmosférica baja; la humedad absoluta es baja y la relativa varía con la temperatura (Fig.4). De acuerdo con la clasificación de Koepén (modificada por García,1988) es Cb(Wo)(W)(i) equivalente a un clima templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano (González, 1991).



**Fig. 4 Variación Anual de la precipitación (barra) y la temperatura mensual (línea) max(◇) media (△) min (■). (Tomado de Pozos, 1991)**

## Vegetación

Se encuentran comunidades vegetales de muy variado origen y composición. En la parte alta del derrame se encuentra un bosque de aile (*Alnus firmifoliae*), seguido por el bosque de pino (*Pinus hartwegi*, *Pinus teocote*), bosque de encino (*Quercus centralis lavosum*), matorral de encino (*Quercus rugosae crassipedis*), y hacia el valle en las zonas de menor altitud predomina la asociación dominada por el palo loco (*Senecio praecox*) que ocupa la mayor extensión del área de la Reserva. Este tipo de asociación se clasifica como vegetación tipo matorral xerófito abierto, de estructura heterogénea.

---

## DESCRIPCION DE LA ESPECIE

---

*Manfreda brachystachya* (Cav.) Rose.

*Manfreda* es un género que pertenece a la familia de las Amaryllidaceae cercanamente emparentada con los agaves (Rzedowsky, 1990). Algunos autores (Eguiarte, 1983,) plantean que pertenece a la familia de las agaváceas por su estructura floral. Esta planta parece un pequeño agave con suaves hojas constituyendo una roseta de 60 cm. de diámetro aproximadamente (Fig.5).

Esta planta es iterópara y, cada año, produce una inflorescencia con un promedio de 30 flores. Durante la época de sequía las hojas se secan, pero nuevas hojas crecen otra vez con las primeras lluvias del siguiente año. El período de floración es de agosto a octubre (en el Valle de México). Algunas observaciones hacen suponer que pueden ser polinizadas por murciélagos (Eguiarte, 1987 y 1988).

### Distribución

Se distribuye desde el centro de Saltillo, Coahuila, hasta Tegucigalpa, Honduras, y desde el nivel del mar hasta 3000 m.s.n.m.. Se le encuentra en una gran variedad de ambientes, pero generalmente asociada a algún tipo de perturbación primaria (pedregales), o secundaria (construcciones o carreteras).

### Usos

Forma parte de los "amoles", plantas cuyos bulbos, tallos, hojas, o frutos hacen espuma al ser frotados en el agua, debido a la presencia de las saponinas. En Chiapas y Guatemala todavía se usan como jabón y se considera que su uso como shampoo previene la calvicie. También, se atribuyen propiedades medicinales que no han sido demostradas. (Verhoek, 1978 en Eguiarte, 1983) .



Fig. 5 *Manfreda brachystachya*.

---

## **Colecta**

La colecta de semillas fue de diferentes individuos que se encontraron en diferentes lugares de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel, en noviembre de 1991. Las semillas colectadas se limpiaron y se almacenaron en bolsas de papel en condiciones ambientales de laboratorio.

## **METODOLOGIA**

---

### **Estudio del comportamiento germinativo**

Se aplicaron diferentes tratamientos de rutina para determinar las condiciones óptimas de germinación (Fig.6).

#### **Tratamientos:**

##### **Temperatura:**

Constante: 24 hrs. a 25°C

Termoperíodo: 12 hrs a 20 °C y 6 hrs a 35°C

##### **Luz:**

Fotoperíodos: 12 hrs con luz y 12 hrs oscuridad.

Oscuridad constante.

#### **Pre-tratamientos:**

##### **Escarificación:**

Acido Sulfúrico concentrado durante 1 min.

##### **Estratificación:**

Enfriamiento a 5°C en imbibición, durante 8 días.

- Muestras de 50 semillas fueron colocadas en cajas de Petri de 9 cms. de diámetro, que contenían 10 ml de agar hidrostático al

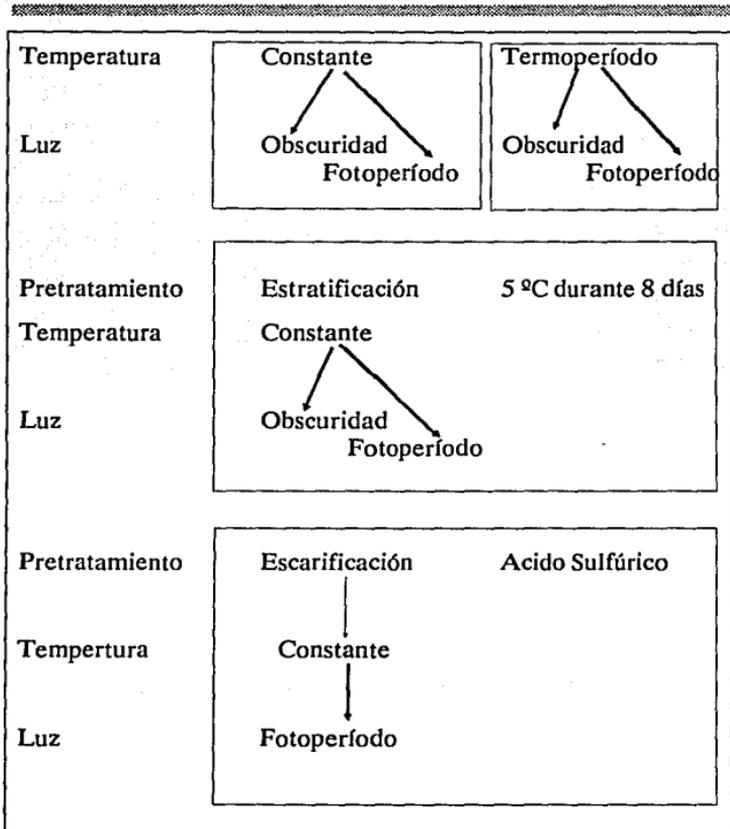


Fig. 6 Diseño de tratamientos.

---

1% en agua destilada. Se realizaron 5 repeticiones para cada tratamiento.

- La temperatura fue controlada en cámaras de germinación Conviron Modelo E 15 (Controlled Environments; Winnipeg Canada.)
- Después del inicio de la imbibición el número de semillas germinadas fueron contadas en intervalos de 24 horas durante 15 días. La germinación fue determinada por la emergencia de la radícula.

### • **Estudio del efecto de la temperatura**

El intervalo de temperatura que se estudio fue de 11°C a 35°C con una diferencia de dos grados entre cada tratamiento.

- Muestras de 50 semillas fueron colocadas en tubos de ensaye con 15 ml de agar hidrostático al 1% en agua destilada. Se realizaron 5 repeticiones para cada tratamiento.
- La temperatura fue controlada en un gradiente de temperatura diseñado por el Centro de Instrumentos de la UNAM.
- Se iluminaron con lámparas fluorescentes *day light* de 20 watts con fotoperíodos de 12 hrs. luz y 12 hrs. oscuridad.
- Las semillas germinadas fueron contadas a intervalos de 24 hrs, a partir de la siembra, durante 15 días.
- El resto de las condiciones ambientales se mantuvieron constantes.

### • **Estudio de los métodos de análisis**

Los datos obtenidos en el estudio del efecto de la temperatura se analizaron por los siguientes métodos:

- Se calcularon los diferentes índices reportados en la bibliografía, utilizando el programa Lotus 123.
- Las curvas de germinación se ajustaron con las diferentes funciones reportadas utilizando el programa de Statgraphics y el programa para ajuste de curvas de Stein(1981).

---

## RESULTADOS

### ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO GERMINATIVO

---

Al aplicar los tratamientos de rutina se obtuvieron los siguientes resultados:

- En el tratamiento de 25°C se alcanza el 100% de germinación en 12 días. (fig.7)
- La capacidad de germinación disminuyó con la fluctuación de temperatura. (fig.8)
- Esta especie germina tanto en presencia de luz como en la oscuridad.
- No hay diferencia en la capacidad de germinación cuando se aplican pre-tratamientos de escarificación (ácido sulfúrico) (fig.9) o estratificación (frío) (fig.10).

Por lo tanto podemos concluir que la germinación de las semillas de *Manfreda brachystachya* parece ser óptima a 25°C y ser sensible a cambios de temperatura, no es fotosensible y no presenta ningún tipo de latencia.

---

## ESTUDIO DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA

---

En el estudio del efecto de la temperatura se obtuvieron los siguientes resultados:

- La temperatura afecta la capacidad y la tasa de germinación en esta especie. (fig.11,19 y 20)
- La **temperatura óptima** para la germinación es la de 25°C ya que se presenta la máxima capacidad germinativa, la tasa de germinación mas alta y la mayor uniformidad.
- En el intervalo de temperaturas 21 -27°C se alcanza también una alta capacidad de germinación, sin embargo la tasa de germinación puede ser diferente.
- Las temperaturas de 19° y 29°C las podemos considerar como subóptimas, se logra un 75% de germinación pero disminuye la tasa de germinación.
- Las **temperaturas máxima** es la de 31°C y la **mínima** de 17 °C ya que se logra el 50% de germinación.
- La germinación decae hasta 34% en los 15 grados y sólo se logra un 4% en los 13 grados, a los 11 grados ya no se presenta germinación. La germinación disminuye a 24% en 33°C y hasta el 5% en 35°C. Por lo que podemos considerar a las temperaturas de 15°C y la de 33°C como **temperaturas extremas**.

---

## METODOS DE ANALISIS

---

### Indices de germinación

Graficar el **porcentaje final de germinación** (Fig.11) o el **número final de semillas germinadas** (Fig.12) permite determinar en que temperaturas se alcanza la máxima germinación, el 50%, o cuando ya no hubo germinación.

Este tipo de gráficas indican cuál fue la capacidad de germinación, pero no dan información sobre cómo fue la distribución de la germinación en el tiempo. No hay diferencias importantes en el tipo de información entre estas formas de graficar, sin embargo, la representación en porcentajes es más usual y aceptada ya que permite comparar muestras que no tengan el mismo tamaño.

En esta especie se alcanza el 100% de germinación en el intervalo comprendido entre 21 y 27°C; aproximadamente un 75% de germinación en 19 y 29°C y en las temperaturas de 17 y 31°C se alcanza entre el 50 y 60% de germinación, en 15°C todavía se alcanzó un 40 % de germinación, pero disminuye significativamente a 13°C, en la temperatura de 11°C ya no germina ninguna semilla; en temperaturas arriba de 31°C también, disminuye el porcentaje de germinación, del 60% que se alcanzó en 31°C decae hasta el 40% en 33°C, llegando al 20% en 35°C.

Graficar el **número de semillas que germinaron cada día** (fig.13 y 14) permite observar la distribución de la germinación en el tiempo, la uniformidad, que tan cercana es a una distribución normal y el día en el que se logra el máximo número de semillas germinadas (pico de germinación).

En esta especie se observa que la germinación en la temperatura de 25°C presenta una distribución cercana a la normal

---

aunque ligeramente sesgada positivamente, es decir, se observa una tasa de germinación más alta al principio del proceso y disminuye conforme pasa el tiempo.

El día 7 se alcanza el máximo número de semillas germinadas en la temperatura de 27°C, en las temperaturas de 29°C y 31°C se alcanzó hasta el día 8 (Fig.15); en las temperaturas de 23°C y 19°C el máximo número de semillas germinadas ocurre entre los días 6-8, pero disminuye el día 7; esta disminución se observa también, el día 8 en los 21°C (Fig.14); en las temperaturas por debajo de los 17°C el máximo número de semillas está desfasado hasta al día 11 (Fig.13).

Graficar la **germinación acumulada en el tiempo** (Fig. 17 y 18) permite observar las diferencias en la capacidad de germinación y el tiempo (día) en que se alcanza; también, permite observar y comparar las diferencias en la tasa de germinación, así como las similitudes y diferencias entre las curvas.

El método estándar de presentar solo las curvas de porcentaje acumulado de germinación tiene la desventaja de que la presentación de las curvas requiere de mucho espacio y es difícil usar estas curvas para posteriores cálculos.

En esta especie podemos observar que en la temperatura de 31°C el 50% de semillas germinadas se alcanza el día 8 y en la de 17°C hasta el día 11. En las temperaturas de 31°C y 33°C se observa una reducción en la tasa de germinación y en la capacidad de la respuesta germinativa, lo que no ocurre cuando disminuye la temperatura. También, podemos observar la similitud y las diferencias entre la curvas de 25-23°C y entre 27- 21°C, es decir, son similares la tasa de germinación y la capacidad germinativa.

El graficar el **número de días necesarios para alcanzar el 25, 50 75, y 100% de germinación del total de semillas germinadas** (Fig.20) es útil para indicar y comparar el lapso de tiempo que se

---

requiere para que germinen en cualquier temperatura sin que se vea afectado por la capacidad de germinación.

En esta especie el lapso de tiempo en el que se alcanzan esos porcentajes de germinación es muy similar, aproximadamente en un intervalo de 4 y 6 días, sobre todo el 75% de germinación se alcanza en el mismo tiempo, excepto en la temperatura de 33°C en la que fue un poco más lento.

El índice **Tiempo de latencia** (Come) (Fig.21), nos permite comparar cuando se dispara la germinación en cada temperatura, y si el tratamiento está afectando el tiempo de latencia. En esta especie entre 21° y 31°C se inicia la germinación el día 4, más rápidamente que en las demás.

En el **Índice de Went** (Fig.22) o **Respuesta del punto medio** (mediana) se grafica el tiempo en que se alcanzó el 50% de germinación y de esta manera se puede determinar la medida del  $Gt_{50}$ . Este índice tiene la desventaja de que no mide la varianza de la respuestas en el tiempo.

En esta especie se alcanza el 50% de germinación en el intervalo de temperaturas de 17 a 3 °C; en la temperaturas más altas se alcanza más rápido que en las bajas.

La **Tasa de Emergencia** (Gramshaw)(Fig.23) indica la velocidad con que se alcanza el 50% de semillas germinadas. En esta especie se alcanza casi al mismo tiempo (día 6) en el intervalo de temperaturas de 23 a 35°C.

Graficar el **Recíproco del tiempo** (Kanemasu) (Fig.24) es útil para distinguir con mayor facilidad en que temperatura fue más rápido el proceso de germinación.

En esta especie se distinguen las temperaturas de 23°, 25° y 27°C como las más rápidas y se observa también que es más rápido en temperaturas altas que en las bajas.

---

Si se grafica la **Pendiente de la porción lineal**, es decir, el número de semillas que germinaron después de dos días de iniciada la germinación (Fig. 25 y 26), se puede observar en que temperatura se logra la mayor tasa de germinación en la primera etapa del proceso.

En esta especie es muy similar en las temperaturas de 25º, 27º, 23º y 21ºC y en la temperatura de 19ºC el tiempo de latencia es mayor aunque todavía la tasa de germinación es alta, aquí también se diferencia 31º y 17ºC, donde el período de latencia es mayor a 17ºC.

El **coeficiente de velocidad** de Kotowsky (Fig. 27) da una medida de la distribución de la germinación en relación al número de semillas germinadas.

El coeficiente de velocidad no es estrictamente el valor de la velocidad y no provee información acerca de la distribución de la germinación, pero puede ser transformado en una medida de la distribución de la germinación y puede relacionarse con el recíproco del tiempo medio de germinación. (Heydecker, 1973)

En esta especie es muy similar en las diferentes temperaturas, aunque disminuye ligeramente en las temperaturas mínimas y máximas. Tal vez, el tiempo de latencia influye en los valores que alcanza en las temperaturas bajas.

El **inverso del coeficiente velocidad** también reportado como **tiempo promedio de germinación o resistencia a la germinación** (Fig. 28). En esta especie disminuye en el rango de las temperaturas óptimas y aumenta a bajas temperaturas, el tiempo promedio de germinación no necesariamente coincide con el día en que se alcanza el máximo número de semillas germinadas.

EL **Índice de germinación** (Fig. 29) es una medida de la velocidad con respecto al número de semillas sembradas. Cuando se grafica el inverso del Índice de germinación es de notarse la

---

diferencia que encontramos en temperaturas altas, tal vez, está reflejando el aumento de velocidad en estas temperaturas.

El índice de germinación, se ve afectado por la capacidad de germinación y no provee información acerca de la distribución de los eventos de la germinación en el tiempo.

Si se compara la información que da el coeficiente de velocidad y el índice de germinación, se observa que el coeficiente de velocidad refleja la velocidad en sentido estricto y el índice de germinación es más sensible a los cambios en la capacidad de germinación.

El **Índice de Abbot** (Fig. 31) refleja la germinación en el tiempo. En esta especie la se confunden los valores de este índice están relacionados con la capacidad de germinación.

El **Coefficiente de Timson** (Fig.32) informa sobre las tasas de germinación si las muestras tienen el mismo porcentaje final de germinación, entonces el valor varía ampliamente en virtud de los cambios en las tasas de germinación. En algunas circunstancias ésta podría ser una medida adecuada, desafortunadamente el valor de aplicación no puede ser universal si el porcentaje final de germinación es muy diferente (Janssen, 1973). Además, no es completamente satisfactorio, ya que se puede dar el mismo valor a dos poblaciones con comportamiento diferentes, por ejemplo, una población que germina el 90% el primer día y 10% el décimo tendría el mismo valor que el de una población que no germina en los primeros 9 días, pero germina el 100% el décimo día.

El coeficiente de Timson es más sensible al número de semillas germinadas y modificado por la forma de la curva. Curvas similares pero que difieren en el tiempo y disparo de la germinación no pueden ser diferenciadas por este índice (Naylor,1981).

La **velocidad de germinación** de Maguire (Fig.33) incluye valores acumulados que son limitados para comparar tasas relativas, porque velocidades y porcentajes de germinación son

---

---

confundidos, es decir, el número de semillas germinadas con la tasa de germinación. Esta sensibilidad al número de semillas germinadas puede ser eliminada transformando los datos a porcentajes de germinación, y este valor puede estar relacionado con el recíproco del tiempo medio de germinación.

En esta especie las gráficas del Coeficiente de Timson, el Índice de Abbot y la Velocidad de germinación de Maguire son muy similares con las gráficas del porcentaje final de germinación por lo que principalmente reflejan los cambios en la capacidad de germinación.

El **Valor de la germinación** de Czabator (Fig.34) provee una medida del valor promedio de la tasa de germinación. Un problema con este método es que es difícil definir exactamente que representa en términos fisiológicos. Además carece de un grado de precisión que a veces es deseable, es decir, curvas diferentes pueden ser representadas por el mismo valor. Si se mantiene constante  $mt-1$ ,  $p$  y aún  $C$ , el tiempo para alcanzar  $p$  puede variar en amplios límites y no dar ninguna indicación de la forma de la curva o de la tasa de germinación. Por lo que es poco recomendado.

En esta especie el **Coeficiente de uniformidad** de la **Germinación** (Fig.35) refleja un rango uniformidad similar en las diferentes temperaturas, excepto en la de 27°C. Estos resultados están relacionados con las gráficas de distribución de la germinación en el tiempo (Fig, 13, 14, 15 y 16), por lo que este coeficiente puede ser útil como una medida de la uniformidad.

El **Factor de uniformidad** de Gordon (Fig.36), también es una medida de la uniformidad.

En esta especie los datos calculados por este índice son más uniformes en el rango de temperaturas entre 21° y 25°C con respecto a los otras temperaturas; también se observa que es

---

mayor en las temperaturas extremas, probablemente esto sea el efecto de la baja capacidad germinativa o porque el período de germinación fue muy corto.

## Ajuste de Curvas

El ajuste de las curvas con una **Transformación Probit** (Fig. 37 y 38), es fácil de realizar, pero presenta la desventaja de que si los datos no presentan una distribución normal, los primeros días de germinación (en los que la tasa es más rápida) y los últimos días (en los que la tasa es más lenta) provocan que el ajuste no sea bueno.

En esta especie el mejor ajuste a una recta se logra en la temperatura de 25°C, ya que en las demás temperaturas se empieza a observar la curvatura de los datos.

El ajuste de las curvas con la **Función de Richards** ha demostrado ser útil para el cálculo de los parámetros del proceso de germinación. Utilizando alguno de los casos especiales de la función según el tipo de las curvas de germinación.

Una de las desventajas es que la simétrica curvalogística no puede dar cuenta de que la mayoría de las curvas están sesgadas positivamente, otra de las limitaciones de la función logística es que las sustituciones de los valores disminuye el realismo del ajuste. Aunque este problema puede ser resuelto con el uso de una curva de Gompertz pero es más difícil de ajustar.

Pobres ajustes de los datos pueden darse cuando  $A$  es muy pequeña, cuando hay grandes cambios durante la germinación, o la población es tan homogénea que virtualmente toda la germinación ocurre en un intervalo de tiempo.

En esta especie la curva de los datos obtenidos son más cercanos a una curva sigmoide exponencial, por lo cual se realizó el ajuste obteniéndose los parámetros de la función para cada una de las curvas de cada temperatura .

El valor de los parametros obtenidos por el ajuste de una función sigmoide exponencial, apoyan los resultados del cálculo del Coeficiente de Velocidad y de las gráfica del porcentaje de semillas germinadas, que plantean la constancia en la velocidad de germinación.

---

## DISCUSION

La germinación de semillas está regulada por gran cantidad de factores, desde su inicio o rompimiento de la latencia, hasta su término o rompimiento de las envolturas de la semilla por la radícula.

Las semillas de *Manfreda brachystachya* no presentan algún tipo de latencia, y germinan tanto en la luz como en la obscuridad. Aunque presentan un comportamiento germinativo sensible a la temperatura, germinan en un amplio intervalo de temperaturas al igual que muchas otras especies (Bewley & Black, 1986). El intervalo de germinación de esta especie es muy amplio, de 15° a 33°C.

La temperatura óptima para la germinación de *Manfreda brachystachya* es la de 25°C, a esta temperatura alcanza la máxima capacidad germinativa, la mayor uniformidad y la más alta tasa de germinación; las temperaturas cardinales, definidas de acuerdo con Washitani, (1984) se encuentran entre los 17°C y 31°C, dónde aún alcanzan una capacidad germinativa del 50%.

---

También las temperaturas mínimas, óptimas y máximas para la germinación pueden variar ampliamente entre las diferentes especies y generalmente son más bajas para las zonas templadas y más altas para las zonas tropicales (Kramer & Koslowsky, 1979). De acuerdo con el criterio de estos autores *M. brachystachya* tiene un rango de temperaturas cardinales considerado como típicas de una zona templada.

Esta especie se distribuye a través de las regiones montañosas desde el Norte de México hasta Honduras y el Salvador, por lo que a pesar de que su distribución abarca también la zona tropical, se distribuye en zonas que presentan un clima templado debido a la altitud en que crece.

La temperatura puede afectar la capacidad de germinación y la tasa de germinación en un rango característico para cada especie. Las semillas de *Manfreda brachystachya* pueden germinar a bajas temperaturas, pero requieren de un mayor tiempo para iniciar la germinación. En las temperaturas altas aumenta la tasa de germinación, pero disminuye la capacidad germinativa.

Desde el punto de vista fisiológico, el aumento en la tasa de germinación con el aumento en la temperatura puede deberse a que ésta afecta la permeabilidad celular promoviendo el flujo de sustancias necesarias para la germinación. Por otra parte la disminución de la capacidad germinativa puede deberse a que el equilibrio de intermediarios respiratorios puede ser desfavorable a altas temperaturas o promovidos a bajas temperaturas (Villers, 1972).

La temperatura es uno de los factores ambientales más importantes que determinan el comportamiento ecológico de las poblaciones de plantas superiores (Bewlwey y Black, 1986). El estudio del comportamiento germinativo en función de los cambios de temperatura puede dar una idea de los requerimientos de esta especie para su distribución y establecimiento.

---

El período de floración de esta especie, basada en ejemplares de herbario, se distribuye de agosto a octubre en el Valle de México (Eguiarte, 1983, Sánchez, 1980). La época de diseminación de las semillas puede prolongarse hasta los últimos meses del año (observación personal 1991).

Sobre el Pedregal de San Angel no existe un estudio microclimatólogico detallado, en la literatura sólo se presentan las temperaturas medias, máximas y mínimas (Pozos, 1991). De acuerdo con las temperaturas medias mensuales, las temperaturas más favorables para la germinación de esta especie se presentan entre los meses de mayo a octubre. Sin embargo, considerando la temperatura máxima mensual y el calentamiento de la roca en el área de la reserva es muy probable que esta época se prolongue por algunos meses más con excepción del período invernal.

A pesar de que esta especie no presenta latencia, debido a la distribución de la precipitación en el área (de junio a septiembre) podemos considerar que la época en que esta especie germina y se establece se restringe a la temporada de lluvia, a partir de las semillas producidas durante el año anterior o a partir de las producidas tempranamente durante la etapa de reproducción. Las características del hábitat de esta especie también apoyan esta idea; se le encuentra asociada a lugares secos, muy abiertos o con algún tipo de perturbación (Eguiarte, 1983) que de ninguna manera permitirían la acumulación de la humedad por un tiempo prolongado, una vez terminada la época de lluvias.

Aunque es cierto que la heterogeneidad microambiental de la reserva permite que se puedan presentar las condiciones necesarias para la germinación en cualquier época del año, es posible que en las planicies rocosas que están expuestas al sol directo puedan alcanzar, al medio día, las temperaturas adecuadas para la germinación, aún en la época más fría del año, pero difícilmente conservarían la humedad por un tiempo prolongado

---

como sucede en las grietas y hoquedades del pedregal. Una vez que ocurre el establecimiento, la presencia de una raíz bulbosa le permite a esta especie sobrevivir en lugares que por su topología no permiten la acumulación de agua.

Los métodos de análisis de los datos de germinación pueden diferenciarse en dos tipos: gráficos y analíticos.

Los siguientes métodos gráficos permiten hacer un evaluación preliminar de los resultados.

- Porcentaje o número de semillas final.
- Distribución en el tiempo de la germinación.
- Número o porcentaje de semillas germinadas, en cada día o acumulado.
- El tiempo (día) promedio de germinación, o el  $Gt_{50}$  (tiempo para alcanzar el 50 % de germinación).

Las gráficas de porcentajes de germinación (semillas sembradas o germinadas) específicos (25,50,75,100%) en relación con el tiempo, también son útiles para evaluaciones preliminares.

Este tipo de gráfica es útil para comparar y diferenciar la relación entre la capacidad y el tiempo de germinación; y la de los porcentajes de semillas germinadas, el intervalo de tiempo en que germinan las semillas a cada temperatura, pero no para describir tasas de germinación.

Scott *et al* (1984) plantean que como un primer paso de análisis, la evaluación gráfica con porcentajes, tiempos promedio y tasas de germinación serían muy útiles. Sin embargo, para obtener estos dos últimos valores se requeriría de un análisis más profundo de los datos, lo que implica la aplicación de otras pruebas.

La mayoría de los índices propuestos son fáciles de calcular, y su uso ya ha sido discutido (Heydecker, Janssen, Naylor, Scott) y coinciden en que por lo general se confunden la capacidad

---

germinación con otros efectos de los tratamientos en la respuesta germinativa.

Al comparar estos índices se observa que no son capaces de responder a todas las diferencias entre las curvas. Una opción para su uso, es utilizarlos sólo como un valor relativo. Por ejemplo: en el caso de *M. brachystachya* el coeficiente de velocidad, que es una medida de la velocidad, si expresó que, por efecto de la temperatura, no hay diferencias en la tasa de germinación entre las temperaturas óptimas y subóptimas; y que en las temperaturas mínimas, es menor la tasa de germinación que en las temperaturas máximas.

El tiempo promedio de germinación, que es una medida de la media del tiempo de germinación, expresó que no hay diferencias en el tiempo promedio de germinación en las temperaturas óptimas y que en las temperaturas mínimas es mayor que en las máximas.

El índice de germinación proporcionó una medida del efecto de la temperatura en la capacidad germinativa, pero confunde la información sobre el efecto en la capacidad y la tasa de germinación.

La velocidad de germinación y el coeficiente de Timson no proporcionan más información que los gráficos preeliminarios. Pero podrían ser útiles para medir los cambios en la tasa de germinación cuando la capacidad de germinación sea la misma.

El tiempo de latencia puede ser útil cuando el tratamiento es importante para romper la latencia de la semilla. En esta especie apoyó el hecho de que las bajas temperaturas retardan el inicio de la germinación.

Graficar la pendiente de la porción lineal es útil para observar la tasa de germinación en la primera fase de la germinación, en esta fase es donde se presentan la tasa de germinación más alta. En

---

el caso de *M. brachystachya* la pendiente que refleja una tasa de germinación más alta es la obtenida a 27°C, esta información sólo es parcial debido a que posteriormente la tasa disminuye, mientras que ésta sigue aumentando a 25°C, como lo indica el coeficiente de velocidad, ya que considera el proceso de germinación completo en la población.

El coeficiente de uniformidad se calcula con una media ponderando la varianza en el tiempo, por lo que si refleja la uniformidad del proceso, en cambio el factor de uniformidad no demuestra diferencias en los diversos tratamientos.

Establecer el tiempo promedio y calcular la desviación estándar proporcionan información clara sobre la varianza en el tiempo de germinación pero no está ponderada con el número de semillas germinadas.

Los ajustes de curvas basados en el análisis probit, en la función de distribución normal (Janssen, 1973) o ecuaciones derivadas de la función de Richards (Schimp, Bonner & Dell, Goodchild & Walker, etc.), pueden ser útiles para calcular los parámetros importantes en germinación. Pero todas estas funciones empíricas presentan la desventaja de que son funciones simétricas y las distribuciones de germinación están generalmente sesgadas positivamente (Berry et al, 1988). Se ha propuesto usarlas dando una medida del sesgo (Nickolls & Heydecker, 1968), pero esto no sería útil si la distribución fuera bimodal (Bould & Abrol, 1988).

En la especie estudiada el mejor ajuste a una recta con la prueba de Probit se logra a 25°C debido a que la distribución de la sensibilidad a esa temperatura es próxima a la normal, con la pendiente de esta se calcula la tasa de germinación. En las otras temperaturas el ajuste a una recta de los valores de probit no se logra debido a que al cambiar la tasa de germinación hay una curvatura provocada por la reducción en la tasa de germinación en los días extremos. Calcular la tasa de germinación con la porción

---

lineal, es decir eliminando los valores extremos, en estas temperaturas. Utilizando ecuaciones derivadas de la función de Richards se limita este problema a las últimas semillas que germinan, por lo que el error disminuye.

La mayoría de las curvas de germinación por efecto de la temperatura fueron sigmoides, por lo que el modelo que resultó con una mejor relación entre los valores observados y esperados fue la función de una sigmoide exponencial. Entre la información obtenida con este método y las ecuaciones derivadas de la función de Richards cualitativamente no existe diferencia, sin embargo, cuantitativamente los parámetros reflejan más fielmente el proceso en la germinación de *M. brachystachya*.

Otra alternativa, que en este estudio no se contempló, es el analizar los datos de germinación con los métodos de análisis de sobrevivencia: tablas de vida, regresiones logísticas, regresiones múltiples y caída acelerada, estos métodos permiten analizar los resultados tomando en cuenta observaciones o datos perdidos, datos distribuidos anormalmente o con varianzas heterogéneas o en el caso de caída acelerada, el efecto del tratamiento en el tiempo de respuesta o calcular curvas predictivas para diferentes combinaciones de variables. Estos métodos son los que proveen la mayor información sobre el proceso germinativo, pero presentan la desventaja de requerir programas más complejos, e implican una mayor especialización en los métodos de análisis.

## CONCLUSIONES

La especie *Manfreda brachystachya* presenta un comportamiento germinativo sensible a los cambios de temperatura. El intervalos de temperatura en el que puede germinar es amplio de 15 °C a 33 °C. La temperatura óptima para la germinación de esta especie es la de 25 °C. La temperatura mínima es de 17 °C y la máxima de 31 °C.

Esta especie no presenta latencia, pero en la Reserva del Pedregal la germinación de esta especie tal vez se restringe a los meses de agosto a octubre por las condiciones climáticas de la zona.

### Los métodos

Los siguientes métodos gráficos permiten hacer un evaluación preliminar de los resultados.

- Porcentaje o número de semillas final.
- Distribución en el tiempo de la germinación.
- El tiempo (día) promedio de germinación, y/o el Gt50.

---

Para la especie estudiada el ajuste a una función sigmoide exponencial es el método que resultó con una mejor relación entre los valores observados y esperados; y proporcionó información más completa sobre los parámetros del proceso germinativo, sin embargo en otras especies otras funciones logísticas podrían ser más útiles.

Muchos de los métodos descritos para el análisis de germinación, no proveen toda la información que se requiere para todas las situaciones. Pero puede elegirse alguno de ellos según el objetivo deseado o el propósito de estudio. Los índices que podrían ser útiles porque reflejan valores relativos a los principales parámetros de germinación serían el coeficiente de velocidad de Kotowsky, el tiempo promedio de germinación de Harrington y el coeficiente de uniformidad de Nickols & Heydecker; sin embargo, si se cuenta con programas apropiados para el ajuste funciones logísticas el cálculo de los índices podría evitarse.

Para que los datos de germinación sean comparativos entre diferentes especies o tratamientos se recomienda establecer los parámetros principales como: la capacidad de germinación, la tasa de germinación y el tiempo en que se inicia la germinación. Estos parámetros se pueden obtener con base en diferentes funciones logísticas de acuerdo con el comportamiento de la especie.

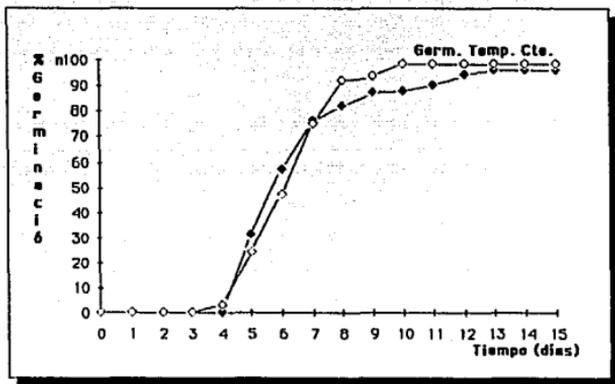


Fig. 7 Germinación acumulada de *M. brachystachya* en temperatura constante (25°C) Fotoperíodo (○) Oscuridad (●).

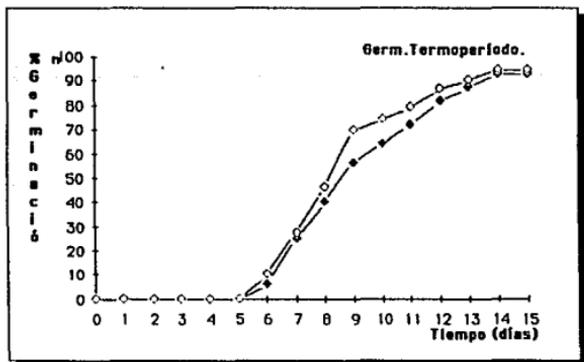


Fig. 8 Germinación acumulada de *M. brachystachya* en Termoperíodo (18hrs 20° / 6hrs 35°) Fotoperíodo (○) Obs (●).

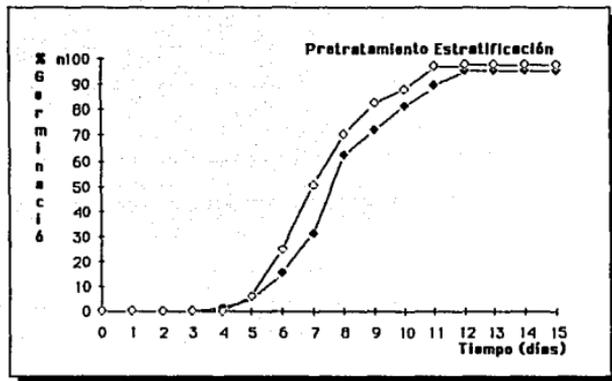


Fig. 9 Germinación acum. de *M. brachystachya* con pretratamiento de estratificación (25°C) Fotoperíodo (○) Obs. (●).

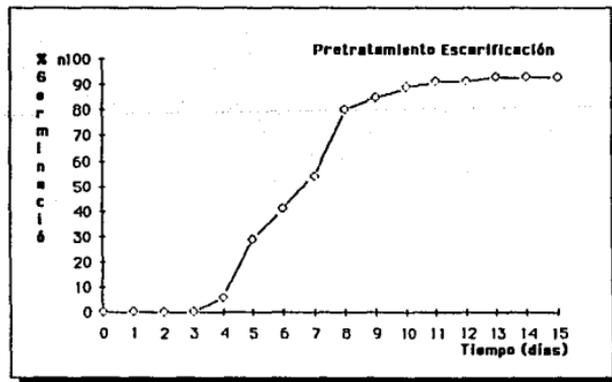


Fig. 10 Germinación acumulada de *M. brachystachya* con pretratamiento de escarificación (25°C) Luz.

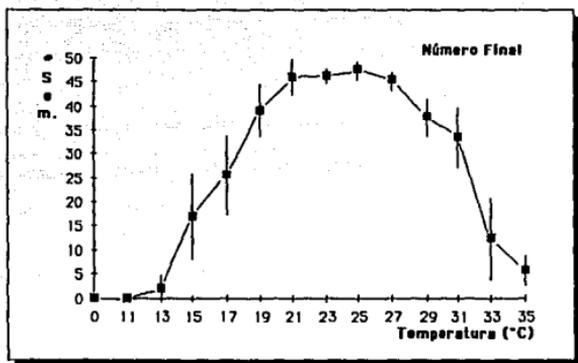


Fig. 11 Relación entre la temperatura (11-35°C) y el número final de semillas germinadas de la especie *M. brachystachya*.

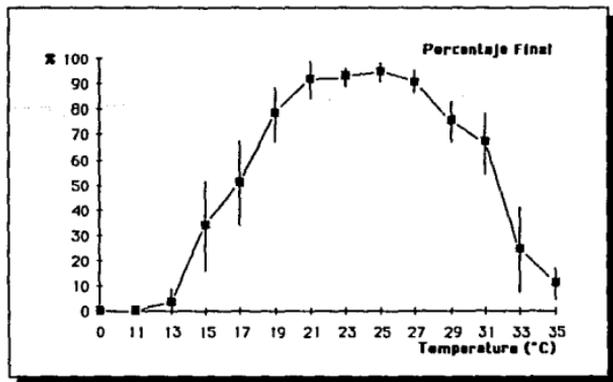


Fig. 12 Relación entre la temperatura (11-35°C) y el porcentaje final de semillas germinadas de la especie *M. brachystachya*.

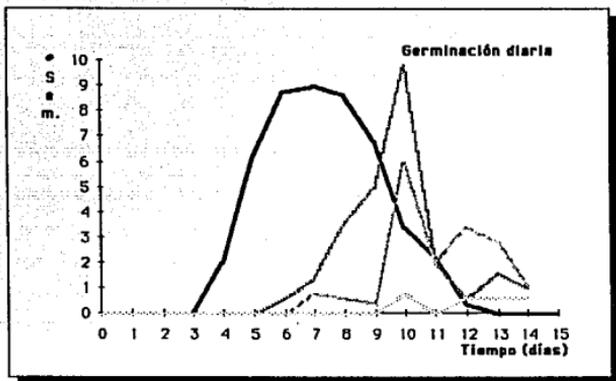


Fig.13 Distribución en el tiempo. Germinación de *M. brachystachya* en 25 (—) 17(---) 15(· · ·) 13(· · · ·)°C.

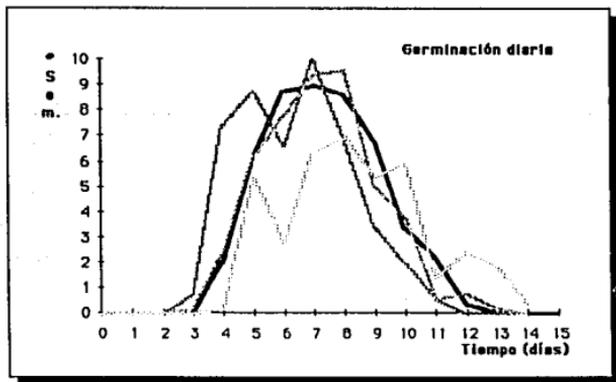
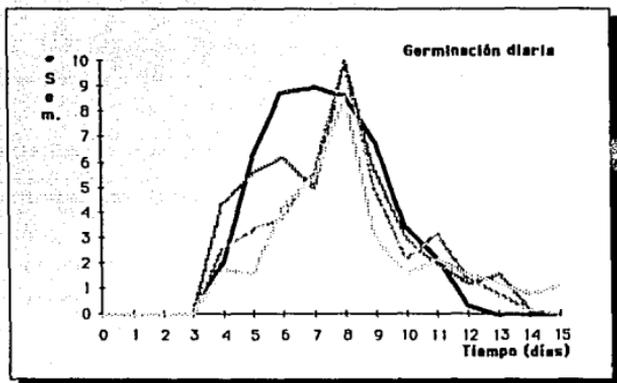
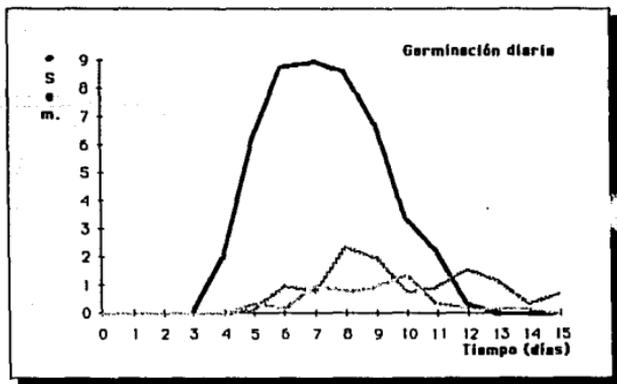


Fig.14 Distribución en el tiempo. Germinación de *M. brachystachya* en 25 (—) 23(---) 21(· · ·) 19(· · · ·)°C.



**Fig.15** Distribución en el tiempo. Germinación de *M. brachystachya* en 25 (—) 27(---) 29(· · ·) 31(— · —) °C.



**Fig.16** Distribución en el tiempo. Germinación de *M. brachystachya* en 25 (—) 33(· · ·) 35(— · —) °C.

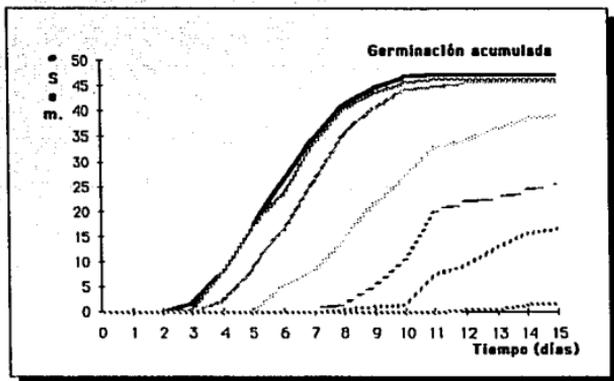


Fig.17 Distribución en el tiempo. Germinación de *M. brachystachya* en 25 (—) 23 (—) 21 (—) 19 (—) 17 (—) 15 (—) 13 (—) °C.

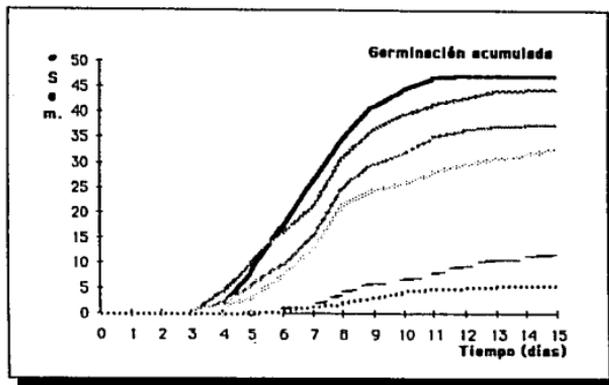
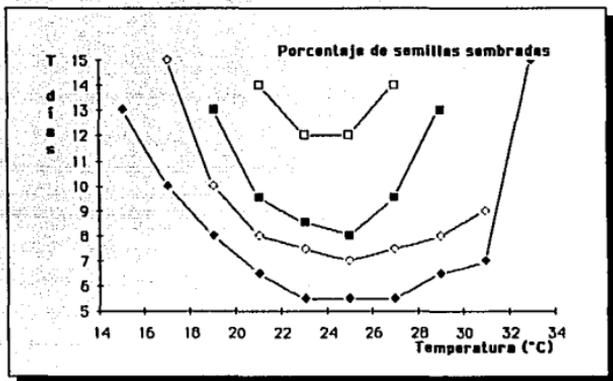
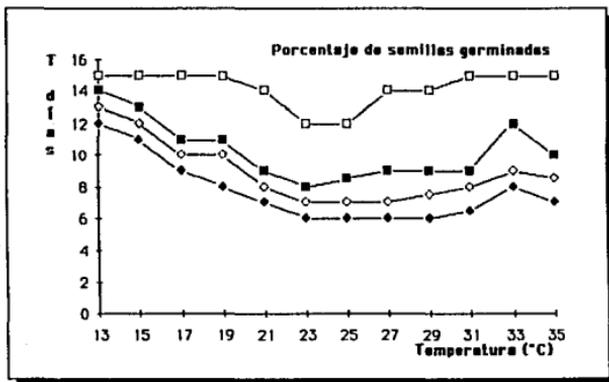


Fig.18 Distribución en el tiempo. Germinación de *M. brachystachya* en 25 (—) 27 (—) 29 (—) 31 (—) 33 (—) 35 (—) °C.



**Fig. 19** Relación entre la temperatura (11-35°C) y el tiempo para el 25(●) 50(○)75(■) 100(□)% de sembradas en *M. brachystachya*.



**Fig. 20** Relación entre la temperatura (11-35°C) y el tiempo para el 25(●) 50(○)75(■) 100(□)% de germinadas en *M. brachystachya*.

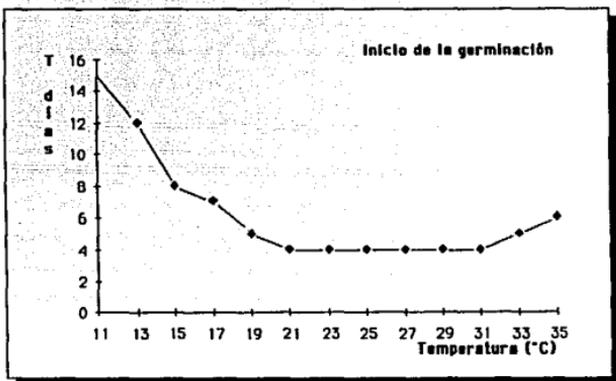


Fig. 21 Relación entre la temperatura (11-35°C) y el Tiempo de latencia (día inicio) en la germinación de *M. brachystachya*.

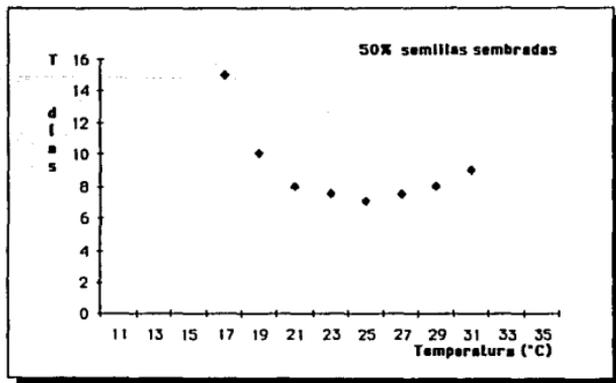
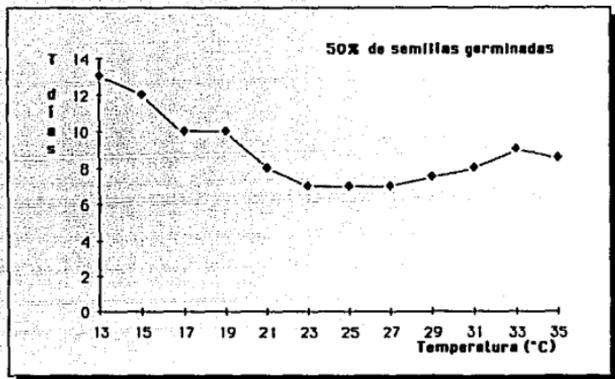
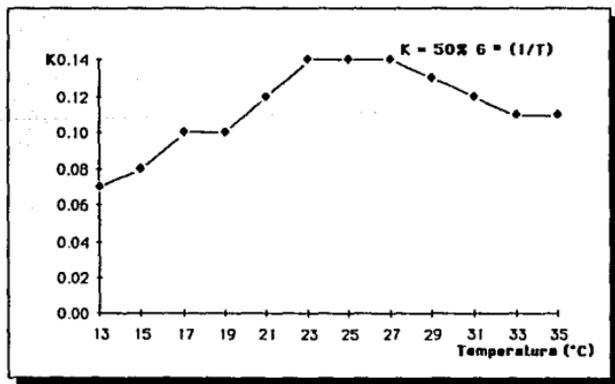


Fig. 22 Relación entre la temperatura (11-35°C) y la respuesta del punto medio (mediana) en la germinación de *M. brachystachya*.



**Fig.23** Relación entre la temperatura (11-35°C) y la tasa de emergencia (Gramshaw) en *M. brachystachya*.



**Fig. 24** Relación entre la temperatura (11-35°C) y el Recíproco del tiempo (Kanemasu) en la germinación *M. brachystachya*.

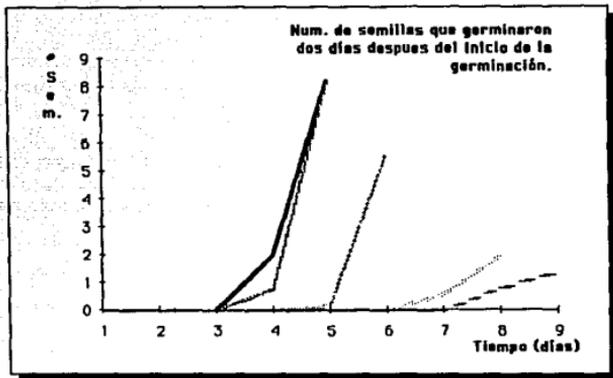


Fig.25 Relación entre el tiempo y num. de semillas *M. brachystachya* en 25 ( ) 23( ) 21( ) 19( ) 17( ) 15( ) 13( )°C.

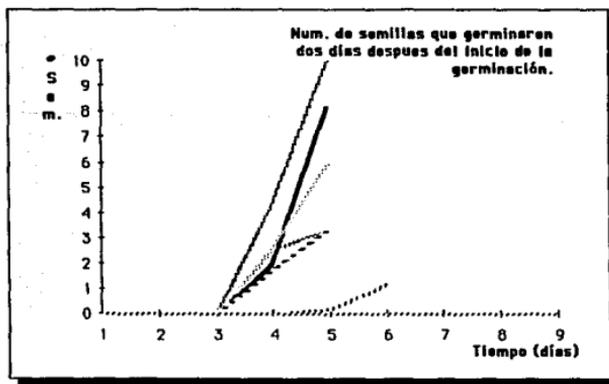


Fig.25 Relación entre el tiempo y num. de semillas *M. brachystachya* en 25 ( ) 27( ) 29( ) 31( ) 33( ) 35( )°C.

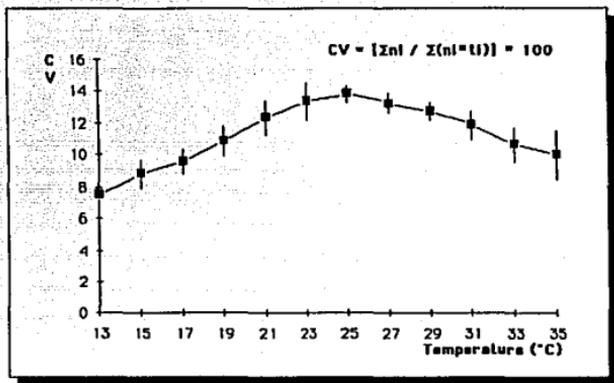


Fig. 27 Relación entre la temperatura (11-35°C) y el Coeficiente de Velocidad (Kotowsky) en la germinación de *M. brachystachya*.

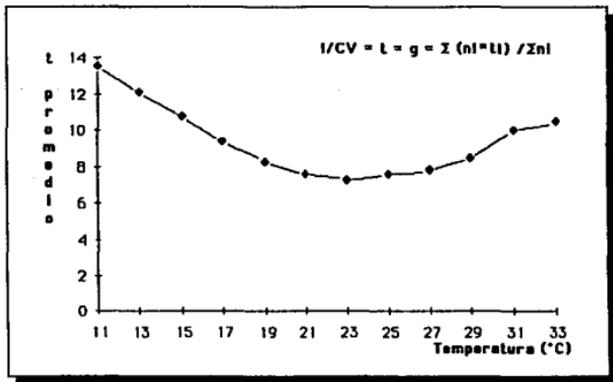


Fig. 28 Relación entre la temperatura (11-35°C) y el inverso del coeficiente de germinación (Harrington) en *M. brachystachya*.

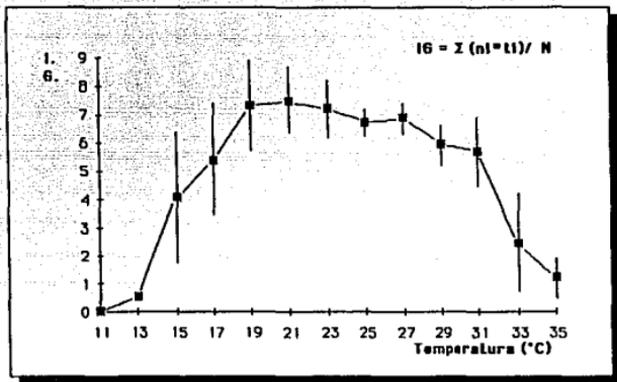


Fig. 29 Relación entre la temperatura (11-35°C) y el Índice de Germinación (en Scott) en *M. brachystachya*.

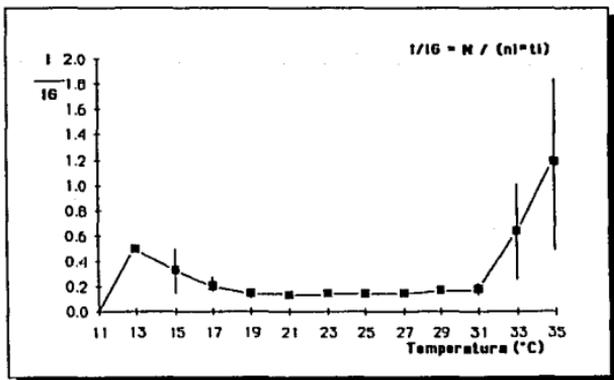


Fig. 30 Relación entre la temperatura (11-35°C) y el Inverso del Índice de Germinación en la especie *M. brachystachya*.

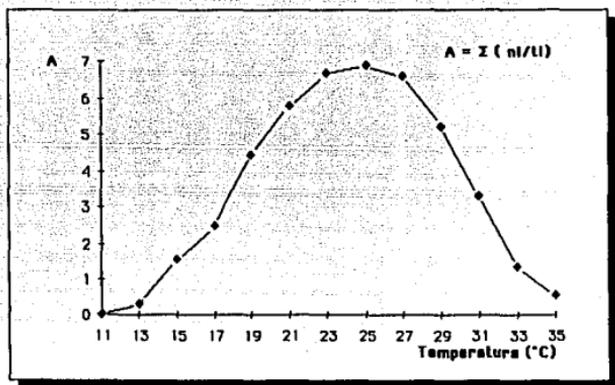


Fig. 31 Relación entre la temperatura (11-35°C) y el índice de Abbot en la germinación *M. brachystachya*.

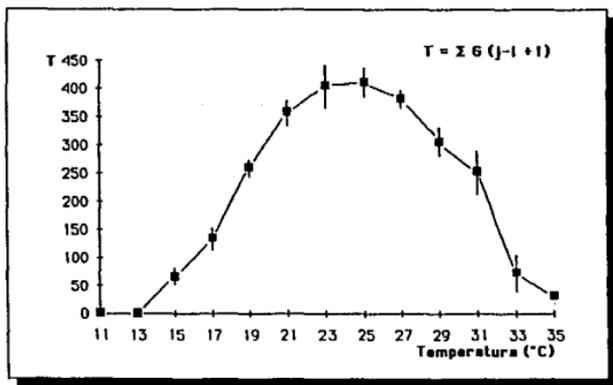


Fig. 32 Relación entre la Temperatura (11-35°C) y el Coeficiente de Timson en la germinación *M. brachystachya*.

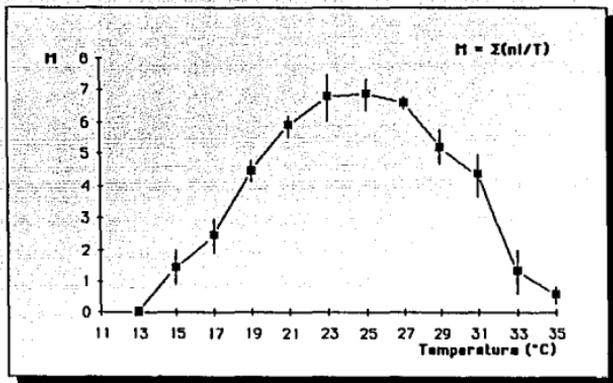


Fig. 33 Relación entre la temperatura (11-35°C) y la Velocidad de germinación (Macuire) en la especie *M. brachystachya*.

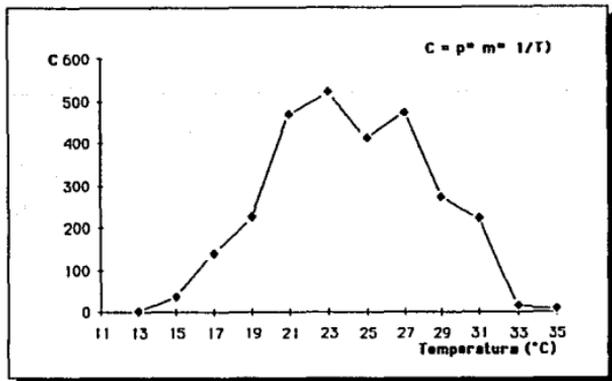


Fig. 34 Relación entre la temperatura (11-35°C) y el Valor de germinación (Czabator) en la especie *M. brachystachya*.

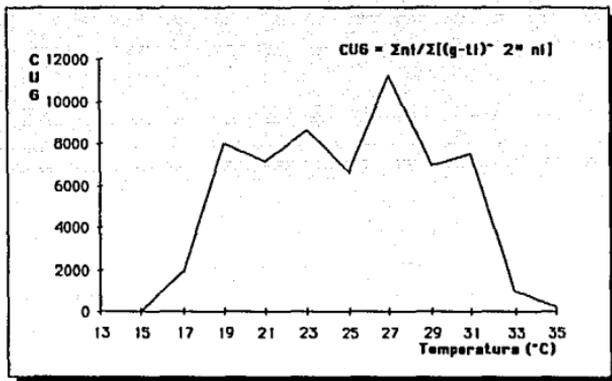


Fig. 35 Relación entre la temperatura (11-35°C) y el Coeficiente de Uniformidad de la Germinación (N & H) en *M. brachystachva*

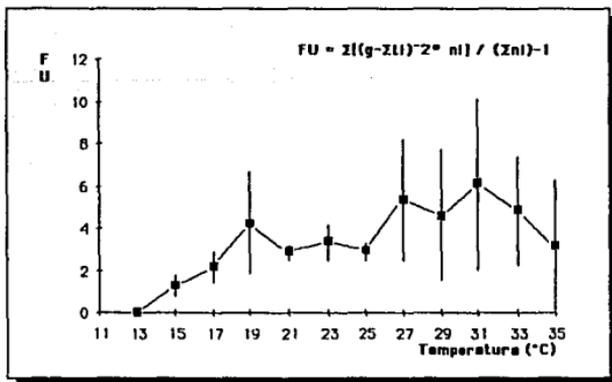


Fig. 36 Relación entre la temperatura (11-35°C) y el Factor de Uniformidad (Gordon) en la germinación de *M. brachystachva*.

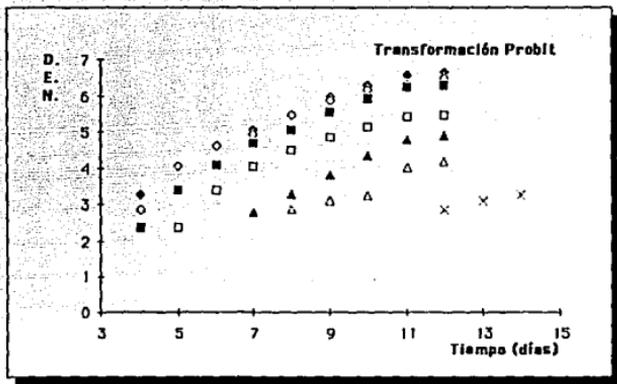


Fig.37 Relación entre el tiempo y las D.E.N. en la germinación de *M. brachylachya* en 25 (◆)23(○)21(■)19(▲)15(△)13(×)°C

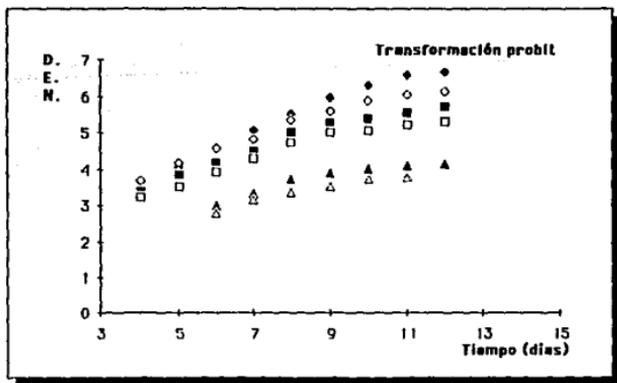


Fig 38 Relación entre el tiempo y las D.E.N. en la germinación de *M. brachylachya* en 25 (◆)27(○)29(■)31(▲)33(△)35(×)°C.

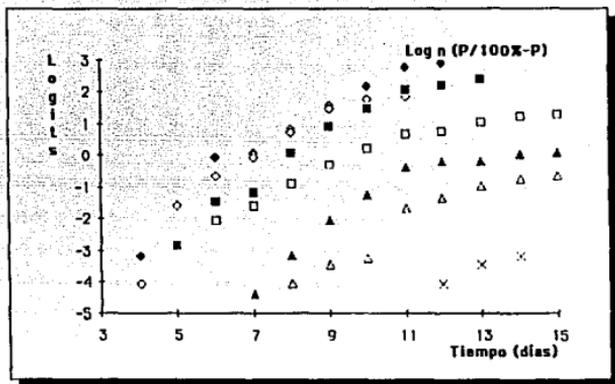


Fig.39 Regresión de logits en función del tiempo en la germinación de *M. brachystachya* en 25 (♦) 23 (○) 21 (■) 19 (□) 17 (▲) 15 (△) 13 (×) °C

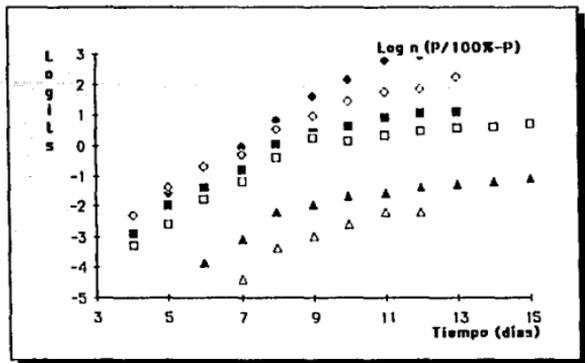


Fig 40 Regresión de logits en función del tiempo de la germinación de *M. brachystachya* en 25 (♦) 27 (○) 29 (■) 31 (□) 33 (▲) 35 (△) °C.

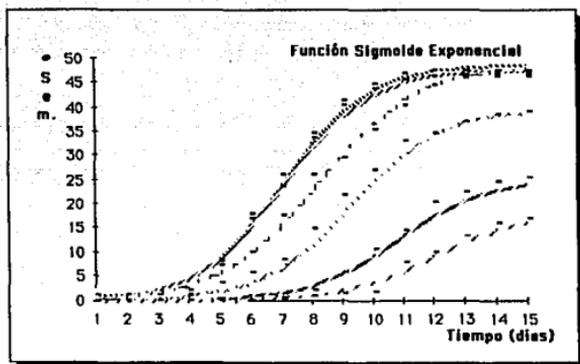


Fig. 41 Ajuste de la germinación de *M. brachystachya* con una función sigmoide exponencial para 25( )23( )21( )19( )17( )15( )°C.

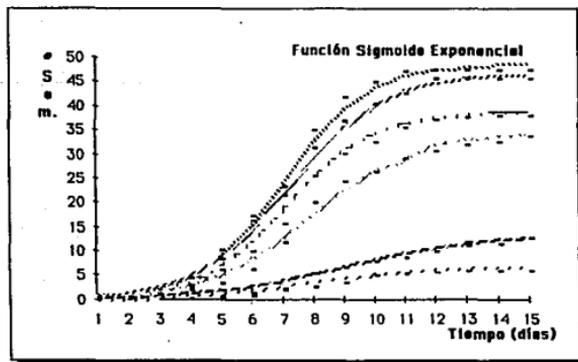


Fig. 42 Ajuste de la germinación de *M. brachystachya* con una función sigmoide exponencial para 25( )27( )29( )31( )33( )35( )°C.

Tabla A. Número de semillas germinadas.

Día	13*	15*	17*	19*	21*	23*	25*	27*	29*	31*	33*	35*
1												
2												
3												
4						0.8	2	4.4	2.6	1.8		
5					2.6	7.4	6.2	5.6	3.4	3.4		
6				5.6	6.2	8.8	8.8	6.2	3.8	7	1	
7			0.6	2.8	2.8	6.6	9	5	5.6	4.4	1.2	0.6
8	0.8	1.4	6.4	14.4	10	8.6	10	9.8	8.4	2.8	1	
9	1.4	3.6	7	9.6	6.8	6.8	4.9	4.8	5.4	1.2	0.8	
10	0.4	5	5.4	5	3.4	3.4	4.3	2.2	1	1.4	1	
11	6	9.8	6	3.8	1.6	2.2	2	3.2	2.8	1	1.4	
12	1.4	2	2	0.9	0.6	1	0.4	0.7	1.4	1.6	1	0.4
13	1.4	3.4	0.6	2.9	0.8			2.1	0.8	1.2	1.2	
14	2	2.8	1.6	1.8						0.6	0.4	
15	0	1	1	0.4						1.2	1.2	

Tabla B. Porcentaje de semillas germinadas.

Día	13*	15*	17*	19*	21*	23*	25*	27*	29*	31*	33*	35*
1												
2												
3												
4						1.6	4.0	8.8	5.2	3.6		
5					5.2	14.8	12.4	11.2	6.8	6.8		
6				11.2	12.4	17.6	17.6	12.4	7.6	14.0	2.0	
7			1.2	5.6	5.6	13.2	18.0	10.0	11.2	8.8	2.4	1.2
8	1.6	2.8	12.8	28.8	20.0	17.2	20.0	19.6	16.8	5.6	2.0	
9	2.8	7.2	14.0	19.2	13.6	13.6	9.8	9.6	10.8	2.4	1.6	
10	0.8	10.0	10.8	10.0	6.8	6.8	8.6	4.4	2.0	2.8	2.0	
11	12.0	19.6	12.0	7.6	3.2	4.4	4.0	6.4	5.6	2.0	2.8	
12	1.6	4.0	4.0	1.8	1.2	2.0	0.8	1.4	2.8	3.2	2.0	0.8
13	2.8	6.8	1.2	5.8	1.6			4.2	1.6	2.4	2.4	
14	4.0	5.6	3.2	3.6						1.2	0.8	
15	2.0	2.0	0.8							2.4	2.4	

Tabla D. Porcentaje Acumulado de semillas germinadas.

Día	13*	15*	17*	19*	21*	23*	25*	27*	29*	31*	33*	35*
1												
2												
3												
4						1.6	4.0	8.8	5.2	3.6		
5					5.2	16.4	16.4	20.0	12.0	6.8		
6				11.2	17.6	34.0	34.0	32.4	19.6	14.0	2.0	
7			1.2	16.8	23.2	47.2	52.0	42.4	30.8	22.8	4.4	1.2
8		1.6	4.0	29.6	52.0	67.2	69.2	62.4	50.4	39.6	10.0	3.2
9		2.8	11.2	43.6	71.2	80.8	82.8	72.2	60.0	50.4	12.4	4.8
10		3.6	21.2	54.4	81.2	87.6	89.6	80.8	64.4	52.4	15.2	6.8
11		15.6	40.8	66.4	88.8	90.8	94.0	84.8	70.8	58.0	17.2	9.6
12	1.6	19.6	44.8	68.2	90.0	92.8	94.8	86.2	73.6	61.2	19.2	10.4
13	2.8	26.4	46.0	74	91.6			90.4	75.2	63.6	21.6	
14	4.0	32.0	49.2	77.6						64.8	22.4	
15		34.0	51.2	78.4						67.2	24.8	

Tabla C. Número Acumulado de semillas germinadas.

Día	13*	15*	17*	19*	21*	23*	25*	27*	29*	31*	33*	35*
1												
2												
3												
4						0.8	2	4.4	2.6	1.8		
5					2.6	8.2	8.2	10	6	3.4		
6				5.6	8.8	17	17	16.2	9.8	7	1	
7			0.6	8.4	11.6	23.6	26	21.2	15.4	11.4	2.2	0.6
8		0.8	2	14.8	26	33.6	34.6	31.2	25.2	19.8	5	1.6
9		1.4	5.6	21.8	35.6	40.4	41.4	36.1	30	25.2	6.2	2.4
10		1.8	10.6	27.2	40.6	43.8	44.8	40.4	32.2	26.2	7.6	3.4
11		7.8	20.4	33.2	44.4	45.4	47	42.4	35.4	29	8.6	4.8
12	0.8	9.8	22.4	34.1	45	46.4	47.4	43.1	36.8	30.6	9.6	5.2
13	1.4	13.2	23	37	45.8			45.2	37.6	31.8	10.8	
14	2	16	24.6	38.8						32.4	11.2	
15		17	25.6	39.2						33.6	12.4	

Tabla E. Principales parámetros de germinación.

T°C	Capacidad	Inicio	Tasa	Tiempo	Dstd.
11					
13	3.3	11.793	-0.4461		
15	18.5	8.661	-0.4477		
17	26.0	8.237	-0.6740	10.6	1.72
19	40.5	8.662	-0.6757		
21	49.0	5.137	-0.6295	8.23	1.92
23	48.0	5.106	-0.7208		
25	49.0	5.224	-0.7368	7.42	1.89
27	47.0	4.769	-0.6543		
29	39.0	5.092	-0.7120	7.81	2.24
31	35.0	4.644	-0.5820		
33	14.0	3.818	-0.4209	9.66	2.42
35	7.0	6.189	-0.5330		

## BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, S., J. Carabias, J. Meave del Castillo, P. Moreno, F. Rodriguez, C. Tovar, A. Valiente. (1982) Proyecto para la creacion de una reserva en el Pedregal de San Angel. Laboratorio de Ecologia, Fac. de Ciencias, UNAM.
- Amen, . (1968 ) A model of seed dormancy. *Bot. Rev.* **34** :1-31
- Berry, G. J., Cawood, R. J. & Flood, R. G. (1988) Curve fitting of germination data using the Richards function. *Plant, Cell and Environment.*, **11**, :183-188.
- Bould, A. and Abrol, B. K. (1981) A model for seed germination curves. *Seed. Sci. & Technol.*, **9**, :601-611.
- Bewley, J. D. and Black, M. (1978) Physiology and Biochemistry of seed. In: Development, Germination and Growth. Vol 1. Springer- Verlag.
- Bewley, J. D. and Black, M. (1982) Physiology and Biochemistry of seeds in relation to germination II. Viability, Dormancy and environmental Control. Springer, Berlin.

- Bewley, J. D. and Black, M. (1985) Seeds physiology of development and germination. Plenum press. New York.
- Black, J. D. (1970) Seed germination and dormancy. *Sci. Prog. Oxf.* 58 :379-393.
- Bould, A. and Abrol, B. K. (1981) A model for seed germination curves. *Seed. Sci. & Technol.*, 9, :601-611.
- Côme, D. (1968) Problèmes de Terminologie Posés par la germination et ses obstacles. *Bull. Soc. Fran. Phsiol. Végét.* 14 ,1, :3-9.
- Crocker, . (1916) Mechanisms of dormancy in seeds. *Am Journal of Bot.*, 3 :99-105
- Czabator, F.J. (1962) Germination index: an index combining speed an completeness of pine seed germination. *Forest Sci.*, 8, :386-96.
- Diego, N. (1970) Contribuciones a la flora silvestre de los alrededores del Jardín Botánico de la UNAM. Tesis de licenciatura Fac. de Ciencias , UNAM.
- Eguiarte, L. (1983) Biología floral de *Manfreda brachystachia*. Tesis de licenciatura Fac. de Ciencias, UNAM.
- Eguiarte, L y A. Burquéz (1987) Reproductive Ecology of *Manfreda brachystachia* an iteroparous species of agaveaceae. *The Southwestern Naturalist.* 32 (2) :168-178.

- Eguiarte, L y A. Burqu ez (1988) Reducción en la fecundidad Cav. Rose una agavaceae polinizada por murciélagos : los riesgos de la especialización en la polinización *Bol. Soc. Bot. Mex.* 48 :147-149.
- Evenari, M. (1957) Les problèmes physiologiques de la germination . *Bull. Soc. Franc. Physiol. V g t.* 3,4, :105-124.
- Fenner , . (1985) Seed Ecology Chapman and Hall, London.
- Gonzalez, J. (1991) Selección natural en el tiempo de germinación en una población natural de *Tagetes decarantha* . Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Goodchild, H.A. and Walker, M.G. (1971) A method of measuring germination in physiological studies. *Ann. Bot.* , 35, :615-621
- Gordon, A.G. (1971) The germination resistance test - a new test for mesuring germination quality of cereals. *Can. J. Pl. Sci.* 51 :181-183.
- Harper, J.L. (1977) The population biology of plants Academic Press, London.
- Hegarty, T.W. (1973) Temperature coefficient (Q10), seed germination and other biological processes. *Nature* , 243 , :305-306.

- Heydecker, W. (1966) Clarity in recording germination data. *Nature* (London) 210 :753-754
- Heydecker, W. (1973) Seed Ecology. Proc. 19th Easter School in Agr. Sci. Univ. Nottingham, London.
- Hsu, F. H., Nelson, C. J. & Chow, W. S. (1984) A mathematical model to utilise the logistic function in germination and seedling growth. *Journ. of Exp. Bot.*, 35, :1629-1640.
- Janssen, J. G. M. (1973) A method of recording germination curves. *Ann. Bot.* 37, :705-708.
- Karssen, (1980) Environmental conditions and endogenous mechanisms in secondary dormancy of seeds *Israel Jour. of Bot.* 29 :45-64.
- Kotowsky, W. (1926) Temperature relations to germination of vegetable seed. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 23, :176-184
- Kramer, P.J. & Koslowsky, T.T. (1979) Physiology of Woody Plants. Acad. Press. Inc., New York .:811
- Maguire, J.D. (1962) Speed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Sci.*, 2, :176-177.

Martinez, M. L. (1988) Germinacion de gramíneas de dunas costeras del Edo. de Ver. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.

Naylor, R.E.L. (1981) An evaluation of various germination indices for predicting differences in seed vigour in Italian ryegrass. *Seed, Sci. & Technol.*, **9**:593-600.

Nickols, M. & Heydecker, W. (1968) Two approaches to the study of germination data. *Proc. Int. Seed Test. Ass.*, **33**:531-540.

Orozco-Segovia, A.D.L. (1986) Fisiología Ecológica de cuatro especies del género *Piper* L. Tesis de Doctorado. Fac. de Ciencias, UNAM. Mexico.

Orozco-Segovia, A.D.L. (1989) Fisiología Ecológica del fitocromo, su función en las semillas. *Bol. Soc. Mex.* **49**:71-84.

Orozco-Segovia, A.D.L. (1989) Light effect on seed germination in *Piper*. *Acta OEcologica OEcologica Plant.* **10**:123-146.

Orozco-Segovia, A.D.L. (1991) Latencia de semillas: una interpretación desde el punto de vista de la ecología fisiológica. *Bol. Soc. Bot.*

Pozos, H. B. (1991) Relaciones hídricas internas en *Senecio praecox* y *Budelia cordata* de la Reserva del Pedregal de San Angel. Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias. UNAM

- Pons, T.L. (1984)  
*Plant Cell and Environment*, 7  
:263-268.
- Roberts, S. H. (1972) Viability of seeds. Chapman and Hill. :321-359.
- Rzedowski, J. (1954) Vegetación del Pedregal de San Angel. *An. Esc. Nac. Cien. Biol. Mex.*, 8, :59-129.
- Sanchez, S.O. (1980) La flora del Valle de Mexico. Ed. Herrero, S. A., Mexico. :
- Schimpf, D. J., Flint, S. D. and Palmblad, I. G. (1977). Representation of germination curves with the logistic function. *Ann. Bot.*, 41, :1357-1360.
- Scott, S.J., Jones, R.A. & Williams, W.A. (1984) Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, 24 :1129-1199.
- Senden, J.W, A.J. Schenchenweld y H.J.Verkaar (1986)  
*Acta OEcologica OEcologica Plant.*  
7 :251 -259
- Shibuya, T.C., Hayasi, I. (1981) A mathematical model for the time variation of the rate of seed germination. *Jap. J. Ecol.*, 34 (3), :361-363

- Silvertown, J.W. (1984) Phenotypic variety in seed germination behavior: the ontogeny and evolution of somatic polymorphism. *Amer. Naturalist*. 124 (1) :1-16.
- Sokal & Rohlf, F.J. (1969) Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. H. Blume Madrid. :832
- Thompson, P.A. (1970) Characterization of the germination response to temperature of species and ecotypes. *Nature*, 225., :827-831
- Timson, J. (1965) A new method of recording germination data. *Nature, London*. 207, :217-217.
- Trione, S.O. & M.A. Cony (1990) Thermoperiodism and other physiological trait of *Solanum elaeagnifolium* seed in relation to germination. *Seed. Sci. & Technol.* 18 :525-539.
- Vázquez-Yanes, C. (1974) Estudios sobre ecofisiología de la germinación en una zona cálida húmeda. Tesis de doctorado, Fac. de Ciencias, UNAM.
- Vázquez-Yanes, C. (1974) Studies on the germination of seeds of *Ochroma lagopus* SW Turrialba 24 :176 -179.

- Vázquez-Yanes, C. y Orozco-Segovia, A.D.L. (1984)  
Fisiología Ecológica de las semillas de  
árboles de la selva tropical; un reflejo de  
su ambiente. *Ciencia* . 35 :191-201.
- Vázquez-Yanes, C. y Orozco-Segovia, A.D.L. (1982) Seed  
germination of a tropical rainforest  
pioneer tree *Heliocarpus*  
*donnell-smithii* in response to diurnal  
fluctuations of temperature,  
*Physiological plantarum* 56  
:295-298.
- Vázquez-Yanes, C. y Orozco-Segovia, A.D.L. (1982)  
Germination of the seeds of a tropical  
rainforest shrubs *Piper hispidum*  
Sw (Piperaceae) under different light  
qualities. *Phyton* , 43 :143-149.
- Vázquez-Yanes, C. y Orozco-Segovia, A.D.L. (1985)  
Dispersal of seeds by animals: effect on  
light controlled dormancy in *Cecropia*  
*obtusifolia*. In: Estrada A. Fleming, T  
Frugivores and seed dispersal (Dr. W  
Junk Publ. Dodrecht. :71-77
- Valverde, M. T. (1988) Germinación de algunas especies  
pioneras de dunas costeras. Tesis de  
Licenciatura. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Vargas, C.F. (1988) Determinación del tamaño efectivo  
de una población de *Echaverria*  
*gibbiflora* Tesis de licenciatura. Fac.  
de Ciencias, UNAM

Yegls, A. (1964) Dormancy in higher plants. *Ann. Rev. of Plan. Physiol.* 15 :185-189.

Villiers, T. A. (1972) Seed dormancy. In Koslowsky, T. (Ed.) *Seed Biology* Vol II Academic Press. :220-281.

Villiers, T.A. (1979) Reposo y supervivencia de las plantas. Ed. Omega.

Washitani, I. & Takenaka, A. (1984) Germination responses of a non-dormant seed population of *Amaranthus pathulus* to temperatures constant in the suboptimal range. *Plant Cell and Environment.*, 7 :353-358.

Westoby, M. (1981) How diversified seed germination behavior is selected. *Am. Nat.* 118 :882-885.