



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

20

FACULTAD DE CIENCIAS

BIOLOGÍA DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS Y ASIGNACIÓN DE
ENERGÍA EN PLÁNTULAS DE AILE (*Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* HBK),
DEL VALLE DE MÉXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
BIÓLOGO

P R E S E N T A :

René David Martínez Bravo



Dr. Carlos Vázquez Yanes
Director de Tesis



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1998
FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR
2085



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
P r e s e n t e

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:

Biología de la germinación de semillas y asignación de energía en
plántulas de aile (Alnus jorullensis ssp. jorullensis H.B.K.) del
Valle de México.
realizado por René David Martínez Bravo

con número de cuenta 8722096-6 , pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis

Propietario

Dr. Carlos Vázquez Yanes

Propietario

Dra. Alma Orózcó Segovia

Propietario

M. en C. María Esther Sánchez Coronado

Suplente

M. en C. Rosa María Fonseca Juárez

Suplente

Dra. Pilar Huante Pérez N. A. M.

Consejo Departamental de Biología

Edna María Suárez Díaz

Dra. Edna María Suárez Díaz

DEPARTAMENTO

DE BIOLOGÍA

Agradecimientos

Con profundo cariño para Cirenio Bravo, Gracias abuelo por compartir tu tiempo conmigo cuando más necesite a un guía para la vida.

A mi madre:

Cenito He aquí la cosecha de la semilla que sembraste. Gracias por tu amor

A mis hermanos: Gloria, Crisoforo, Pedro y Julio, mi eterno agradecimiento por ayudarme y apoyarme aun a costa de su formación.

A Paco... por siempre agradecido.

A mis sobrinos, que me hacían recordarlos a cada grito de sus madres para que se callaran (Rodri, Noé, Cesar, Ana, Monse, Brenda y Marianita) porque juntos son...

A todos los Bravo y Martínez que no nombró a cada uno porque son un chorro y tendría que hacer una tesis exclusiva a ellos. Pero principalmente a Manchi, Alberto (chino), y Erasto. Así como también a todos los nuevos integrantes de estas familias como Toña...

A mis amigos de la Fac. de Ciencias y sobretodo a Marco A. Castro, que sin su compañía y ayuda el paquete de la licenciatura hubiese sido muy pesado.

A la mujer que me enseñó a amar y vivir muchas cosas de la vida y con quien uno esfuerzos para construir un solo camino lleno de planes presentes y futuros . Yolanda ¡Va por tí... y por nosotros!

A cada uno de mis sinodales Drs. Carlos V., Alma O. y Pilar H., a las M. en C. Esther S. y Rosa María Fonseca. Gracias por su valiosos comentarios que ayudaron a enriquecer más este documento.

Y finalmente a todas las personas que de alguna u otra forma intervinieron en algún momento en mi vida y que me ayudaron a reorganizarla, Gracias por su apoyo (Incluyó al personal de la CONAE y a los Nava).

BIOLOGÍA DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS Y ASIGNACIÓN DE ENERGÍA EN PLÁNTULAS DE AILE (*Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* HBK), DEL VALLE DE MÉXICO.

René D. Martínez Bravo

Resumen

En el presente trabajo se analizó: 1) la capacidad de germinación de la semilla de *Alnus jorullensis* Kunth ssp. *jorullensis*, 2) la viabilidad de su semilla, 3) se describe la morfología de las plántulas y 4) se evalúa el crecimiento de las plántulas mediante la asignación de energía (análisis calorimétrico) y su Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), que también incluye el análisis del cociente Raíz/Vástago (R/V). La información generada podría ser útil para futuros trabajos de reforestación o restauración ecológica con la especie.

La viabilidad de la semilla se vio disminuida significativamente en el tiempo, además de ser corta, a 18 °C de almacenamiento en el laboratorio de Ecología Fisiológica, según lo refiere el análisis de varianza (ANDEVA) del arco-seno del porcentaje de la germinación ($F = 9.8469$, $P = 0.0006$), probablemente debido a que el embrión se atrofia o se reabsorbe dentro de la semilla como lo constataron las placas de rayos "X" de las semillas.

La descripción de la morfología de las plántulas se realizó mediante un registro de los cambios morfológicos que se presentaron en las plántulas a partir de la aparición y emergencia de la radícula en la transición semilla-plántula y concluyeron en cuanto emergieron las primeras eófitas (hojas verdaderas).

La tasa relativa de crecimiento (TRC) de cada una de las partes vegetales de las plántulas presentó diferencias significativas entre las partes ($F = 228.84$, $P = 0.001$), mostrando el valor más alto de TRC en el cuarto mes. Por otro lado el R/V mostró valores de incremento de biomasa dirigido en la mayor parte del experimento hacia el vástago.

Los datos obtenidos en los análisis calorimétricos no mostraron diferencias significativas en la asignación de energía a las diferentes partes vegetales de las plántulas ($F = 0.8476$, $P = 0.4740$), pero por otro lado sí presentaron diferencias significativas entre los diferentes tiempos durante el experimento ($F = 18.124$, $P = 0.002$).

Introducción

En la actualidad gran parte de la cubierta vegetal de nuestro planeta sufre algún grado de degradación o ha desaparecido, los suelos han sido utilizados con fines agrícolas y pecuarios o en desarrollos urbanos y en muchos casos, su mal manejo ha ocasionado su degradación y erosión hasta volverlos totalmente improductivos (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). Por lo tanto, es prioritario restaurar la cubierta vegetal en áreas dañadas. Sin embargo, es necesario estudiar a fondo las especies de la flora nativa poniendo énfasis en aquellas que tengan potencial productivo y que sean de fácil manejo.

Debido al crecimiento dinámico del conglomerado urbano en el Valle de México y con él, el cambio continuo de la vegetación original, es muy difícil actualmente identificar elementos originales del paisaje natural, ya que ha surgido una fuerte invasión de vegetación antrópica al interior (López-Moreno, 1991).

Las zonas habitadas trepan todas las colinas de los alrededores del Valle y ya empiezan a cubrir los pies de las montañas más altas hacia el sur y el occidente de la ciudad (López-Moreno, 1991; Vázquez-Yanes, 1997). Este vertiginoso crecimiento poblacional, ha derivado en la reducción de áreas verdes, acarreando consigo problemas como: a) la destrucción de ecosistemas, b) la desaparición de especies locales, c) la ruptura en diferentes niveles de la "cadena" trófica en el sitio y d) la erosión y pérdida del suelo (Vázquez-Yanes y Cervantes, 1993).

Este proceso de reducción de las zonas naturales ha avanzado paulatinamente en nuestro país, como el vehículo que promueve su deterioro en miles de hectáreas, desde décadas anteriores con la autorización y el consentimiento del gobierno como es el caso de la Comisión Nacional de Desmonte (Maass y García-Oliva, 1990). Esto ha originado que extensas regiones silvestres hayan cambiado el uso del suelo, para construir mas zonas urbanas o para generar campos de cultivo o potreros, siendo el avance de la frontera agropecuaria la causa principal de deforestación (Toledo *et al.*, 1989; Masera *et al.*, 1992). Este tipo de estrategias en las áreas donde se practicaron

han resultado equivocadas, ya que carecen de una adecuada supervisión y asesoría, por lo que empiezan a transformarse en paisajes desolados y estériles de los cuales al paso del tiempo ya no se puede obtener ningún beneficio económico ni ecológico (Maass y García-Oliva, 1990).

Adicionalmente al problema de la pérdida de áreas naturales y suelo, en México se cuenta con poca experiencia en el uso de su flora nativa para reforestar sitios que se han degradado o perdido debido a la poca información que se tiene de nuestras especies (Vázquez-Yanes y Cervantes, 1993). Esta carencia de información motivó en años anteriores, la reforestación con especies introducidas, provenientes de otros ambientes o de otros países que al mediano plazo originaron problemas ecológicos por la carencia de reguladores naturales, como depredadores o especies competidoras, provocando que en la mayoría de los casos en estas zonas se muriera un enorme número de especies introducidas por falta de aclimatación y que las que lograron sobrevivir convirtieran las áreas reforestadas en enormes "desiertos verdes", en las cuales solo se apreciaba el crecimiento de bosques monoespecíficos (Vázquez-Yanes y Cervantes, 1993; Lindig y Vázquez-Yanes, 1997).

Debido al poco conocimiento que se tiene acerca de las propiedades de la flora nativa, los programas de reforestación emprendidos por las instituciones gubernamentales se han diseñado a partir de la experiencia de otros países con especies que para el nuestro resultan exóticas e inadecuadas (Cervantes *et al.*, 1996; Vázquez-Yanes y Batis, 1996a).

Un ejemplo de este tipo de reforestación, se puede encontrar en el trabajo que realizó en décadas pasadas el Ing. Miguel A. de Quevedo, quien introdujo a nuestro país especies exóticas con semillas mejoradas de eucaliptos (*Eucalyptus spp.*) y casuarinas, provenientes de los bosques de Australia, cuyos antecedentes en programas de reforestación mostraban un rápido crecimiento y una gran capacidad para adaptarse a diferentes climas y suelos, así como, en menor escala, algunas especies de pinos y plantas de diversos orígenes los cuales constituían en esa época, a escala mundial, el camino más fácil y rápido para

reforestar (Vázquez-Yanes y Batis, 1996b), aunque a largo plazo derivaron en otros problemas que condujeron a la reducción de las áreas de vegetación nativa.

Otra reforestación de este tipo fue la realizada en el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México, en donde los dos géneros que actualmente se pueden encontrar creciendo como árboles dominantes y maduros que lograron sobrevivir son eucaliptos (*Eucalyptus globulus*) y casuarinas (*Casuarina equisetifolia*), las dos especies introducidas y catalogadas como especies agresivas y en menor escala especies nativas. (Rico-Bernal, 1991).

Cervantes *et al.* (1996) desarrollaron un balance de los programas de reforestación rural realizados en la región de La Montaña, Guerrero; en el cual encontraron que el 96% de las especies fueron introducidas (exóticas) y que los resultados en la mayoría de los casos no fueron los esperados, debido a la alta mortalidad, a la carencia de interés para los pobladores, entre otras razones.

Esta carencia de conocimiento acerca de las especies nativas es lamentable, porque según cálculos recientes, el número de especies de plantas vasculares presentes en el país es alrededor de 22 000 (Rzedowski, 1990) de las cuales la mayoría de sus propiedades son desconocidas, pero se especula que muchas podrían tener propiedades y usos interesantes.

De lo anterior se deriva la necesidad de impulsar estudios que nos ayuden a conocer el potencial que presentan las especies nativas y utilizarlas en programas eficientes de reforestación, así como en la regeneración del suelo degradado, en la recuperación de la funcionalidad de cuencas hidrológicas, la producción de materiales útiles como leña, carbón, forraje, frutos comestibles, compuestos químicos, gomas y otros productos valiosos para las comunidades locales (Leakely y Newton, 1994).

En México el conocimiento de la biología de la flora nativa es un área de formación profesional efectuada por un grupo reducido de investigadores, quienes debido a la carencia de estudios científicos al respecto, han tenido que realizar trabajos sobre la biología del desarrollo de las especies, como una etapa inicial que les permita proponer programas adecuados de reforestación o restauración, compatibles con las características ecológicas y sociales de la zona (Leakely y

Newton, 1994). Dichos investigadores, en lo referente al uso de especies valiosas, han puesto de manifiesto la importancia de remitirse al conocimiento preciso de las semillas de árboles y arbustos (Niembro, 1988; Arriaga *et al.*, 1994), el porcentaje de germinación, latencia de las semillas, otros métodos de propagación, la longevidad y posibles formas de almacenamiento, el grado de eficiencia en el establecimiento en condiciones naturales, así como el conocimiento de las etapas vulnerables en las plántulas (Vázquez-Yanes y Cervantes 1993; Arriaga *et al.*, 1994). Que además de permitir el establecimiento de elementos nativos de la flora y fauna, una vez establecidos no se tornen en malezas y por último, que sean de interés para la población local (Lindig y Vázquez-Yanes, 1997).

Las etapas iniciales del crecimiento de las plántulas dependen en su mayoría de las reservas contenidas en las semillas y posteriormente de la dinámica de las primeras hojas (Seiwa y Kikuzawa, 1996). Por lo anterior, el estudio del desarrollo de las plántulas tiene particular relevancia debido a que por medio de éste podemos inferir las estrategias ecológicas de la especie para desarrollarse y ser competitiva, dado que en el medio los recursos pueden ser limitados y por ende la competencia alta, por lo que el desarrollo de las diferentes estructuras será diferencial (Canham *et al.*, 1996). Por ejemplo, especies de semillas grandes tienen ventajas reproductivas en comparación con especies de semillas pequeñas bajo condiciones de sombra (Baker, 1972; Foster y Janson, 1985; Mazer, 1989 y Westoby, 1992) además de que las especies de semillas pequeñas han mostrado ciertas ventajas para crecer en áreas abiertas (Foster y Janson, 1985).

La biología del desarrollo de las plántulas nos permite conocer el tipo de germinación, etapas vulnerables, tiempo de desarrollo etc. Fraile *et al.* (1995) han propuesto su utilidad como carácter diagnóstico en estudios de taxonomía, pues cuando existe controversia para la separación de grupos estrechamente ligados, la biología del desarrollo funge como una herramienta que permite separar los grupos en cuestión. Todo lo anterior es parte del conocimiento básico que se

debe tener de una especie, para poder ser utilizada en programas de manejo y conservación (Laekely y Newton, 1994).

Conocer los métodos más apropiados para conservación y manejo de las semillas es un paso fundamental para la domesticación de las especies y así poder manejar y preservar el germoplasma (Gómez-Campo, 1985; Laekely y Newton, 1994) porque esta es la principal estructura de dispersión, propagación y perpetuación de las especies vegetales superiores desde sus orígenes, como muestra el registro fósil para el caso de la progimnospermas y las primeras gimnospermas; además es la diáspora que le permite a las plantas permanecer por mas tiempo en el ambiente aun cuando este sea desfavorable (Stewart, 1983; Niembro, 1988).

Gómez-Campo (1985) y Praciak (1996), resaltan la importancia que tiene el almacenamiento de semillas para la conservación de los recursos genéticos de las plantas a largo plazo. Sin embargo, no todas las especies de semillas presentan la misma viabilidad aunque el tiempo de permanencia en el ambiente sea el mismo. Vázquez-Yanes y Rojas (1996), mencionan que la longevidad de la semilla está fundada en el tipo de semilla y, para esto se valen de una clasificación realizada por Ellis *et al.* en 1985. Así, todas las semillas quedan incluidas en tres categorías (ortodoxas, intermedias y recalcitrantes), dependiendo de la capacidad que tienen para retener la humedad en su interior; cada una con diferente concentración de agua en su interior y con diferentes estrategias para retenerla.

Además de conocer el potencial de germinación y el método más adecuado para romper la latencia, otros factores de gran importancia en la planificación de programas de manejo que se deben conocer de las semillas de especies útiles son la biología de su desarrollo, desde la etapa de plántula hasta la etapa adulta; así como las estrategias de asignación de energía para formar biomasa durante el crecimiento y desarrollo particular de cada una de las especies (Fenner, 1992; Niinemets, 1997).

La asignación de biomasa en las plantas se distribuye entre el crecimiento, el almacenaje y la defensa (Chapin III *et al.*, 1990). El crecimiento y la incorporación de biomasa involucran varios niveles: a) incorporación funcional de

recursos, b) incorporación de biomasa a órganos de toda la planta y c) distribución bioquímica para componentes específicos (Chapin III *et al.*, 1990).

Durante el crecimiento de las plantas, existe un desarrollo diferencial de las partes vegetales, es decir, la asignación de energía en los organismos no se otorga de manera equitativa a todas las partes que la conforman, si no que ésta asignación depende de diversas circunstancias como son la estación del año, estado de desarrollo, especie y/o presiones ambientales (estrés) a los que están sometidas las poblaciones, etc., por lo que de acuerdo con su capacidad intrínseca las especies asignan mayor o menor energía a sus raíces o a sus vástagos, así como también recursos de diferente calidad (Gates, 1965; Mooney, 1972; Diamantoglou *et al.*, 1989a).

En este contexto, Aznar (1993) encontró al estudiar las diferentes partes vegetales de los diversos componentes de una selva caducifolia, que el contenido calórico de dichos componentes difiere tanto, entre especies como en las diferentes épocas del año. Chapin III (1989) por su parte, encontró diferencias en el contenido de energía entre hojas y tallos, debido a que los tallos están más lignificados, pero tienen bajo contenido de proteínas en relación con las hojas; así también hizo una subclasificación de estas últimas comparándolas entre caducifolias y perenes, encontrando diferencias proteicas a favor de las primeras ya que las caducifolias presentan el mayor contenido, lo que se traduce en un mayor contenido energético.

El costo en términos de la cantidad de carbono necesaria para la síntesis de los diferentes constituyentes químicos en las plantas puede ser barato como en el caso de la elaboración de carbohidratos, celulosa y hemicelulosa; comparados con la construcción de proteínas, taninos, ligninas, lípidos y otros metabolitos secundarios para la defensa (Chapin III, 1989). Es decir, durante su crecimiento las plantas construyen moléculas de bajo y alto costo energético, por lo que la elaboración de éstas moléculas limita su crecimiento (Golley, 1969; Fessenden y Fessenden, 1983).

Un estudio realizado por Vite (1985) evidencia un patrón diferencial de asignación de energía a las diferentes partes de *Astrocaryum mexicanum* a lo

largo de su ciclo de vida, encontrando una disminución en la cantidad de biomasa asignada a hojas caducas y raíces, así como un aumento para las hojas en pie, las estructuras reproductivas y el tronco a medida que la planta crecía. Debido a que existe un patrón diferencial en la asignación de energía en las partes de las plantas a lo largo de todo su ciclo de vida, las diferencias que podemos encontrar en contenidos energéticos en las primeras etapas de desarrollo, es de especial interés para los programas de manejo, a fin de encontrar el momento adecuado para realizar el trasplante del invernadero al campo.

Antecedentes

Actualmente la experiencia de otros países ha evidenciado las ventajas que brindan las especies utilizadas en materia de restauración ecológica, de las cuales la mayoría son micorrízicas, aunque existen también asociaciones simbióticas con algas y bacterias. Tal es el caso de las especies del género *Alnus*, quienes mantienen una relación con actinomicetes de género *Frankia* que las facultan para desarrollarse en suelos perturbados (Hendrickson, *et al.*, 1993; Bendix, 1994; Valdés *et al.*, 1996; Benoit y Berry, 1997).

En México el género *Alnus*, conocido comúnmente como aile, está representado por cuatro subespecies nativas que se distribuyen desde la región centro del país hasta la cordillera de los Andes en América del sur (USDA Forest Serve, 1974; Rzedoswki, 1990). El género *Alnus* pertenece a la familia Betulaceae, está formado por cerca de treinta especies de árboles y arbustos. Su distribución es amplia en el hemisferio norte, abarcando Norte América, México, Europa y Asia, y en la parte oeste de América del Sur, comprendiendo los Andes de Perú y Bolivia (USDA Forest Serve, 1974).

Las especies del género *Alnus* que se distribuyen en México han tenido problemas de clasificación, por lo que es frecuente en las referencias bibliográficas encontrar a *A. jorullensis ssp jorullensis* referida como *A. firmifolia*, debido a que Furlow las reclasifico recientemente.

largo de su ciclo de vida, encontrando una disminución en la cantidad de biomasa asignada a hojas caducas y raíces, así como un aumento para las hojas en pie, las estructuras reproductivas y el tronco a medida que la planta crecía. Debido a que existe un patrón diferencial en la asignación de energía en las partes de las plantas a lo largo de todo su ciclo de vida, las diferencias que podemos encontrar en contenidos energéticos en las primeras etapas de desarrollo, es de especial interés para los programas de manejo, a fin de encontrar el momento adecuado para realizar el trasplante del invernadero al campo.

Antecedentes

Actualmente la experiencia de otros países ha evidenciado las ventajas que brindan las especies utilizadas en materia de restauración ecológica, de las cuales la mayoría son micorrízicas, aunque existen también asociaciones simbióticas con algas y bacterias. Tal es el caso de las especies del género *Alnus*, quienes mantienen una relación con actinomicetes de género *Frankia* que las facultan para desarrollarse en suelos perturbados (Hendrickson, *et al.*, 1993; Bendix, 1994; Valdés *et al.*, 1996; Benoit y Berry, 1997).

En México el género *Alnus*, conocido comúnmente como aile, está representado por cuatro subespecies nativas que se distribuyen desde la región centro del país hasta la cordillera de los Andes en América del sur (USDA Forest Service, 1974; Rzedoswki, 1990). El género *Alnus* pertenece a la familia Betulaceae, está formado por cerca de treinta especies de árboles y arbustos. Su distribución es amplia en el hemisferio norte, abarcando Norte América, México, Europa y Asia, y en la parte oeste de América del Sur, comprendiendo los Andes de Perú y Bolivia (USDA Forest Service, 1974).

Las especies del género *Alnus* que se distribuyen en México han tenido problemas de clasificación, por lo que es frecuente en las referencias bibliográficas encontrar a *A. jorullensis ssp jorullensis* referida como *A. firmifolia*, debido a que Furlow las reclasificó recientemente.

En la actual reclasificación, en México se encuentran ampliamente distribuidas dos especies *Alnus acuminata* y *A. jorullensis* con dos subespecies cada una, *A. acuminata* ssp. *arguta*; *A. acuminata* ssp. *glabrata* y *A. jorullensis* ssp. *lorullensis* y *A. jorullensis* ssp. *lutea*, respectivamente (Rzedowski, 1990).

A. jorullensis ssp. *lorullensis*, es un árbol de hasta 20 m de altura, el tronco presenta corteza gris a café oscura, a menudo con constricciones transversales que lo rodean; ramillas glabras o ligeramente pubescentes, velutinas y glandulares; hojas pecioladas de 0.5 a 2.5 cm de largo, lámina elíptica, oblongo-elíptica u obovada, ápice agudo, obtuso o redondeado, margen entero en la base y doblemente aserrado o sinuado en la parte superior, base atenuada o cuneada, haz glabro o ligeramente pubescente, envés glabro o algo veloso y glandular; amentos masculinos de 3 a 11 cm de largo, infrutescencia ovoide a elíptica, de 1 a 3 cm de largo. Las hojas son elípticas, oblongo-elípticas u ovadas, de margen entero en su cuarto basal y aserrado o doblemente aserrado en la parte media y apical, envés con pubescencia y glándulas de color blanquecino, amarillento o café. (Rzedowski, 1990).

En el Valle de México *A. jorullensis* ssp. *lorullensis* es una especie que ha desarrollado pequeños bosquecillos de masas puras, en aquellos parajes en los que las coníferas han sido desplazadas, su densidad poblacional media es de 40 árboles por hectárea. Sin embargo, lo más común es observar comunidades de masas mezcladas con pinos, donde su densidad forestal puede superar la correspondiente a las aciculares, por un principio de colonización masiva (Nieto de Pascual y Zamora, 1989).

En la región de Chalco-Temamatla Estado de México, *A. jorullensis* ssp. *lorullensis* crece formando pequeños bosquecillos en las partes altas de los lomeríos, fuera de los campos de cultivo, junto con otras especies arbóreas como el pirúl (*Schinus molle*) y el capulín (*Prunus serotina* ssp. *capulli*), principalmente. Otro sitio donde se le puede encontrar, es en los márgenes de los arroyos formando bosque de galería.

El Aile presenta floración durante los meses de febrero a abril y la fructificación inicia en junio y se prolonga a los últimos meses del año,

encontrándose en algunos casos, frutos inclusive en los meses de enero a marzo del siguiente año. Pierde un poco de follaje en la época fría del año pero lo recupera de inmediato, por lo que no se observan frecuentemente árboles desnudos. Se produce una semilla por fruto y esté, se encuentra poco desarrollado en la infrutescencia, por lo que se puede considerar en su mayor parte como semilla. Presentan síndrome de dispersión anemócora y posiblemente hidrócoras, observándose semillas aladas de poco peso y tamaño (observación personal).

Especies del género *Alnus* han sido utilizadas en diversos programas de reforestación en otras partes del mundo, como es el caso de Costa Rica, en donde caracterizan a los ailes como una especie adecuada para la regeneración de suelos degradados, por la capacidad que tiene para fijar nitrógeno atmosférico y establecerse en sitios erosionados, en sustratos con deficiencias de algunos macronutrientes, en suelos salinos, compactos, con alta concentración de carbonatos, pH alto, o con alta concentración de minerales como aquellos provenientes de minas abandonadas, así como en zonas con deficiencia de agua (Bendix, 1994). Es excelente para colonizar suelos con minerales sueltos, como los remanentes de un derrumbe o la construcción de carreteras (CATIE, 1995). Además, el género presenta cualidades que le permiten ser maderable, sus hojas son palatables para el ganado y su corteza tiene propiedades medicinales (Lindig y Vázquez-Yanes, 1997).

Los ailes son catalogados como especies pioneras, se establecen en sitios perturbados, tienen rápido crecimiento, incrementan la disponibilidad de fósforo en el suelo; sus hojas son de rápida descomposición y favorecen el establecimiento de otras especies por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico gracias a su asociación simbiótica con *Frankia* (Haeussler *et al.*, 1995; Giardina *et al.*, 1995). El simbiote forma nódulos en las raíces, en donde fija nitrógeno atmosférico, y lo deja disponible para la planta y/o para otras especies que se encuentran creciendo en las cercanías (Hendrickson, *et al.*, 1993; Valdés *et al.*, 1996; Benoit y Berry, 1997).

En suelos pobres en materia orgánica *Alnus sinuata* acumula de 24 a 68 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N₂, mientras que el aile rojo (*Alnus rubra*) acumula por arriba de 100 kg ha⁻¹ año⁻¹, propiciando el establecimiento de otras especies vegetales en el mismo suelo (Coté y Camiré, 1987). Por otra parte, los resultados obtenidos de las plantaciones mezcladas de *A. rubra* y *Pseudotsuga menziesii*, sugieren que Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) crece a una tasa mayor, que cuando se encuentra creciendo en monocultivo (Shainsky y Rose, 1995). Adicionalmente el aile rojo se considera una especie maderable, capaz de entrar en la sucesión ecológica, tras el resultado de una catástrofe y la formación de claros en los bosques de Douglas-fir (Walker, 1990). En lugares poco fértiles, la biomasa de coníferas asociadas con alies puede ser mayor hasta en un 69% comparada con la biomasa de las coníferas que crecen en monocultivos en el mismo suelo (Binkley *et al.*, 1992).

La información sobre los usos actuales y potenciales de las especies de *Alnus* que se encuentran en México es escasa. De la poca información se conoce que todas las especies del género son utilizadas como fuente de leña y carbón. En el estado de Michoacán, por ejemplo, *Alnus arguta* es utilizado tradicionalmente para la fabricación de muebles y artesanías (De la Paz, 1993). En América del Norte algunas especies de *A. rubra* se han utilizado tradicionalmente para fines medicinales por las propiedades antisépticas de la corteza (Turner y Hebda, 1990). Los productos del género *Alnus* en general son numerosos y se centran sobre todo en la producción de combustibles y madera, seguidos por la producción de químicos para la industria, lo que hace de las especies de este género un recurso potencial de usos múltiples (Linding y Vazquez-Yanes, 1997).

Otros países del mundo, han iniciado estudios con las especies del género, como es el caso de las plantaciones de extracción de biomasa, para ser utilizada en la generación de energía, debido a la calidad de su madera y su coeficiente calórico, formando monocultivos o agrosistemas con otras especies maderables de rápido crecimiento como es el caso de *Populus* spp., Douglas-fir,

Pinus spp., etc. (Coté y Camiré, 1987; Sutton, 1987; Hendrickson, *et al.*, 1993; Giardina *et al.*, 1995).

En Kantishna Alaska, comunidades riparias de *Alnus crispa* y *Salix alaxensis* se establecieron con éxito en minas abandonadas; sobre una capa delgada de suelo colocado entre los despojos mineros y aún en los sitios donde el suelo fue removido por completo (Densmore, 1994). Por su parte Ho Cha y Koo Lee (1996), encontraron que *A. hirsuta* procedente de Suwon Corea, es tolerante a sustratos con elevadas concentraciones de iones de aluminio y que el desarrollo de la raíz y del vástago se ven retardados pero no les ocasiona la muerte, aunque esto puede ser compensado con la apropiada inoculación de *Frankia*.

Alnus acuminata en sistemas silvopastoriles de la región de los andes venezolanos mostró altos valores de sobrevivencia y crecimiento, además de mostrar competencia contra hierbas y especies trepadoras agresivas mediante crecimiento del tallo. El rápido crecimiento superior al de otras especies, le otorga características relevantes para su manejo y aprovechamiento. Es favorable en sistemas silvopastoriles, porque disminuye algunos costos de fertilización, postes para cercado y alimentación (Rojas, 1993).

Lindig y Vázquez-Yanes (1997), mencionan otras experiencias para restauración de sistemas con el uso de especies del género, como es el caso de la restauración de minas de carbón en el estado de Washington en U.S.A., mediante el uso de *A. rubra*. Así también, en minas de uranio especies del género *Alnus* han mostrado capacidad para establecerse en áreas donde la extracción del mineral se realizó por medios químicos, destacando *A. glutinosa* sobre otras especies como las coníferas también plantadas en el sitio.

A pesar de toda la experiencia que se tiene a nivel mundial con otras especies del género, de las cuatro subespecies mexicanas se conocen muy poco dado que existen pocos trabajos acerca de su desarrollo y fisiología, métodos adecuados de propagación, longevidad de la semilla, etc. Y en general, de toda aquella información básica con mayor nivel de detalle, que permita formular programas adecuados de reforestación y restauración.

El objetivo de este trabajo es, conocer y describir la germinación de *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis*, las fases iniciales de desarrollo de sus plántulas, así como determinar el momento adecuado de su transplante por medio de la evaluación de la dinámica de asignación de biomasa y energía (contenido calorimétrico) en las diferentes partes de las plántulas (raíz, tallo y hojas).

Materiales y Métodos

Las semillas fueron colectadas en diciembre de 1996, en las poblaciones de Temamatla Estado de México, por trabajadores del vivero forestal Temamatla, bajo la supervisión del Ingeniero forestal Mercedes Cruz. Las semillas fueron colocadas para su almacenamiento y conservación en tubos de vidrio de 12 cm. de largo por 1.2 cm de diámetro, en los cuales se introdujo primeramente una torunda de algodón en el fondo, seguida por las semillas, las cuales se protegían por otra capa de algodón y una capa final de Silica Gel desecante para evitar la hidratación. Dichos envases se almacenaron a 18 °C en el laboratorio de Ecología Fisiológica del Instituto de Ecología de la UNAM.

Descripción de las semillas

A fin de poder describirlas con más detalle en algunas de sus características morfológicas, así como en sus características externas, 100 semillas de *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis*, fueron pesadas en una báscula marca Sartorius con una precisión de 0.01 g y medidas a lo largo y ancho mediante una reglilla milimétrica en el microscopio óptico marca Zeiss. Alternativamente 50 cotiledones fueron extraídos de plántulas de 20 días de germinadas para medirlos a lo largo y ancho.

El objetivo de este trabajo es, conocer y describir la germinación de *Alnus jorullensis* ssp. *zorullensis*, las fases iniciales de desarrollo de sus plántulas, así como determinar el momento adecuado de su transplante por medio de la evaluación de la dinámica de asignación de biomasa y energía (contenido calorimétrico) en las diferentes partes de las plántulas (raíz, tallo y hojas).

Materiales y Métodos

Las semillas fueron colectadas en diciembre de 1996, en las poblaciones de Temamatla Estado de México, por trabajadores del vivero forestal Temamatla, bajo la supervisión del Ingeniero forestal Mercedes Cruz. Las semillas fueron colocadas para su almacenamiento y conservación en tubos de vidrio de 12 cm. de largo por 1.2 cm de diámetro, en los cuales se introdujo primeramente una torunda de algodón en el fondo, seguida por las semillas, las cuales se protegían por otra capa de algodón y una capa final de Sílica Gel desecante para evitar la hidratación. Dichos envases se almacenaron a 18 °C en el laboratorio de Ecología Fisiológica del Instituto de Ecología de la UNAM.

Descripción de las semillas

A fin de poder describirlas con más detalle en algunas de sus características morfológicas, así como en sus características externas, 100 semillas de *Alnus jorullensis* ssp. *zorullensis*, fueron pesadas en una báscula marca Sartorius con una precisión de 0.01 g y medidas a lo largo y ancho mediante una reglilla milimétrica en el microscopio óptico marca Zeiss. Alternativamente 50 cotiledones fueron extraídos de plántulas de 20 días de germinadas para medirlos a lo largo y ancho.

Potencial de germinación y viabilidad de semillas en diferentes condiciones de temperatura y fotoperíodo.

A fin de conocer las condiciones más adecuadas para la germinación de la especie, se realizó un experimento piloto de germinación en diferentes condiciones de temperatura, fotoperíodo y concentración de ácido giberélico, en cada una de las cuales se pusieron a germinar 3 lotes de 25 semillas de 2 meses de haber sido colectadas, dando un total de 27 lotes en el experimento sobre un sustrato de agar bacteriológico al 1% en cajas Petri. Del ensayo anterior, la combinación de variables que presentó el mayor porcentaje en el número de semillas germinadas fue a 20° C, con un fotoperíodo de 12X12 hrs y sin ácido giberélico, por lo que estas condiciones fueron elegidas para desarrollar las subsecuentes pruebas de capacidad germinativa en el tiempo, que se describen a continuación.

Potencial de germinación y viabilidad a 20 ° C

A fin de observar la viabilidad de las semillas de *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* en el tiempo, en este experimento, se pusieron a germinar cada treinta días 3 lotes de 25 semillas cada uno sobre un sustrato de agar bacteriológico al 1% en cajas Petri con luz blanca (producida por una lámpara fluorescente marca Sylvania de 22 watts), a una temperatura de 20 °C y fotoperíodo de 12 x 12 hrs., en una cámara de ambiente controlado marca Lab-Line Instruments. Dicho proceso se repitió durante seis meses cuantificando el número de semillas germinadas cada tercer día en cada periodo (Figura 1). Adicionalmente se colectaron semillas de la misma población en octubre de 1997, las cuales se pusieron a germinar bajo el mismo esquema experimental a los 15 días posteriores a su colecta, a fin de determinar el porcentaje de germinación temprano.

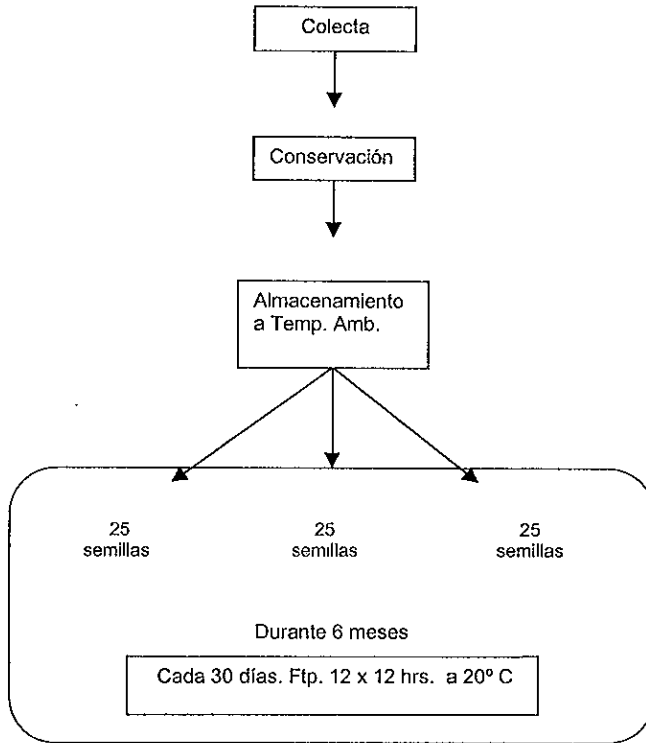


Figura 1 Actividades desarrolladas para los experimentos de germinación

Con el objetivo de descartar una latencia secundaria, se pusieron a germinar 3 lotes de 25 semillas de 6 y 7 meses de haber sido colectadas, sobre el mismo sustrato a una temperatura de 20 °C, fotoperiodo de 12 x 12 hrs y ácido giberélico a 500 y 1000 ppm. Por otro lado se tomaron placas de rayos "X" de 200 semillas de 7 meses de haber sido colectadas, para corroborar la posible relación entre la pérdida de viabilidad y la carencia de latencia secundaria con las características anatómicas del embrión en las semillas. La germinación de las semillas se consideró como la emergencia de la radícula.

El análisis de los datos de germinación se realizó mediante un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía (Zar, 1984), utilizando para esto los datos del

porcentaje de germinación de los diferentes periodos de tiempo. Dichos porcentajes fueron transformados al arcoseno, con el fin de ajustar los datos a una distribución normal.

Descripción del desarrollo de las plántulas.

En los mismos individuos utilizados en el experimento de germinación y viabilidad y bajo las mismas condiciones, se monitoreo el desarrollo de las plántulas, desde la aparición de los cotiledones hasta el momento de aparición de las primeras hojas verdaderas. Se registró la fecha de aparición de la radícula, hipocótilo, plúmula, emergencia y desarrollo de los cotiledones y desarrollo de las hojas.

Los resultados anteriores se describieron por medio de la desviación estándar, el promedio y el error estándar (Sokal y Rholf, 1995).

Análisis de crecimiento

Se pusieron a germinar 500 semillas de *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* dentro de las instalaciones del vivero de Temamatla Estado de México en bolsas de plástico negro, con suelo colectado en los primeros 15 cm de la superficie del bosque cercano al vivero, a 25 °C, 50% de humedad relativa y 12 hrs. de fotoperíodo. Las plántulas se regaron cada tercer día.

Se cosecharon muestras aleatorias de 25 plántulas a los 2, 4, 8 y 10 meses de edad. Las partes de las plántulas (raíz, tallo y hojas) se separaron y se secaron a 75 °C en una estufa de secado marca Riossa por 72 horas después de las cuales registro el peso seco en una balanza analítica marca Taurus con una precisión de 0.0001 g. Los datos de crecimiento medido a través del peso seco de cada una de las partes para los diferentes tiempos, se evaluaron mediante un ANDEVA anidado (Sokal y Rholf, 1995).

Con los datos provenientes de los pesos secos se estimó la Tasa Relativa de Crecimiento total (TRC), mediante el uso de la siguiente formula en el paquete para computadora Hpcurves versión 2.73 (Hunt y Parson, 1982), el cual ajusta las

curvas poligonales mediante el método de mínimos cuadrados para cada una de las partes.

$$TRC = \frac{(\ln W_{t2} - \ln W_{t1})}{(t2 - t1)}$$

Donde:

W: Promedio total de del peso seco de la planta en miligramos.

t: Tiempo en meses.

Así mismo, se estimó la relación R/V (Hunt, 1982). Los datos de TRC fueron analizados mediante un ANDEVA simple de una vía (Sokal y Rholf, 1995).

Análisis calorimétrico

Las diferentes partes de las plantas una vez secadas y pesadas, se pulverizaron mediante un molino eléctrico y un mortero de mano, hasta obtener un tamaño de partícula de 0.25 mm, que pasaba fácilmente por un tamiz con una luz de malla de estas dimensiones. Dichas pruebas se realizaron con semillas y plántulas de 20 días, 2, 4, 8 y 10 meses de edad. Las plántulas de 20 días de edad presentaban como características la presencia de cotiledones fotosintéticos y la carencia de hojas, a diferencia de las plántulas de 2 meses. El polvo obtenido fue compactado en una prensa para formar pastillas de 0.5 g. proporcionada en el equipo de la Bomba Calorimétrica Adiabática Parr 1341. Se quemaron 5 pastillas en cada tiempo para cada una de las partes de las plántulas en la bomba calorimétrica (Figura 2), según la metodología descrita en el apéndice de Aznar (1993).

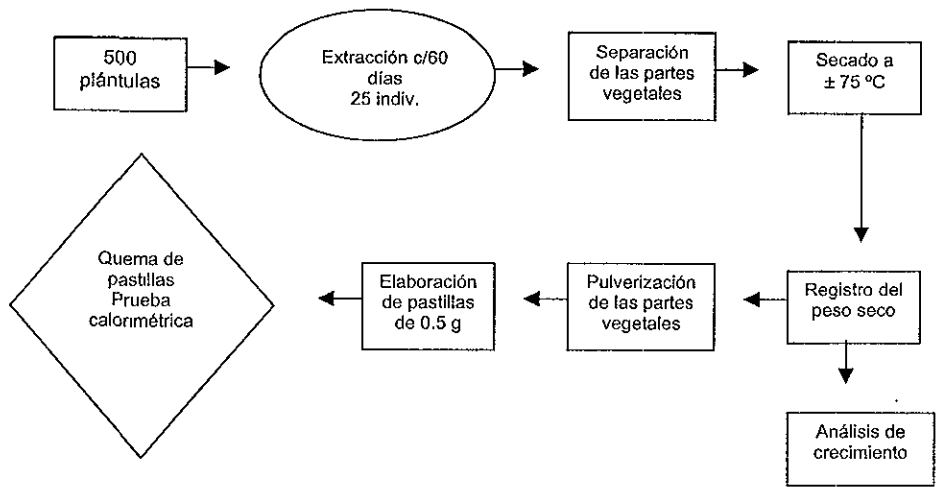


Figura 2. Esquema de actividades realizadas para el análisis calorimétrico y de crecimiento en las plántulas de aile.

La energía calórica de cada muestra (Hg) se determinó usando la siguiente ecuación (Parr, 1981):

$$Hg = \frac{tW - e_1 - e_2}{M}$$

En donde:

- Hg* Contenido de energía almacenado en la muestra (cal/g).
- T* Temperatura final (°C) – temperatura inicial (°C) del agua que rodea la bomba de oxígeno antes y después de la combustión.
- W* Energía equivalente al calorímetro (cal/°C). Para este estudio en particular se estimó en 2529 cal/°C.
- e₁* Corrección por la formación de ácido nítrico (cal/ml).
- e₂* Corrección por la fusión del alambre (cal/ml).
- M* Masa de la muestra libre de ceniza (g en peso seco).

Los datos resultantes de las pruebas calorimétricas se analizaron mediante un ANDEVA de una vía (Sokal y Rholf, 1995), para comparar el contenido calórico de las diferentes partes entre sí y en el tiempo.

Resultados

Morfología

Las características morfométricas del fruto fueron: peso promedio de la semilla $0.558 \text{ mg} \pm 0.0123$ ($n = 100$), largo promedio $2.452 \pm 0.190 \text{ mm}$ ($n = 50$) y ancho promedio $2.489 \pm 0.440 \text{ mm}$. Las observaciones al microscopio estereoscópico revelaron un tipo de semilla romboide y aplanada (figura 3), además de presentar una dilatación laminar de la cubierta seminal (ala), semejante a las descritas para las semillas del género *Alnus* del hemisferio norte (USDA Forest Service, 1974).

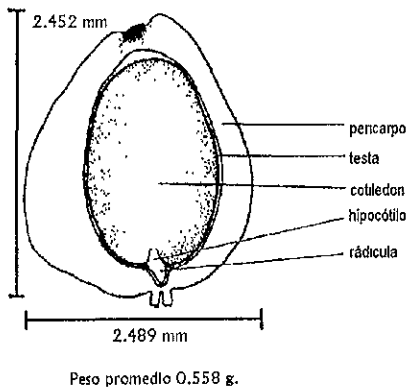


Figura 3.- Esquema que representa un fruto con una semilla de *Alnus jorullensis* spp *jorullensis*, reportando sus características morfométricas. Esquema modificado de USDA Forest Service, 1974.

La germinación en la mayoría de las semillas surgió en el quinto día después de haberse sembrado, sin ningún tratamiento previo. Las semillas presentaron una germinación epigea, con el surgimiento de una radícula cónico-cilíndrica a través del micrópilo llegando a su extensión máxima a los 7.4 ± 2.3 días y una plúmula romboide (figura 4).

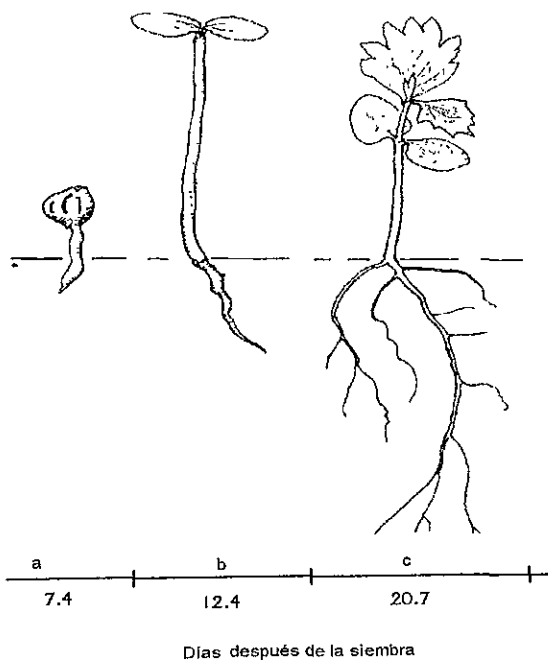


Figura 4.- Desarrollo morfológico de las plántulas de aile. Los valores inferiores corresponden al día promedio en el que los cambios son evidentes. Esquema modificado de USDA Forest Service, 1974.

Durante los días 10-14 se originó la elongación del hipocótilo siempre erguido alcanzando una longitud promedio de 15.43 ± 2.65 mm, sin perder su forma de cilíndrica acostillada. Paralelamente se desarrolló el sistema radicular, el talluelo (hipocótilo) dejó de crecer y se inició la caída de la cubierta seminal que protegía a los cotiledones. Estos últimos fueron suculentos, opuestos, subpeciolados, de forma elíptica y margen entero; se desarrollaron a partir del epicótilo en una posición terminal, envueltos totalmente por la cubierta seminal. Sobre el haz de cada uno se observó gran cantidad de pequeñas glándulas (Figura 4). Las medidas promedio del largo y ancho se resumen en la tabla 1.

Del epicótilo surgió la primera hoja verdadera alrededor del vigésimo día, mientras que el tiempo de aparición de la segunda fue muy variable, como es el caso para las semillas de dicotiledoneas (Salisbury y Ross, 1990; Derek, 1990). En las primeras etapas los meristemas que dan origen a las hojas verdaderas se encuentran tan juntos que dan la apariencia de ser opuestas, pero al cabo del tiempo con su crecimiento se observa una clara filotaxia alterna. Las hojas verdaderas presentaron una apariencia obovada con margen dentado acuminado y con el haz y el envés glabros. El tiempo de permanencia de los cotiledones fue muy variable, pero en general, fue independiente del número de eofilas presentes prolongándose hasta dos semana más, después de la aparición de la segunda eofila. En plántulas de 45 días se observó que de cada cicatriz foliar surgía una pequeña rama y el tallo se tornaba en una tonalidad púrpura.

	Cotiledones	
	(mm)	N
Largo	3.327 ± 0.5066	50
Ancho	2.382 ± 0.5042	50

Tabla 1.- Promedio ± D.E. del largo y ancho de los cotiledones de *Alnus jorullensis* ssp *jorullensis* (n=50)

Germinación

El ANDEVA aplicado a los datos de germinación, mostró diferencias significativas en los diferentes periodos de tiempo ($F = 9.8469$, $P = 0.0006$), observándose el porcentaje más alto, a pesar de ser bajo, en semillas de 2 meses de haber sido colectadas (30.71%) y decayendo hasta un 0% en semillas de 6 meses (Figura 5). Las semillas colectadas durante octubre de 1997 presentaron un 72% de germinación a los 15 días de almacenamiento. Por otro lado, el experimento de semillas de 6 y 7 meses de haber sido colectadas y tratadas con ácido giberélico, reportó un porcentaje de germinación del 0% a la vez de que las placas de rayos "X" evidenció un 93% de semillas vanas o con daño en el embrión.

Del epicótilo surgió la primera hoja verdadera alrededor del vigésimo día, mientras que el tiempo de aparición de la segunda fue muy variable, como es el caso para las semillas de dicotiledoneas (Salisbury y Ross, 1990; Derek, 1990). En las primeras etapas los meristemas que dan origen a las hojas verdaderas se encuentran tan juntos que dan la apariencia de ser opuestas, pero al cabo del tiempo con su crecimiento se observa una clara filotaxia alterna. Las hojas verdaderas presentaron una apariencia obovada con margen dentado acuminado y con el haz y el envés glabros. El tiempo de permanencia de los cotiledones fue muy variable, pero en general, fue independiente del número de eofilas presentes prolongándose hasta dos semana más, después de la aparición de la segunda eofila. En plántulas de 45 días se observó que de cada cicatriz foliar surgía una pequeña rama y el tallo se tornaba en una tonalidad púrpura.

	Cotiledones	
	(mm)	N
Largo	3.327 ± 0.5066	50
Ancho	2.382 ± 0.5042	50

Tabla 1.- Promedio ± D.E. del largo y ancho de los cotiledones de *Alnus jorullensis* ssp *jorullensis* (n=50)

Germinación

El ANDEVA aplicado a los datos de geminación, mostró diferencias significativas en los diferentes periodos de tiempo ($F = 9.8469$, $P = 0.0006$), observándose el porcentaje más alto, a pesar de ser bajo, en semillas de 2 meses de haber sido colectadas (30.71%) y decayendo hasta un 0% en semillas de 6 meses (Figura 5). Las semillas colectadas durante octubre de 1997 presentaron un 72% de germinación a los 15 días de almacenamiento. Por otro lado, el experimento de semillas de 6 y 7 meses de haber sido colectadas y tratadas con ácido giberélico, reportó un porcentaje de germinación del 0% a la vez de que las placas de rayos "X" evidenció un 93% de semillas vanas o con daño en el embrión.

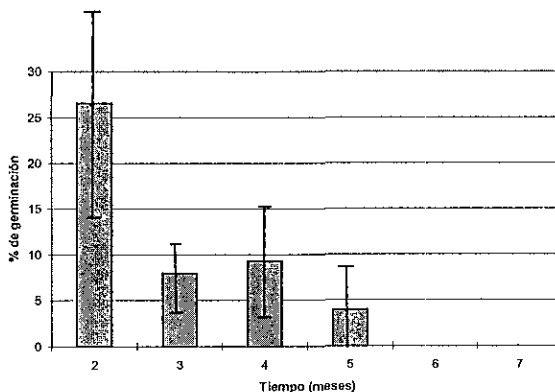


Figura 5.- Porcentaje promedio de la germinación de semillas de *Ainus jorullensis ssp jorullensis* (n = 25 en 3 lotes por cada período). Los meses indican el tiempo transcurrido desde su colecta.

Análisis de crecimiento

El intervalo de producción de biomasa total de las plántulas estimada mediante el peso seco, fue de 0.033 ± 0.00146 g para los dos meses de edad hasta 7.148 ± 1.6378 g correspondientes a 10 meses; estos datos muestran un incremento acelerado de aproximadamente 8 veces el peso inicial (Tabla 2, Figura 6). Por otra parte, aunque el incremento en la producción de biomasa es diferente a través del tiempo (Figura 6), no presentó diferencias significativas entre las partes ($F=1.7425$, $P=0.1709$), según los datos del ANDEVA anidado para las partes y los tiempos (Figura 7).

Mes	P. Seco (g)	Altura de Tallos (cm)
2	0.033 ± 0.0146	2.94 ± 0.9425
4	0.345 ± 0.1723	4.20 ± 0.8944
8	2.494 ± 0.8489	27.60 ± 7.9141
10	7.148 ± 1.6378	28.54 ± 5.8764

Tabla 2.- Promedio (± 2 D.E) de los pesos secos y la altura de individuos de *Ainus jorullensis ssp jorullensis* a diferentes edades. La altura promedio fue tomada a partir de la base del tallo y el peso seco corresponde solo al vástago.

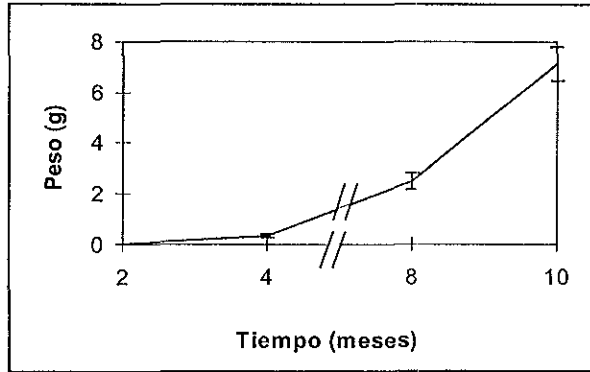


Figura 6.- Curva de ganancia de biomasa total del aile en diferentes fechas de colecta,

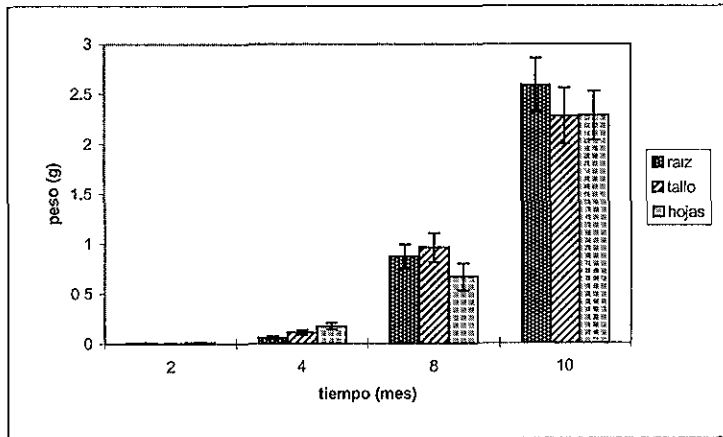


Figura 7.- Valores promedio de la producción de biomasa (peso seco) en cada una de las diferentes partes de *Alnus jorullensis* ssp. *zorullensis* con una n = 25 individuos en cada tiempo.

Según el cociente R/V las plántulas mostraron al inicio de su desarrollo una mayor asignación de biomasa el vástago, favoreciendo la asignación alrededor del cuarto mes hacia la raíz y cambiando dicha proporción a partir del octavo y décimo mes nuevamente a la vástago (Figura 8). A partir del octavo mes la proporción volvió a cambiar favoreciendo al vástago y continuó en esta tendencia hasta el décimo mes (Figura 8).

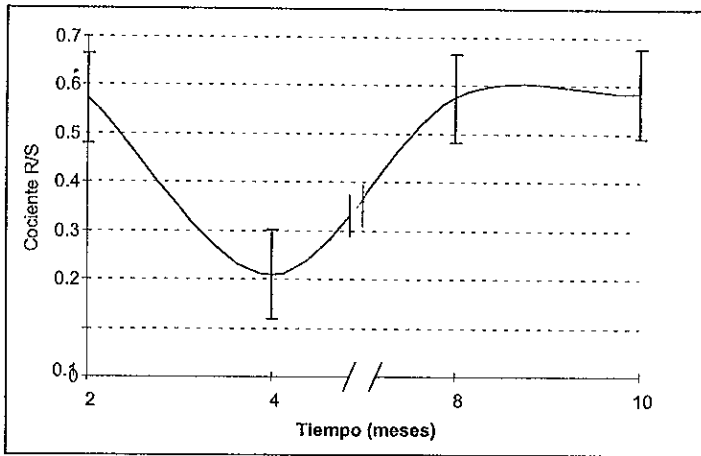


Figura 8.- Cociente R/V a través del tiempo de plántulas de aïle. $n = 25$.

En cuanto a la TRC de las partes de las plántulas, se encontraron diferencias significativas entre ellas ($F = 228.84$ y $P = 0.001$), así como en las tres partes analizadas respecto al tiempo: raíz ($F = 802.65$, $P = 0.001$), tallo ($F = 903.73$, $P = 0.001$), hoja ($F = 466.25$, $P = 0.001$) y peso seco total ($F = 821.21$, $P = 0.001$). Este hecho sugiere que la TRC de las diferentes partes no es constante a lo largo del tiempo, por ejemplo, en el caso del tallo, su tasa más alta se manifestó durante el cuarto mes y decreció hacia el octavo y décimo mes. Por otro lado, es interesante resaltar que el valor de TRC de todas las partes es mayor en el cuarto mes (Figura 9).

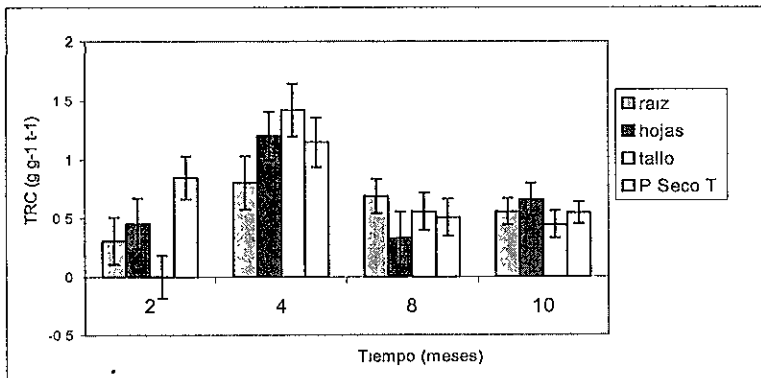


Figura 9.- TRC de las diferentes partes vegetales de plántulas de *Alnus jorullensis* ssp *jorullensis*.

El ANDEVA de los valores calóricos indicó que no existieron diferencias significativas entre las partes ($F = 0.8476$ $P = 0.4740$), aunque si entre los tiempos para cada una de ellas ($F = 18.124$ $P = 0.002$). En otras palabras, aunque el incremento es similar entre las partes en los diferentes tiempos, la tendencia general es incrementar el contenido calórico (CC) desde la semilla hasta los diez meses del experimento, observándose el mayor incremento entre el segundo y cuarto mes (Figura 10).

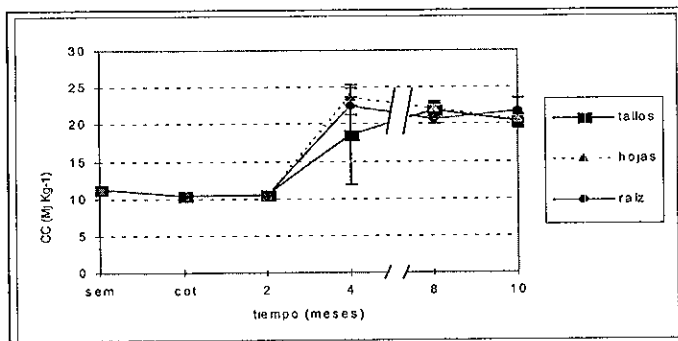


Figura 10.- Promedio del contenido calórico de las diferentes partes de las plántulas de ailes $n=5$.

Discusión

Con base en las observaciones morfométricas de las semillas de *A. jorullensis* ssp. *jorullensis* como su bajo peso y tamaño (comparado con las de otras especies que crecen en el mismo hábitat como *Prunus serotina* ssp. *capulli* y *Schinus molle*) así como la presencia de estructuras aladas en los márgenes del pericarpio (Figura 3), las cuales coinciden con las reportadas para otras especies de *Alnus*, se puede sugerir que estas presentan un síndrome de dispersión hidrócoro además del anemócoro, como lo reportado para las especies del hemisferio norte (USDA Forest Service 1974). Esto último debido a que la especie crece formando bosques de galería al margen de los ríos, por lo que su bajo peso le permitiría flotar, como se observó en las pruebas de viabilidad por el método de inmersión en agua, en el que las semillas viables flotaron y posteriormente germinaron.

Las características de bajo peso y tamaño de sus semillas, también podrían conferirle ciertas ventajas competitivas en términos de su radio de dispersión comparadas con otras especies que crecen en el mismo sitio como *Schinus molle* o *Prunus serotina* ssp. *capulli* que tienen semillas más grandes y pesadas, por lo que las semillas de *Alnus* tendrían la oportunidad de arribar a lugares más lejanos y colonizarlos si las condiciones fueran propicias.

Uno de los resultados de éste trabajo muestra que con el caso del tiempo hay una baja drástica en la capacidad germinativa de las semillas del aile, lo cual puede discutirse en dos niveles. El primero de ellos es que la corta viabilidad de la semilla puede ser una condición intrínseca del ciclo de vida de la especie (72% en semillas de 15 días de haber sido colectadas reduciéndose a 0% para el séptimo mes). Los resultados de este experimento presentaron la misma tendencia que los datos reportados por Ruiz y Orozco (1986) para semillas de *Alnus acuminata* (especie que se distribuye en las zonas tropicales y templadas geográficamente más cercana a *A. jorullensis*), bajo un tratamiento de 6 meses a temperatura ambiente obteniendo 70% de germinación a los 15 días de almacenamiento y 10% al sexto mes. Y en segundo término, dicha característica

podría extenderse al nivel de género ya que también la exhiben especies del hemisferio norte como lo muestran otros experimentos de semillas almacenadas de diferentes especies de *Alnus* como *A. glutinosa* y de *A. incana* (Schalin, 1967) bajo un tratamiento de 180 días a 41 °F más 3 días a -4 °F con porcentajes de germinación de 46 y 49% respectivamente, para semillas frescas de *A. rhombifolia* (USDA Seeds test data, 1948) con un tratamiento de 6 hrs expuestas a la luz y 180 días a 41 °F más 3 días a -4 °F con un 59%; para semillas estratificadas de *A. crispa* (Schalin, 1967) y *A. serrulata* (USDA Forest service, 1974) con un 28 y 36% respectivamente. Aunque es pertinente hacer notar que para las especies templadas como *A. jorullensis* y *A. acuminata*, debido a las características del ambiente donde crecen en el cual son poco frecuentes los cambios drásticos de temperatura, es poco probable que el proceso de estratificación pueda jugar un papel importante en la viabilidad de las semillas, en contraste con lo que observado en las especies del hemisferio norte a las cuales les ayuda a recobrar su capacidad germinativa; sin embargo, dicha aseveración está sujeta a experimentación.

Existen algunas evidencias que apoyan la idea de que la corta viabilidad de las semillas pueda deberse a una característica innata de la biología de las semillas (Vazquez-Yanez y Rojas, 1996), como lo observado en los géneros *Salix*, *Populus*, y especies ruderales como *Virola surinamensis* para los cuales se reporta también una corta viabilidad pese a diferentes formas de almacenamiento (Gómez-Campo, 1985; Praciak, 1996). Si tomamos en cuenta que *Alnus* es una especie ruderal y consideramos que su estrategia reproductiva es la abundante producción de semillas durante 6 meses en un ciclo anual (de junio a enero), es probable que la corta viabilidad de las semillas se deba a una característica innata de la especie, ya que en esta estrategia, el banco de semillas se renovarían durante los meses de producción asegurando su disponibilidad hasta el siguiente ciclo. En otras palabras, quizá el éxito reproductivo de la *Alnus jorullensis* se debe a la combinación de la abundancia de semillas y su largo tiempo de producción que las hace disponibles durante todo el año si se toma en cuenta mis

resultados (6 meses de viabilidad), y no a la esperanza de una prolongada capacidad germinativa.

Los resultados del experimento adicional de germinación con semillas colectadas al año siguiente (durante octubre de 1997), descartan el efecto de un anterior ciclo anual desfavorable sobre su viabilidad, obteniendo un promedio similar de germinación de 72% en la primera prueba, mientras que el experimento con ácido giberélico (a 500 y 1000 ppm), anuló la posibilidad de que el aile presente latencia secundaria (con un 0% de germinación en semillas tratadas de 7 meses de haberse colectado), además de que las placas de rayos "X" confirmaron la ausencia de embriones en el 93% de semillas del mismo lote. Estas evidencias pueden sumarse a favor del argumento de que la corta viabilidad se debe a una característica innata de la especie, o bien a una inadecuada forma de almacenamiento.

En este mismo contexto, la viabilidad de las semillas de *A. jorullensis* quizá pueda prolongarse mediante otros métodos de almacenamiento por lo que sería recomendable experimentar bajo otras condiciones (como estratificación previa, almacenamiento a temperaturas más bajas, otras condiciones de humedad y fotoperíodo, etc.), como lo sugieren los datos de las semillas de *A. glutinosa* y *A. incana*, las cuales fueron almacenadas en contenedores sellados y mantenidas durante dos años en aire seco y al final de este proceso continuaron viables según las pruebas de germinación (Mirov y Kraebel, 1939). Otro experimento que apoya el dato anterior es el reportado para *A. rhombifolia*, *A. glutinosa*, *A. incana* y *A. tenuifolia*, en el que los resultados de la germinación de las semillas fueron muy similares entre sí, tanto en semillas frescas como en semillas procedentes de un proceso de estratificación de temperaturas después de 180 días (Schalin, 1967).

Aunque, como ya se ha mencionado, lo anterior debería ser considerado en una investigación *a posteriori*, así como realizar un experimento de campo a largo plazo en el que se lleve a cabo un monitoreo del porcentaje de germinación *in situ*, ya que como menciona Orózco (1998), su capacidad germinativa podría no deberse a una característica intrínseca sino a estar regulada por otros factores

del ambiente del suelo como el periodo de imbibición de las semillas. Se ha querido hacer énfasis en enlistar diferentes posibles explicaciones a este hecho, porque considero que lo anterior es importante si queremos utilizar a *A. jorullensis* en programas de restauración y reforestación dado que una de las características deseables e importantes para las especies utilizadas, es el poder mantener viable su semillas a largo plazo, aún auxiliándose de un método adecuado de almacenamiento (Leakely y Newton, 1994; Gómez-Campo, 1985; Hamilton, 1994).

Otra posible explicación de la corta viabilidad puede apoyarse en algunos experimentos controlados de hibridación dirigida que evidencian la posibilidad de generar individuos totalmente diferentes de sus progenitores en los cuales se resalta alguna característica deseable que les brinda mayores ventajas, o que disminuyen su capacidad para desarrollarse en el mismo ambiente de sus progenitores (Cronquist, 1986), lo cual nos da pauta para discutir la corta viabilidad de las semillas del aile en términos de que podría ser el resultado de ciertas modificaciones en la especie producto de una hibridación, en la que los nuevos organismos están siendo sometidos a diversas presiones ambientales en su proceso de adecuación a las condiciones del sitio donde se están desarrollando; de tal suerte que por el hecho de ser organismos híbridos podrían tener algunas diferencias con el material genético de sus progenitores (Winchester, 1986), pero esta posibilidad también requiere investigación futura en el campo de la genética de poblaciones.

Por otro lado, la descripción de la morfología y desarrollo de plántulas es una pieza clave en la taxonomía y evolución de las especies, como lo evidencia un estudio sobre cuatro especies del género *Mimosa* en donde la comparación de la germinación, la morfología de plántulas y la fenología durante un ciclo anual de cultivo, contribuyeron al esclarecimiento de la ubicación taxonómica de las cuatro especies estudiadas (Fraile *et al.*, 1995). En adición, el proceso de domesticación de especies nativas para fines de reforestación o para la obtención de productos maderables, requiere conocer detalladamente todos los procesos de desarrollo de la o las especies que se desean domesticar, a fin de poder desarrollar técnicas

eficientes de almacenamiento y conservación del germoplasma (Leakely y Newton, 1994). Sin embargo, actualmente existen pocos trabajos acerca del estudio de la morfología de plántulas con este enfoque, ya que la mayoría está destinado a la descripción de las características intrínsecas de cada especie con fines meramente taxonómicos.

La clasificación de las especies mexicanas del género *Alnus* es ambigua, como puede constatarse en el libro de La Flora Fanerogámica del Valle de México, donde Rzedowsky (1990) describió al género *Alnus* con 6 especies (*A. acuminata* HBK, *A. arguta* (Schl.) Spach., *A. glabrata* Fern., *A. jorullensis* HBK, *A. firmifolia* Fern. y *A. lutea*), aunque en un trabajo publicado en el mismo año revisado por Furlow, modifica los taxa situando a dos de ellas como subespecies (*A. acuminata* ssp. *arguta*, *A. acuminata* ssp. *glabrata*, *A. jorullensis* ssp. *lorullensis* y *A. jorullensis* ssp. *lutea*), y elimina a *A. firmifolia*, la cual incluye dentro de *A. jorullensis* ssp. *lorullensis*. Sin embargo, el mismo Furlow sugiere la necesidad de realizar mucha más investigación en el género para poderlo entender cabalmente, ya que los criterios de clasificación parecen poco claros.

Bajo este entendido, las observaciones realizadas sobre el desarrollo de las plántulas de *Alnus jorullensis* ssp. *lorullensis*, además de brindarnos herramientas para futuros trabajos con la especie pueden ser útiles en la resolución de los problemas taxonómicos anteriormente descritos, aunque por falta de trabajos similares con las demás especies no se discute aquí tal controversia, por lo que solo se describen en la sección de resultados.

Las partes de los ailes a lo largo del experimento, no presentaron variaciones en la ganancia de biomasa entre ellas (Figura 7), contrastando con un estudio realizado por Coté y Camiré (1987) sobre la distribución de biomasa de las partes de *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn, mezclado con una especie híbrida de álamo (*Populus nigra* L. y *P. trichocarpa* Torr and Gray), en el que al cabo de tres años de experimento encontraron que el tallo era el más favorecido en la asignación de biomasa de sus individuos control " 3A " (Tabla 4). Tal diferencia puede deberse a que mi experimento se desarrolló bajo condiciones de invernadero y sin estar

sometido a un estrés ambiental, por lo que las plántulas contaron con recursos suficientes y sin competencia, por lo que no priorizaron el crecimiento de alguna de sus partes como sucedería probablemente en condiciones de campo, donde las interacciones con otras especies adicionalmente pueden estar modulando este proceso.

Biomasa (Mg ha ⁻¹)				
Tipo de parcela	Hoja	tallos y ramas	raíces	Total
3A	1.2	12	8.1	21.3
2A1P				
Aile	0.8	8.50	4.6	13.9
Álamo	1.2	4.9	1.8	7.9
Total	2.0	13.4	6.4	21.8
1A2P				
Aile	0.4	3.7	2.0	6.1
Álamo	2.0	8.6	2.9	13.5
Total	2.4	12.3	4.9	19.6
3P2.2	8.1	4.2	14.5	

Tabla 4.- Distribución de biomasa en individuos de Aile negro (*Alnus glutinosa*) y álamo híbrido de 3 años de edad. Parcelas: 3A aile en monocultivo; 2A1P 2/3 partes de aile, 1/3 de álamo; 1A2P 1/3 parte de aile, 2/3 parte de álamo y 3P álamo en monocultivo. Tomado de Coté y Camiré, 1987.

La asignación de biomasa en el aile durante el experimento de crecimiento favoreció al vástago en la mayor parte del tiempo experimental. Estos datos concuerdan con lo reportado por Huante *et al.* (1995a) en un estudio de plántulas de 2 meses de especies de selva baja que se desarrollaron en condiciones de abundancia de nutrientes (Tabla 5). En mi experimento debido a las condiciones imperantes en el invernadero y a que cada individuo creció en una bolsa independiente y suelo favorable asumimos que crecieron en abundancia de recursos y sin factores estresantes similares a los de Huante. Sin embargo, aunque el patrón durante 10 meses fue una mayor asignación de biomasa hacia el vástago en la parte inicial del experimento, esta proporción cambió en el cuarto mes hacia la raíz y durante el octavo y décimo mes nuevamente hacia el vástago

(Figura 8). Este patrón de comportamiento puede explicarse en términos de las etapas de desarrollo de las plántulas, ya que al principio deben asegurar la maquinaria necesaria para la obtención de energía por la parte aérea para poder garantizar su establecimiento (desarrollo de la raíz) y en conjunto favorecer el crecimiento del vástago.

Sin embargo, la incorporación de biomasa hacia la raíz en las plántulas de ailes, parece ser un comportamiento que mantienen las diferentes poblaciones de especies ruderales de los mismos ambientes en donde crecen algunas especies del género *Alnus* como el maple rojo (*Acer rubrum*), el pino blanco (*Pinus strobus* L.), el maple de azúcar (*Acer saccharum*) y *Quercus rubra*, así como de especies invasoras de campos de cultivo abandonados en las cuales la incorporación de biomasa en las primeras etapas de crecimiento hacia la raíz es más frecuente (Canham *et al.*, 1996).

Debido a su capacidad de establecerse y asimilar nutrientes en sitios donde no existe suelo orgánico, *Alnus* se ha caracterizado como uno de los géneros de gran importancia en la sucesión temprana (Coté and Camiré, 1987; Sutton, 1987; CATIE, 1995; Haeussler *et al.*, 1995; Compton *et al.*, 1997; Murcia, 1997), lo que permite incluir a *Alnus jorullensis* ssp *jorullensis* como una especie potencial para crecer en áreas donde el suelo ha sufrido algún tipo de daño. Además de presentar una rápida colonización y crecimiento, su sistema radicular además de otorgarle fijación al sustrato, mantiene una relación simbiótica con *Frankia* (actinomicete fijador de nitrógeno), lo cual resulta una ventaja adicional en contraste con otras especies ruderales. Por otra parte, aunado a su potencial económico y de uso, la ventaja de ser más competitiva en comparación con otras especies que también crecen en sitios perturbados sin ningún tipo de simbiosis, hacen que el aile pueda considerarse como especie valiosa para fines de restauración ecológica.

Especie	R/S		Biomasa seca (g)	
	-N	+N	-N	+N
<i>Acacia farneciana</i>	0.557	0.327	1.24	10.36
<i>Albizia occidentalis</i>	0.893	0.530	1.5	14.07
<i>Bernardia espongiosa</i>	0.354	0.218	2.17	10.57
<i>Caesalpinia coriaria</i>	0.661	0.411	1.45	2.5
<i>Caesalpinia erisustachys</i>	0.973	0.419	2.48	8.56
<i>Caesalpinia platybola</i>	0.851	0.452	2.8	8.1
<i>Ceiba pentandra</i>	1.455	0.635	2.85	24.05
<i>Cordia alliodora</i>	0.820	0.510	0.34	5.27
<i>Cordia elaeagnoides</i>	0.562	0.403	0.7	2.02
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.769	0.611	2.296	13.8
<i>Guazuma ulmifolia</i>	0.494	0.387	0.28	5.32
<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	0.534	0.264	0.05	1.3

Tabla 5.- Cociente R/V (Raíz/Vástago) y biomasa seca de varias especies de la selva caducifolia. Tomado de Huante *et al* (1995a).

La característica de poder establecerse en sitios carentes de suelo orgánico, parece estar ligado a la adquisición de nutrientes en plántulas de especies en las cuales el ciclo de vida está regulado por relaciones simbióticas como es el caso de las micorrizas o asociaciones para la fijación de nitrógeno (Brioua y Wheeler, 1994, Huante, 1995a). Por otro lado estudios realizados en el crecimiento de *Alnus glutinosa* (L.) Gaernt, con plántulas creciendo en ambientes con elevadas concentraciones de CO₂, encontraron que la asimilación de nitrógeno en la biomasa se ve favorecida incrementándose en un 54%, lo que conlleva a aumentar no solo la concentración en la raíz sino también en los nódulos, tallo y hojas. Esto sugiere que los árboles que mantienen una fijación de nitrógeno en condiciones elevadas de CO₂ pueden aumentar el contenido interno de este elemento, y este a su vez aumentar el contenido de nitrógeno en el suelo, mediante el aumento de la hojarasca (litter), aunque esto dependería a su vez de la capacidad de translocación (Brioua y Wheeler, 1994; Vogel *et al.*, 1997).

Los datos resultantes en las diferentes cosechas de aile mostraron que el valor más alto de la TRC en términos generales se presenta en el cuarto mes (Figura 9) para todas las partes de las plántulas, con una tendencia decreciente hacia los meses subsecuentes. Sin embargo, debido a la carencia de trabajos similares no podemos discutir nuestros resultados comparativamente, dado que los estudios de crecimiento existentes para especies del mismo género (Sharma

et al., 1994; Wurtz, 1995; Brayton *et al.*, 1996) y otros (Espinosa-Balancari y Perry, 1987; Mallik *et al.*, 1997) que crecen en el mismo ambiente, tienen un diseño experimental muy distinto del nuestro, además de que las unidades en las que expresan sus valores están dadas en biomasa por hectárea impidiendo la comparación. Sin embargo, comparados con resultados equiparables de experimentos con plántulas en otros trabajos tales como Huante *et al* (1992, 1995a, 1995b y 1997), *A. jorullensis* mostró una TRC mayor (Figura 9), lo que aunado a los datos antecedentes de ser una especie de rápido crecimiento y buena colonizadora, podría sugerirla como una especie potencialmente útil en programas de reforestación que requieran una producción rápida de biomasa y cobertura vegetal.

Por otro lado, es interesante resaltar que la TRC durante el periodo de estudio no es constante, es decir, experimenta cambios entre los intervalos de tiempo. Por ejemplo, el valor mas alto registrado en el cuarto mes evidencia una mayor necesidad de recursos para ese periodo, disminuyendo su tasa de crecimiento en los meses subsecuentes, lo que en términos de su manejo en la reforestación sugiere la conveniencia de que el transplante de los individuos se realice posterior a los cuatro meses, debido a que una perturbación en las condiciones microambientales con una alta tasa de crecimiento (demanda alta de recursos y alta tasa metabólica), puede repercutir en mayor grado estrés fisiológico y menor éxito en el nuevo establecimiento.

El uso de técnicas energéticas para conocer la cantidad de biomasa en los individuos es otra de las varias vías por las cuales se puede evaluar el crecimiento (Woodwell, G. y Whittaker, R. 1968; Paine, 1971 y Vite, 1985) sin embargo, a partir de este método no solo se puede estimar la asignación de biomasa, sino que además mediante el contenido de energía en las diferentes regiones, se permite conocer la calidad energética incorporada en esa zona (Chapin III *et al.*, 1990).

Los resultados obtenidos para el R/V y la TRC (Figuras 8 y 9) fueron respaldados por el análisis calórico (Figura 10) de cada una de las partes y se encontró una tendencia semejante entre ellos en su confrontación. El análisis

estadístico del contenido calorimétrico de las partes muestra que no existen diferencia significativa entre ellas ($F = 0.8476$ $P = 0.4740$), por lo que podemos sugerir, que la especie en estado de plántula tiende a asignar la misma cantidad de energía para la construcción de las diferentes partes, y solo difieren en la velocidad de asignación.

Estos resultados podrían no ser concordantes con los reportados para especies estacionales (Chapin III *et al.*, 1986), ya que en ellas se han observado diferencias en el contenido energético entre sus partes, aunque cabe señalar que esto ocurre en individuos que se encuentran creciendo bajo condiciones naturales y que estas diferencias pueden deberse a las múltiples presiones a las que se encuentran sometidas. De tal suerte, que aunque el aile es una especie subcaducifolia que crece en ambientes estacionales, en nuestro experimento no se presentaron diferencias en la asignación de energía probablemente porque nuestras plántulas crecieron bajo condiciones favorables de invernadero, que tal vez favorecieron la incorporación homogénea de energía en sus partes a lo largo del experimento.

Los resultados estadísticos del contenido energético en las partes a través del tiempo muestran diferencias significativas ($F= 18.124$ $P= 0.002$) notables (Figura 10), por lo que podemos decir que *Alnus jorullensis* ssp *jorullensis* además de disminuir la TRC, presenta modificaciones energéticas en el tiempo de desarrollo de las plántulas, es decir, la asignación de energía se puede incrementar o disminuir en las diferentes partes a través del tiempo, pero siempre con un patrón de asignación homogéneo sin dar prioridad a la incorporación de biomasa en alguna de sus partes vegetales.

Las variaciones en el contenido energético pueden deberse además de la estrategia de vida de las especies a factores externos, como menciona Diamantoglou *et al.* (1989a y 1989b), ya que las especies también pueden variar en el contenido calórico de la biomasa de acuerdo con la estación del año, si éstas habitan ambientes estacionales como el género *Alnus*. Sin embargo, nosotros descartamos esta posibilidad porque nuestro trabajo lo realizamos en condiciones de invernadero, donde las condiciones ambientales fueron constantes, por lo que

creemos que si la especie en cuestión mantiene este comportamiento en su historia de vida sería necesario realizar un estudio en condiciones de campo, para tener mas herramientas que nos permitan considerar la posibilidad de la influencia del medio.

Almeida (1990) reportó valores calóricos de individuos adultos de *A. jorullensis*, que mantienen una asignación de energía similar para el vástago, que la encontrada en nuestro trabajo (Tabla 6), lo que sugiere que esta misma cantidad de energía se mantiene incluso hasta llegar a la etapa adulta. Aunque no es posible hacer una aseveración contundente ya que el estudio de Almeida no reporta la edad exacta de los individuos ni la época del año en que hizo la colecta, ya que Diamantoglou (1989b) en su trabajo plantea que el contenido energético en las especies estacionales puede disminuir en la época seca del año y tal vez en este caso, los datos provengan de una cosecha bajo estas condiciones.

Tronco		Rama	
Humedad %	Energía Mj/kg	Humedad %	Energía Mj/kg
0.0	21.811	0.0	19.688
10.0	17.364	13.3	16.401
13.0	18.262	13.3	18.100
14.5	17.140	15.0	16.132
28.2	16.686	25.3	15.372
37.0	12.360	37.5	12.149
		38.9	13.481

Tabla 6.- Porcentajes de humedad y contenido calórico en troncos y ramas de *Alnus jorullensis* ssp *zorullensis* HBK. Tomado de Almeida (1990).

Por otro lado, otros autores han encontrado valores muy por arriba de los nuestros en especies con alto contenido de aceites o resinas, como sucede en especies arbustivas del género *Ephedra* (Diamantoglou *et al.*, 1989^a), en las cuales durante el invierno los arbustos frenan su crecimiento y almacenan aceites de alto contenido energético en sus raíces. Aunque también, se han reportado datos que giran alrededor de nuestros resultados en especies estacionales (Golley, 1969; Diamantoglou *et al.*, 1989a, 1989b; Aznar, 1993), lo que sugiere que *Alnus jorullensis* ssp *zorullensis* asigna la misma cantidad de energía para la construcción

de moléculas de bajo costo en toda la planta, es decir, tampoco da prioridad a la elaboración de moléculas “caras” en alguna de sus partes.

Conclusiones

La descripción morfológica de la semilla y del desarrollo de la plántula aquí descritos, no pueden ser discutidos en términos comparativos debido a la carencia de trabajos similares con otras especies filogenéticamente emparentadas. Sin embargo, proveen una oportunidad para plantear estudios en más detalle que puedan añadir elementos que ayuden a resolver el conflicto en la taxonomía del género.

La corta viabilidad de a semilla de *Alnus* en las condiciones experimentales particulares de este trabajo aunada a resultados de investigaciones antecedentes, plantean la posibilidad de que ésta sea una característica innata de la especie. Aunque no se descarta la posibilidad de poder prolongar su capacidad germinativa con otro tipo de tratamientos previos y métodos adecuados de almacenamiento.

Por otra parte, la corta viabilidad de la semilla en principio podría parecer una desventaja competitiva en términos de las interacciones ecológicas en el ambiente donde crecen naturalmente. Aunque si tomamos en cuenta el largo ciclo de fructificación de los árboles de *Alnus* y la rápida TRC observada, esto podría sugerir que la estrategia de la especie resulta eficiente para su nivel de adecuación. Pero dicha aseveración esta sujeta a mas trabajos de campo que aborden el problema desde la dinámica de poblaciones.

Los valores de R/V en conjunto con los de la TRC sugieren que en un programa de manejo para el Aile, el transplante alrededor de los 6 meses es el más adecuado, debido a que en esta etapa tanto el cociente R/V como la TRC tienen decrementos importantes que evidencian una menor demanda de recursos y sugieren una mayor plasticidad fisiológica en respuesta a un posible cambio en el microambiente.

Los resultados de este trabajo en su conjunto constituyen una parte importante del conocimiento de la biología básica de *Alnus jorullensis*, necesario para incrementar su valor utilitario en programas de conservación y manejo para los que las especies mexicanas de *Alnus* han sido propuestas, dadas sus características valiosas en la restauración. Particularmente en zonas deterioradas del Valle de México en donde las actividades antrópicas han modificado la composición y estructura del suelo, además de ser recurrente el uso de especies exóticas. Ya que en contraste el Aile tiene la ventaja de ser una especie nativa, así como permite el asentamiento y desarrollo de flora adicional lo cual favorecería la recuperación del sitio.

Referencias

- Almeida, R. 1990. **Análisis calorimétrico de cinco especies vegetales que se utilizan como leña**. Tesis Profesional, Fac de Ciencias, UNAM, México. 168 pp.
- Arriaga, V., Cervantes, V. y Vargas-Mena, A. 1994. **Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas**. Instituto Nacional de Ecología, SEDESOL/UNAM, México. 12-78.
- Aznar, L. A. 1993. **Contenido calorífico de diferentes componentes estructurales de la vegetación de una selva baja caducifolia en Chamela, Jal. México**. Tesis Profesional Biología, UNAM, Fac. Ciencias. México. 71 pp.
- Baker, H. 1972. Seed weight in relation to environmental conditions in California. **Ecology**. 53: 997-1010.
- Bendix, J. 1994. Among-site variation in riparian vegetation of the southern California transverse Ranges. **American Midland Naturalist**. 132 (1).
- Binkley, D., Sollins, P., Bell, R., Sachs, D., y Milrold, D. 1992. Biogeochemistry of Adjacent conifer and alder-conifer stands. **Ecology**. 73: 2022-2033.
- Benoit, L. y Berry, A. 1997. Flavonoid-like compounds from seeds of red alder (*Alnus rubra*) influence host nodulation by *Frankia* (Actinomycetales). **Physiologia Plantarum**. 99: 588-593.
- Brioua, A-H. y Wheeler, C. 1994. Growth and nitrogen fixation in *Alnus glutinosa* (L.) Gaernt. under carbon dioxide enrichment of the root atmosphere. **Plant and Soil**. 162: 183-191.
- Canham, C., Berkowitz, A., Kelly, V., Lovett, G., Ollinger, S. y Schunurr, J. 1996. Biomass allocation and multiple resource limitation in tree seedlings. **Canadian Journal Forest Research**. 26: 1521-1530.
- CATIE, 1995. Jaúl, *Alnus acuminata* spp. *arguta*, (Schlechtendal), Furlow. **Especie de árbol de uso múltiple en América Central**. CATIE, MADELEÑA, Informe técnico # 248. Costa Rica 37 pp.
- Cervantes, V., Arriaga, V. y Carabias J. 1996. La problemática socioambiental e institucional de la reforestación en la región de La Montaña, Guerrero, México. **Boletín de la Sociedad Botánica de México**. México. 59
- Chapin III, F. S. 1989. The cost of tundra plant structures: evaluation of concepts and currencies. **The American Naturalist**. 133 (1): 1-19
- Chapin III, F., Schulze, E., Mooney, H. 1990. The ecology and economics of storage in plants. **Annual Review of Ecological Systems**. 21: 423-447.
- Chapin III, McKendrick, J. y Jhonson, D. 1986. Sesasonal changes in carbon fractions in Alaskan tundra plants of differing growth form: implication for herbivory. **Journal of Ecology**. 76: 707-732.
- Compton, J., Cole, D. y Homann, P. 1997. Leaf element concentrations and soil propierties in first-rotation and second-rotation stands of red alder (*Alnus rubra*). **Canadian Journal of Forest Research**. 27: 662-666.
- Coté, B. y Camiré, C. 1987. Tree growth and nutrient cycling in dense plantings of hybrid poplar and black alder . **Canadian Journal of Forest Research**. 17: 516-523.
- Cronquist, A. 1986. **Introducción a la Botánica**. Continental. México. 748-753

- De la Paz, C. 1993. En: Lindig, R. y Vázquez-Yanes, C. 1997. Estado del arte. Los ailes en la restauración ecológica. **Ciencia**. 45: 31-40.
- Devlin, 1978 **Fisiología vegetal**.
- Densmore, R. 1994, En: Lindig, R. y Vázquez-Yanes, C. 1997. Estado del arte. Los ailes en la restauración ecológica. **Ciencia**. 5: 31-40.
- Derek, J.B. y Black, M. 1990. **Seeds physiology of development and germination**. Plenum Press. New York.
- Diamantoglou, S., Rhizopoulou, S., Herbig, A. y Kull, U. 1989a. Seasonal trends in energy content and storage substances in the mediterranean shrub *Ephedra*. **Acta Oecologica**. 10 (3): 263-274.
- Diamantoglou, S., Rhizopoulou, S. y Kull, U. 1989b. Energy content, storage substances, and construction and maintenance cost of mediterranean deciduous leaves. **Oecologia**. 81: 528-533.
- Ellis, R., Hong, T., y Roberts, E. 1985 **Handbook of seed technology for genebank**. Vol I y II. International Plant Genetic Resources Institute Publications, FAO. Italia.
- Espinosa-Bancalari, M. y Perry, D. 1987. Distribution and increment of biomass in adjacent young Douglas-fir stands with different early growth rates. **Canadian Journal of Forest Research**. 17: 722-730.
- Fenner, M. 1992. **Seeds. The ecology of regeneration in plant communities**. C A B International. Reino Unido. 371 pp.
- Fessenden, R. y Fessenden, J. 1983. **Química Orgánica**. Iberoamericana. 383-445.
- Foster, S. y Janson, C. 1985. The relationship between seed size and establishment conditions in tropical woody plants. **Ecology**. 66: 773-780.
- Fraile, M., Martínez-Bernal, A., Camargo-Ricalde, S., Medrano-García, J. y Grether, R. 1995. Morfología de plántulas, ciclo anual y sus implicaciones taxonómicas en cuatro especies del género *mimosa* (Leguminosae). **Congreso mexicano de botánica, libro de resúmenes**. Sociedad Botánica de México. Cuernavaca, Morelos.
- Gates, D. 1965. Energy, Plants, and Ecology. **Ecology**. 46(1,2): 1-13. En: Wiegert, R. G. 1976. **Ecological energetics**. Benchmark papers in Ecology / 4. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Stroudsburg, Pennsylvania. 457 pp.
- Giardina, C., Huffman, S., Binkley, D., y Caldwell, B. 1995. Alders increase soil phosphorus availability in a Douglas-fir plantation. **Canadian Journal of Forest Research**. 25: 517-519.
- Golley, F. B. 1969. Caloric value of wet tropical forest vegetation. **Ecology**. 50 (3): 517-519.
- Gómez-Campo, C. 1985. Seed banks as an emergency conservation strategy. En: Gómez-Campo, C. (ed.). **Plant Conservation in the Mediterranean Area**. Dr. W. Junk Publisher. Boston. 236-247.
- Haeussier, S. Tappeiner II, J. y Greber, B. 1995. Germination, survival, and early growth of red alder seedlings in the central Coast Range of Oregon. **Canadian Journal of Forest Research**. 25: 1639-1651.

- Hamilton, M. 1994. Ex Situ Conservation of Wild Plant Species: Time to reassess the genetic assumptions and implications of seed Banks. **Conservation Biology**. 8 (1): 39-49.
- Hendrickson, O., Burgess, D., Perinet, P., Tremblay, F. y Chatatpaul, L. 1993. Effects of *Frankia* on field performance of *Alnus* clones and seedlings. **Plant and Soil**. 150: 295-302.
- Ho Cha, D. y Koo Lee, D. 1996. Effects of diferents aluminium levels on growth and root anatomy of *Alnus hirsuta* Rupr. Seedlings. **Journal of Sustainable Forestry**. 3(2/3): 45-63.
- Huante, P. Rincón, E. y Acosta, I. 1995a. Nutrient availability and growth rate of 34 woody species from a tropical deciduos forest in México. **Functional ecology**. 9: 849-858.
- Huante, P. Rincón, E. y Chapin III, F.S. 1995b. Responses to phosphorus of contrasting successional tree-seedling species from the tropical deciduos forest of Mexico. **Functional Ecology**. 9: 760-766.
- Huante, P. Rincón, E. y Gavito, M. 1992. Root systems analisis of seven tree species from a tropical dry forest in Mexico. **Trees**. 6: 77-82.
- Huante, P. y Rincón, E. 1998. Responses to light changes in tropical deciduous woody seedlings with contrasting growth rates. **Oecologia**. 113: 53-66.
- Hunt, R. 1982. **Plant Growth Curves, The funcional approach to plant growth analisis**. Edward Arnold. Gran Bretaña. 191 pp.
- Hunt, R. y Parson I. 1982. **HPcurves. An IBM-compatible PC edition of the popular Hunt & Parson program for plant growth analisis and related applications**. 12 pp.
- Leakely, R. y Newton, A. 1994. **Domestication of tropical trees for timber and non-timber products**. UNESCO. Francia. 94 pp
- Lindig, R. y Vázquez-Yanes, C. 1997. Estado del arte. Los ailes en la restauración ecológica. **Ciencia**. 45: 31-40
- López-Moreno, I. 1991. **El arbolado de la zona metropolitana de la Ciudad de México**. UAM-A. Instituto de Ecología. (Ciencia y Tecnología, 2). Publicación # 32. México. 388 pp.
- Maass, J. y García-Oliva, F. 1990. La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de México. **Ciencia y Desarrollo**. 15 (90): 21-36.
- Mallik, A. U.; Bell, F. W. y Gong, Y. 1997. Regeneration behavior of competing plants after clear cutting: implications for vegetation management. **Forest Ecology and Management**. 95: 1-10.
- Masera, O., Ordóñez, M. y Dirzo, R. 1992. Carbon emmisions from deforestation in México: current situation and long-term scenarios. En: Makundi, W. and Sathaye, J. (Edrs). Carbon Emission and sequestration in forest: case studies from seven developing countries: **Summary. Lawrence Berkeley Laboratory Report # LBL-32665**. University of California, Berkeley, California.
- Mazer, S. 1989. Ecological, taxonomic, and life history correlates of seed mass among Indiana dune angiosperms **Ecological Monographic**. 59: 153-175.
- Mirov, N., y Kraebel, C. 1939 **En: USDA Forest Service. 1974. Seeds of woody plants in the United States**. U. S. Departament of Agriculture. Agriculture Handbook # 450. 206-211.

- Mooney, H. A. 1972. The carbon balance of plants. **Annual Review of Ecology Systems**. 3:315-346.
- Murcia, C. 1997. Evaluation of Andean alder as a catalyst for the recovery of tropical cloud forests in Colombia. **Forest Ecology and Management**. 99: 163-170.
- Niembro, R. C. 1988. **Semillas de árboles y arbustos, ontogenia y estructura**. Limusa. México. 285 pp.
- Nieto de Pascual, P. y Zamora, M. 1989. Características del Aile (*Alnus jorullensis* ssp *jorullensis*) en el Valle de México. **Revista Ciencia Forestal**. 65 (14) 99-114.
- Niinemets, U. 1997. Energy requirement for foliage construction depends on tree size in young *Picea abies* trees. **Trees**. 11: 420-431.
- Orozco, S. A., 1998. VII Congreso Latinoamericano de Botánica. XIV Congreso Mexicano de Botánica. Simposio "Ecofisiología vegetal: una herramienta para la conservación y la restauración ecológica". Conferencia "El ambiente de la semilla en el suelo: su efecto en la germinación y sobrevivencia en la plántula".
- Paine, R.T. 1971. The measurement and application of the calorimeter to ecological problems. **Annual Review of Ecological Systematics** 2: 145-164.
- Parr, Inc. 1981. Instructions for the 1341 Plain Jacket, Oxygen Bomb Calorimeter. Manual # 147. Moline. Illinois 61265 EUA 23 pp.
- Praciak, A. 1996. Seed storage of plant genetic resources. **Seed Science Research**. 6: 71-75.
- Rico-Bernal M. 1991. *En: López-Moreno I. 1991. El arbolado de la zona metropolitana de la Ciudad de México*. UAM-A Ciencia y Tecnología, 2 Instituto de Ecología A.C, publicación # 32. México. 388 pp
- Rojas, G. 1993. El aliso (*Alnus acuminata*) un árbol para los sistemas silvopastoriles en los andes venezolanos. *Revista Forestal Latinoamericana*. 12: 207-226.
- Rzedowski, 1990. *Flora fanerogámica del Valle de México*. vol I y III. FCE. 100-105, 384-385 pp.
- Ruiz, M. y Orozco de A, M. 1986. Efecto de la posición de los frutos en el estrobilo y tamaño de los mismos sobre el porcentaje de germinación en *Alnus acuminata* H.B.K. (Betulaceae). **Cladisia**. 14 (68-70):455-463.
- Salisbury, F. B. and Ross, C. W. 1991. **Plant Physiology**. Wadsworth Publishing Company. California. 441-450 pp.
- Schaln, I. 1967. Germination analysis of *Alnus incana* (L) Moench and *Alnus Glutinosa* (L.) Gaertn. Seeds. **Acta Oecologica Scanddi**. 18: 253-260.
- Seiwa, K. y Kikuzawa, K. 1996. Importance of seed size for establishment of seedlings of five deciduous broad-leaved tree species. **Vegetatio** 123:51-64.
- Shainsky, L. y Rose, C. 1995. Effects of competition on the foliar chemistry of young Douglas-fir in monoculture and mixed stands with young red alder. **Canadian Journal of Forest Research**. 25: 1969-1977.
- Sharma, R.; Sharma, E. y Purohith, A. N. 1994. Dry matter production and nutrient cycling in agroforestry systems of cardamom growth under *Alnus* and natural forest. **Agroforestry Systems**. 27: 293-306.
- Sokal, R y Rohlf, J. 1995. **Biometry**. W. H. Freeman & CO. New York. 179-309 pp.
- Stewart, W. 1983. **Paleobotany and the evolution of plants**. Cambridge university press. U.S.A. 438-467.

- Sutton, R. F. 1987. Root growth capacity and field performance of jack pine and black spruce in a boreal stand establishment in Ontario. **Canadian Journal of Forest Research**. 17: 794-804.
- Toledo, V., Carabias, J., Toledo, C. y González-Pacheco C. 1989. La producción rural en México: alternativas ecológicas. **Fundación Universo Veintiuno, A. C.** México, 402 pp.
- Tuner, N. y Hebda, R. 1990. En: Lindig, R. y Vázquez-Yanes, C. 1997. Estado del arte. Los ailes en la restauración ecológica. **Ciencia**. 45: 31-40.
- USDA Forest Service. 1974. **Seeds of Woody Plants in The United States**. U.S. Department of agriculture. Handbook # 450. Washington, D.C.
- USDA Seeds test data. 1948. En: USDA Forest Service. 1974. **Seeds of Woody Plants in The United States**. Hand Book 450. Washington, D.C.
- Valdés, M. Vásquez, L. y Muños, A. 1996. La biología de *Frankia*, endosimbionte de árboles fijadores de nitrógeno. **Ciencia** . 47: 51-67.
- Vázquez-Yanes, C. 1997. Que verde era nuestro Valle. **Revista Universidad Nacional**. junio. 557: 51-43.
- Vázquez-Yanes, C. y Batis, A. I. 1996a. la restauración de la vegetación, árboles exóticos vs. árboles nativos. **Ciencias**. 43: 16-23.
- Vázquez-Yanes, C. y Batis, A. I. 1996b. Adopción de árboles valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. **Boletín de la Sociedad Botánica de México**. 58: 75-84.
- Vázquez-Yanes, C. y Cervantes, V. 1993. Reforestación con árboles nativos de México. **Ciencia y Desarrollo**. 113: 52-58.
- Vázquez-Yanes, C., Orozco, A., Rojas, M., Sánchez, M.A. y Cervantes, V. 1997. **La reproducción de las plantas: Semillas y Meristemos**. La ciencia para todos/157. FCE. México. 167 pp.
- Vázquez-Yanes, C. y Rojas, A. M. 1996. *Ex situ* Conservation of Tropical Rain Forest Seed: problems and perspectives. **Interciencia**. 21 (5): 293-298.
- Vite, F. 1985. La estrategia de asignación de energía de *Astrocaruim mexicanum* LIEBM.(Palmae). Tesis Profesional Biología, UNAM, Fac. Ciencias. México. 157 pp.
- Vogel, C., Curtis, P. y Thomas, R. 1997. Growth and nitrogen accretion of dinitrogen-fixing *Alnus glutinosa* (L.) Gaernt. under elevated carbon dioxide. **Plant Ecology**. 130: 63-70.
- Walker, L. C. 1990. **Forest: A naturalist guide to trees and forestry ecology**. John Willey & sons. U.S.A. 288 pp.
- Westoby, M. 1992. Comparative evolutionary ecology of seeds size. **Trends in Ecological Evolution**. 7: 368-372.
- Wilson Brayton F., Gartner L. Barbara. 1996. Lean in red alder (*Alnus rubra*): growth stress, tension wood, and righting response. **Canadian Journal of Forest Research**. 26: 1951-1956.
- Winchester, A.M. 1986. Genética. Continental. México. 450 pp.
- Woodwell, G. y Whittaker, R. 1968. Primary Production in Terrestrial Ecosystems En: Wiegert, R. G. 1976. **Ecological energetics**. Benchmark papers in Ecology / 4. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Stroudsburg, Pennsylvania. 457 pp.

Wurtz, T. L. 1995. Understory alder in three boreal forests of Alaska: local distribution and effects on soil fertility. **Canadian Journal of Forestry Reserche**. 25: 987-996.

Zar, J. 1984. **Biostatistical Analysis**. Prentice, Hall Inc. New Yersey. 239-240.

Apéndice

Caloría: Energía necesaria para elevar un grado centígrado un gramo de agua (ej. de 14.5 a 15.5°C)

Calor: energía necesaria para realizar un trabajo

Tabla de conversiones

1 caloría	=	4.1868 J
1 cal/gramo	=	0.0041868 MJ/Kg
1 Btu	=	251.996 calorías
1 Btu	=	1055.06 J
1 Kw/h	=	3.6 J

La energía de 1 gramo de ácido benzoico (W) es igual a 6 318 cal.

1 cm fundido de alambre especial llamado nicromel es igual a 2.3 cal.

1 ml de ácido nítrico formado es igual a 1.0 cal.

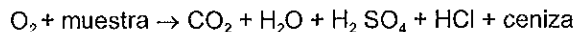
Antecedentes metodológicos

Existen tres métodos principales para determinar el contenido calórico del material biológico.

1. El método de oxidación húmeda con dicromato de potasio (Maciolek, 1962; citado en Cummins & Wuycheck 1971, Paine 1971).

2. El método cualitativo, Mediante un balance de reacciones empíricas. Esto consiste primero en conocer una cantidad de componentes químicos reactivos de la muestra (azúcares, proteínas, lípidos, minerales, agua, etc.), y con base en esta cantidad se calculan los productos que lo forman principalmente agua, dióxido de carbono, oxígeno, ácido sulfúrico, clorhídrico y cenizas. Este procedimiento es muy utilizado en los balances fisicoquímicos con muestras muy pequeñas (Dolamski, 1972; escott, 1965).

El balance empírico puede ser ilustrado mediante la siguiente ecuación:



Dicha ecuación es solo una especulación de los productos y reactivos que podrían estar presentes en la combustión de la muestra.

3. La combustión de la muestra con una bomba calorimétrica. Este aparato tiene gran variedad de modelos y modificaciones, sin embargo, todos utilizan básicamente oxígeno como oxidante, al reaccionar con una muestra de la cuál se

debe conocer la masa. También se utiliza una pequeña fuente eléctrica para iniciar la ignición.

Este último método es el más utilizado actualmente en estudios de ecología energética, ya que su manejo resulta ser más práctico y preciso que los dos métodos anteriores. (McEwan y Anderson 1965, ASTM 1981, Wiegert 1976).

En la utilización de la bomba calorimétrica, es necesario realizar una serie de estandarizaciones para ajustarla a las condiciones de temperatura del laboratorio y al tipo y número de muestras utilizadas (Paine 1971, Parr 1981). Para realizar estas estandarizaciones, se utiliza un material de referencia del cuál se conoce su energía equivalente (cal/g). Tal como es el caso del ácido benzoico, cuya energía equivalente es de 6318 cal/g (Parr 1981).

El uso de la bomba calorimétrica esta asociada a errores de tipo metodológicos. En la literatura se proporcionan algunas recomendaciones detalladas para sus correcciones (ASTM 1981, Paine 1971, Parr 1981). Algunos de estos errores, se deben principalmente a variaciones en el porcentaje de humedad que contenga la muestra y el grado de pulverización y compactamiento de la misma. Un valor muy importante que se debe conocer en cada análisis calorimétrico es el porcentaje de cenizas de cada muestra. De no tomarse en cuenta este valor, se comete un grave error de medición, ya que para obtener el contenido calórico de la muestra, es necesario señalar la cantidad total de energía liberada por la parte orgánica.

Instructivo para el Manejo de la bomba Calorimétrica Modelo Plain Jacket 1341.

Instrucciones de seguridad

Para el manejo adecuado de la bomba se requiere seguir con cuidado el instructivo, de esta forma se obtendrán resultados, favorables.

Las condiciones ambientales del cuarto deben ser las siguientes:

1. La temperatura ambiental del cuarto no debe tener variaciones mayores de $\pm 5^{\circ}\text{C}$.
2. El cuarto debe tener un espacio mínimo de 4 m².
3. Fácil acceso a la corriente de agua.
4. Conexión de luz con 115-120 volts.

Antes del manejo se debe observar que no falten piezas principales (termómetro, banda del motor, tazas, alambre, cubierta de vasija y bomba de oxígeno).

debe conocer la masa. También se utiliza una pequeña fuente eléctrica para iniciar la ignición.

Este último método es el más utilizado actualmente en estudios de ecología energética, ya que su manejo resulta ser más práctico y preciso que los dos métodos anteriores. (McEwan y Anderson 1965, ASTM 1981, Wiegert 1976).

En la utilización de la bomba calorimétrica, es necesario realizar una serie de estandarizaciones para ajustarla a las condiciones de temperatura del laboratorio y al tipo y número de muestras utilizadas (Paine 1971, Parr 1981). Para realizar estas estandarizaciones, se utiliza un material de referencia del cuál se conoce su energía equivalente (cal/g). Tal como es el caso del ácido benzoico, cuya energía equivalente es de 6318 cal/g (Parr 1981).

El uso de la bomba calorimétrica esta asociada a errores de tipo metodológicos. En la literatura se proporcionan algunas recomendaciones detalladas para sus correcciones (ASTM 1981, Paine 1971, Parr 1981). Algunos de estos errores, se deben principalmente a variaciones en el porcentaje de humedad que contenga la muestra y el grado de pulverización y compactamiento de la misma. Un valor muy importante que se debe conocer en cada análisis calorimétrico es el porcentaje de cenizas de cada muestra. De no tomarse en cuenta este valor, se comete un grave error de medición, ya que para obtener el contenido calórico de la muestra, es necesario señalar la cantidad total de energía liberada por la parte orgánica.

Instructivo para el Manejo de la bomba Calorimétrica Modelo Plain Jacket 1341.

Instrucciones de seguridad

Para el manejo adecuado de la bomba se requiere seguir con cuidado el instructivo, de esta forma se obtendrán resultados, favorables.

Las condiciones ambientales del cuarto deben ser las siguientes:

1. La temperatura ambiental del cuarto no debe tener variaciones mayores de $\pm 5^{\circ}\text{C}$.
2. El cuarto debe tener un espacio mínimo de 4 m².
3. Fácil acceso a la corriente de agua.
4. Conexión de luz con 115-120 volts.

Antes del manejo se debe observar que no falten piezas principales (termómetro, banda del motor, tazas, alambre, cubierta de vasija y bomba de oxígeno).

Tamaño y tipo de muestra

Las muestras analizadas calorimétricamente deben poseer ciertas propiedades de consistencias como el peso, el cual no debe exceder el gramo de peso seco, ya que existen materiales sumamente energéticos que pueden llegar a elevar la energía a las 8 000 ó 10 000 cal/g lo cuál provocaría una sobrecarga dentro de la bomba de oxígeno. Se recomienda que las muestras utilizadas deberán quedar completamente pulverizadas para evitar que la combustión sea parcial o incompleta, debido a que existen materiales con fibras lignificadas como es el caso de las hojas y ramas, o el material es muy grueso como las raíces y troncos, por lo cuál no adquieren una compactación adecuada para su combustión. Es necesario comprimir las muestras en una prensa de tal manera que se formen pequeñas pastillas para su fácil manejo.

Operación de la bomba de oxígeno

Se debe colocar la pastilla en la taza, y ésta a su vez, en el sostén de uno de los electrodos de la bomba de oxígeno. Después se amarra un segmento de alambre nicromel de 10 cm de longitud a los electrodos. Hacer un ligero dobléz de tal forma que toque completamente el alambre a la muestra, evitando tocar el alambre con las paredes de la taza.

Con la pipeta se coloca 1 ml de agua destilada en el fondo del cilindro de la bomba de oxígeno. Se fija la tapa en la parte posterior de la bomba de oxígeno, se cierra perfectamente, tanto la rosca externa como las válvulas de purgación, después se conecta a la entrada de oxígeno la manguera de llenado del tanque de oxígeno tipo industrial. Se llena a 30 atm de presión la bomba, se toma cuidadosamente con la pinzas y se introduce en la tina de la cámara adiabática.

En la tina se vacía exactamente y muy lentamente 2 l de agua destilada (de preferencia desmineralizada y que contenga menos de 250 ppm de disolventes sólidos (Parr, 1981)). Se debe tener cuidado que la temperatura del agua esté aproximadamente 1.5°C por debajo de la temperatura ambiente para evitar correcciones. Se conectan los cables de corriente eléctrica en las terminales de la tapa de la bomba. Se le coloca la tapa y se asegura que quede libre el aspa de agitación y que el termómetro este totalmente sumergido en el agua.

Ignición

El sistema de ignición deberá ser conectado sólo hasta el momento de tener colocada la bomba de oxígeno y lista para la combustión.

Se conecta el motor al aspa y se deja agitar hasta 30 min al principio de cada corrida; y entre muestra y muestra se debe dejar correr 5 min (este tiempo es variable dependiendo del usuario) para equilibrar el sistema tomando la lectura del inicio, al asegurarse que no hay variaciones de temperatura se toma la lectura del comienzo y se deja transcurrir otros 5 min, anotando la lectura la temperatura

cada minuto. Al sexto minuto, se oprime el botón de ignición asegurándose de que la luz roja de corriente encienda, y se comienza a tomar lecturas de la temperatura cada 30 segundos. Se registra la lectura de los primeros 5 min, debido a que algunas pruebas han demostrado que el 60% de la combustión se alcanza en los dos primeros minutos posteriores a la ignición; y posteriormente se estabiliza entre los 5 y 8 min.

Después de 15 min, se toman las lecturas de la temperatura final en intervalos de 1 minuto cada una. Con esto se asegura que se estabilizó la temperatura máxima (esto también se comprobó mediante pruebas anteriores para la calibración del aparato). Se apaga el motor del aspa y se desconectan los cables de corriente eléctrica. Se quita la tapa, y se saca la bomba de oxígeno. Se libera la presión de gas interno mediante la válvula de purgación lentamente dejando transcurrir en este procedimiento hasta 1 min. Se abre la tapa de la bomba y se asegura que la combustión de la muestra haya sido completa. El líquido remanente en el fondo de la bomba se titula para procesos de correcciones.

Correcciones

Para cuantificar la cantidad de ácido nítrico, se utiliza una solución de NaCO_3 0.0725 N con un indicador (rojo o anaranjado de metilo) titulando la solución formada en la bomba de oxígeno. (También se puede utilizar KOH o NaOH, como sales para titular). Se retiran los fragmentos de alambre no fusionados y se miden para hacer la corrección.

Cálculos para las correcciones termoquímicas.

$$Hg = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

donde:

t = Temperatura neta ($^{\circ}\text{C}$) elevada

W = Energía equivalente Cal/ $^{\circ}\text{C}$

e_1 = Corrección en cal para el calor de formación de HNO_3 . (C1 ml de base utilizada)

e_2 = Corrección en cal para el calor de formación de H_2SO_4

e_3 = Corrección en cal por cada cm del calor de combustión del alambre fusionado (2.3 cal = 1 cm)

m = Masa de la muestra en gramos libres de ceniza en peso seco

Estandarización de la bomba

El uso de ácido Benzoico otorga una referencia de al sensibilidad del sistema de ignición de la bomba, la obtención de al energía equivalente es un método establecido de fabrica. Al pesar la pastilla y siguiendo todos los pasos anteriores se quema la pastilla de ácido benzoico y se obtiene el número de calorías por grado centígrado equivalentes al aumento de temperatura en una unidad de muestra

donde

$$W = \frac{Hgm + e_1 + e_3}{t.}$$

W = energía equivalente Cal/ °C

Hg = Calor de combustión del ácido Benzoico

e_1 = Corrección del ácido formado

m = Masa del ácido benzoico en gramos

t = Temperatura neta (°C) elevada

e_3 = corrección por el alambre fusionado

El valor promedio de energía equivalente fue de 2429 cal/°C.

Referencias

- ASTM. 1981. **Standars for Bomb Calorimetry and Combustion Methods**. ANSI/ASTM. EUA. 55pp.
- Dolamski, E. 1972. Selected values of heats of formation of organic compounds containing the elements C, N, H, P y S. **J. Phys. Chem. Ref. Data**. 1(2): 221-228.
- Cummins, K.W. & Wuycheck, J.C. 1971. Caloric equivalents for investigations in ecological energetics. **Proc. Intern. Assoc. Limnol.** 18: 1-158.
- Maciolek, J.A. 1962. Limnological organic analysis by cuantitative dichromate oxidation. **Rept. Bur. Sport. Fish. Wildlife**. 20: 1-61.
- McEwan , W.S. & Anderson, M.C., 1965. Miniature bomb calorimeter for the determination of heats of combustion samples of the order of 50 mg mass. **Rev. Sci. Instrum.** 26:266-280.
- Paine, R.T. 1971. The measurement and aplication of the calorie to ecological problems. **Ann. Rev. Ecol. Systematics** 2:145-164.
- Parr Inc. 1981. **Instructions for the 1341 Plain Jacket, Oxigen Bomb Calorimeter**. Manual No. 147. Moline, Illinois 61265 EUA. 23 pp.
- Wiegert, R. 1976. **Ecological Energetics**. Benchmarck Papers in Ecology No. 4, Dowden. Hutchinson & Ross, Stroudsburg, Pa.