

NOTA TÉCNICA

PRESENCIA DE NÓDULOS FIJADORES DE NITRÓGENO EN RAÍCES DE *Casuarina* spp. EN MÉXICO

Luis Vásquez Méndez¹, Roberto Cruz-Cisneros² y
María Valdés Ramírez¹

RESUMEN

Casuarina es una planta exótica originaria de Oceanía que se introdujo en México a principios del siglo XX. El interés en el estudio de este árbol se ha incrementado últimamente debido a su capacidad para adaptarse a ambientes marginales y a sus múltiples usos. El éxito que tiene esta planta para crecer en suelos degradados y de baja fertilidad se debe en parte a la asociación con el actinomiceto *Frankia* sp., el cual promueve la formación de nódulos radicales fijadores de nitrógeno. El propósito de este trabajo fue evaluar la nodulación de la casuarina en México y analizar los factores ambientales que afectan este fenómeno. Para ello, se realizó un muestreo desde la Ciudad de México (>2,000 m) hasta la costa del Golfo de México. Se exploraron 106 sitios en los cuales se localizaron dos especies de casuarina: *Casuarina equisetifolia* y *Casuarina cunninghamiana*, la primera fue la más frecuente en el área de estudio. La presencia de nódulos radicales fijadores de nitrógeno en el árbol no es consistente, sólo 33% de los árboles examinados presentaron nódulos radicales y estos fueron abundantes o escasos. De los factores ambientales estudiados, sólo la altitud mostró tener un efecto relevante en el número de plantas noduladas; en el intervalo que comprende de los 0 a los 500 msnm se ubican 74% de los sitios que presentan casuarina con nódulos radicales fijadores de nitrógeno.

Palabras clave: *Casuarina cunninghamiana*, *Casuarina equisetifolia*, fijación de nitrógeno, *Frankia*, nódulos radicales, planta actinorrhiza.

Fecha de recepción: 02 de julio de 1999.

Fecha de aceptación: 14 de julio de 2003.

¹ Departamento de Microbiología. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N. Correo e: lvasquez@alquimia.encb.ipn.mx

² Departamento de Botánica. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. I.P.N. †

ABSTRACT

Casuarina is an exotic genus that was planted in Mexico for the first time at the beginning of the XXth century. The ability to stand extreme ecological conditions as well as its natural multipurpose properties have led to its intense study. Its successful growth upon marginal soils is partly due to its association with *Frankia*, a nitrogen-fixing actinomycete that induces root nodule formation. In order to assess the root nodulation and to analyze the effect of environmental factors upon this phenomenon, several field surveys were carried out from the coast of the Gulf of Mexico to Mexico City (>2 000 m high). 106 sites were explored, where two species were found: *C. equisetifolia* and *C. cunninghamiana*; the first was more frequently observed. Results show that tree nodulation was not consistent; in 33 per cent of the trees, root nodules were detected, and their number varied very much. Among the environmental factors, altitude showed a strong effect upon the numbers of nodulated plants; 74 per cent of the sites with casuarine trees that bore nitrogen - fixing root nodules were located in 0 - 500 m areas.

Key words: *Casuarina cunninghamiana*, *Casuarina equisetifolia*, nitrogen-fixing, *Frankia*, root nodules, actinorrhizal plant.

La casuarina es un árbol que pertenece al grupo de plantas denominadas actinorrízicas por formar una asociación simbiótica con el actinomiceto *Frankia* Brunchorst. Cuando éste penetra en el sistema radical de *Casuarina* spp. Rumph. ex L. da como resultado la formación de nódulos en los que se lleva a cabo la fijación biológica del nitrógeno.

El género *Casuarina* es originario de Australia y las islas del Pacífico sur (Silvester, 1977), incluye 18 especies noduladas, entre las que destacan por su utilidad: *C. equisetifolia* Forst. & Forst., *C. cunninghamiana* Miq., *C. junghuniana* y *C. glauca* Sieb. ex Spreng., éstas con algunas otras, han sido introducidas en diferentes partes del mundo. La dispersión del género se dio primero de Oceanía a las costas del Océano Índico, de allí pasó a la región continental de África y por último al continente americano.

La familia Casuarinaceae tiene la particularidad de asemejarse a las coníferas, debido a que se caracteriza por presentar troncos rectos con copas cónicas, ramas verdes que cuelgan y frutos parecidos a los conos típicos de los pinos. Las casuarinas son angiospermas cuyas flores unisexuales están reducidas y simplificadas. El tallo se compone de dos partes: ramas persistentes indeterminadas con engrosamiento secundario que forman el cuerpo permanente de la planta y las ramillas deciduas determinadas, llamadas de forma incorrecta cladodios, de aproximadamente 1.5 a 2.5 mm de diámetro. Las ramillas son el órgano

fotosintético de la planta. Las hojas en las casuarinas están reducidas a escamas blancas o café fusionadas lateralmente en la base, en verticilos que definen los nudos sobre las ramillas (Dommergues, 1990).

Casuarina cunninghamiana. El nombre común de la especie es "casuarina" o "pinito". Son árboles monoicos de 20 m de altura con ramillas deciduas, verdes, delgadas y penduladas, de 8 a 15 cm de largo, con hasta 45 articulaciones. Los entrenudos son de 5 a 6 mm de largo y de 0.4 a 0.6 mm de grosor. Las hojas están dispuestas en verticilos de 8 a 12 en cada nudo. Las inflorescencias masculinas son amentos terminales sobre ramillas deciduas, de 1 a 2.5 cm de largo y de 1 mm de grosor. Las inflorescencias femeninas son conos terminales sobre pequeñas ramas laterales de 0.7 a 1.4 cm de largo y de 0.7 a 1.0 cm de ancho. El fruto es una sámara de 3 a 5 mm de largo (Dommergues, 1990; Nee, 1983).

Casuarina equisetifolia. Se le conoce comúnmente como "casuarina", "pino" o "pino de mar". Los árboles son monoicos de hasta 20 m de altura, con ramillas deciduas, verdes, delgadas y péndulas, de 7 a 19 cm de largo, con más de 30 articulaciones. Los entrenudos de 6 a 8 mm de largo y de 0.6 a 0.8 mm de grosor. Las hojas están dispuestas en verticilos de seis a ocho en cada nudo. Las inflorescencias masculinas son amentos terminales en ramillas deciduas de 3.0 cm de largo y de 1.5 mm de grosor. Las inflorescencias femeninas son conos leñosos de 1.2 a 1.5 cm de largo y de 1.2 a 1.5 cm de ancho. El fruto es una sámara de 6 a 8 mm de largo (Nee, 1983).

El género se introdujo en México a principios del siglo XX por el Ing. Miguel Ángel de Quevedo, con el propósito de cultivarlo en los médanos del Golfo de México para fijarlos y evitar que el mar siguiera ganando terreno al continente. Dicho árbol lo trajo de Argelia o Túnez y se ignora como se propagó y bajo que condiciones (Chacalo y Fernández, 1995). Sin embargo, se ha adaptado exitosamente a diferentes hábitats en el país, se le puede encontrar desde las regiones costeras hasta el altiplano. Dos son las especies plantadas, *C. cunninghamiana* y *C. equisetifolia*, en la actualidad ambas tienen una amplia distribución, tanto en áreas rurales como urbanas (Cruz- Cisneros y Valdés, 1990).

Los usos que se le han dado a la casuarina son diversos: como barrera rompe vientos, para la recuperación de suelos erosionados y áreas afectadas por sales, para producir madera destinada a la construcción, como leña por su alto valor calorífico (5,000 Kcal/Kg) y para obtener pulpa de buena calidad (Diem y Dommergues, 1990). En la República Mexicana se le utiliza para estabilizar las zonas de médanos y al mismo tiempo como barrera rompe vientos para proteger a las poblaciones costeras del Golfo de México contra la lluvia de arena y sales provocada por los vientos del norte. También se usa como barrera de protección para los cultivos de interés agrícola según sea la región; como árbol ornamental y en los programas de reforestación rural y urbana (Valdés y Cayetano, 1998).

Desde el punto de vista económico, *Casuarina* es la planta actinorrízica más importante en las zonas tropicales y subtropicales. Esto se debe a los usos potenciales que tiene el árbol. El interés en el estudio de la casuarina se ha incrementado en los últimos años, principalmente, en los países en vías de desarrollo ubicados en las zonas cálidas húmedas y subhúmedas, ya que estos árboles ofrecen una alternativa para resolver, cuando menos en forma parcial, algunos de los problemas más apremiantes de los que no está exento nuestro país, tales como la pérdida de áreas verdes y la erosión de los suelos.

El éxito en el establecimiento y desarrollo del árbol depende en buena medida de la formación de nódulos fijadores de nitrógeno activos, sobre todo cuando se trata de suelos marginales y de baja fertilidad. Sin embargo, se carece de información sobre el estatus simbiótico a nivel de campo y de vivero, donde la práctica de la inoculación es desconocida.

Dado que *Casuarina* es una planta introducida, para conocer su estatus simbiótico *in situ*, es necesario llevar a cabo un estudio de campo. El propósito de este trabajo fue determinar la frecuencia de nodulación de la especie en un área que abarcara una buena parte de la zona donde originalmente fue introducida, la cual comprende diferentes ecosistemas; así como las máximas altitudes donde se ha observado su adaptación. Además de analizar las condiciones ambientales que puedan afectar el fenómeno como son: altitud, hábitat, textura, clase de roca madre y tipo de unidad de suelo.

El área de estudio comprendió una superficie de aproximadamente 117,000 km² que incluye el Distrito Federal y ocho estados (Estado de México, Hidalgo, Querétaro, Puebla, Tlaxcala, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz); presenta una altitud que va desde 0 hasta 2,500 m. El área se ubica entre las coordenadas 22° 30' latitud norte y 18° 50' latitud sur, 95° 50' longitud oeste (Figura 1). La zona se eligió con base en que la introducción de *Casuarina* se hizo a través de la región del Golfo de México, lugar donde se llevaron a cabo plantaciones, extendiéndose posteriormente hacia el altiplano. En ella hay una gran variedad de ecosistemas, desde médanos hasta bosques de pino-encino, matorrales y zonas muy áridas y erosionadas. El trabajo de campo se realizó durante cinco diferentes recorridos, muestreando 106 sitios con presencia de poblaciones de casuarina.

En todos los recorridos se buscaron poblaciones de las especies de interés. Una vez localizados los árboles, se eligieron al azar algunos ejemplares (de 3 a 5) para estudiar su sistema radical superficial, en busca de nódulos. La exploración se realizó desde la superficie hasta una profundidad de aproximadamente 30 cm. Se hicieron registros de altitud, textura del suelo, roca madre, vegetación acompañante y presencia de otras plantas actinorrízicas.

La textura del suelo fue determinada *in situ* al tacto y corroborada a través del método del hidrómetro de Boujouscous. La identificación de la roca madre se

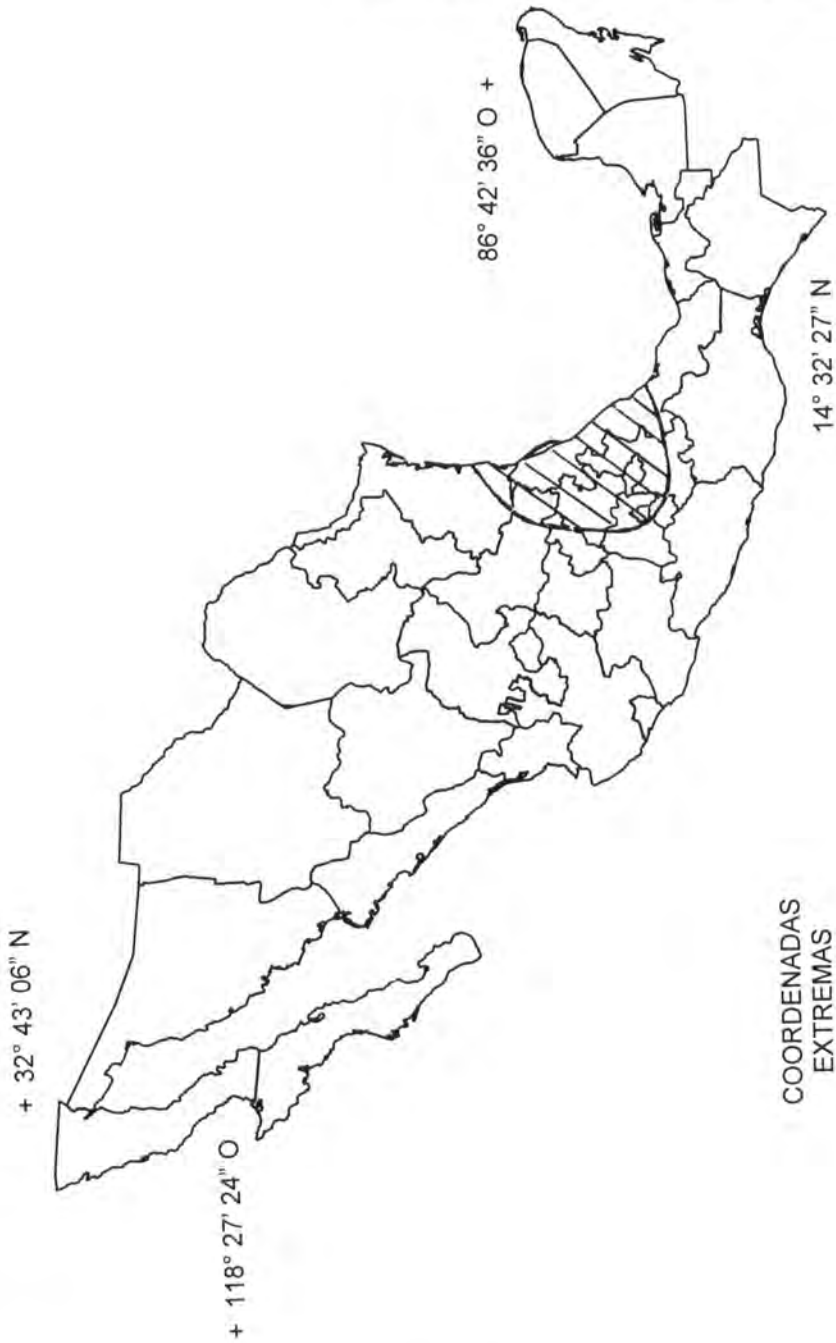


Figura 1. Área de estudio. Los ciento seis sitios explorados se ubican en el área sombreada y abarcan una superficie de aproximadamente 117,000 km²

efectuó a partir de los mapas geológicos oficiales del territorio mexicano generados por la Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP, 1981); por otra parte, la vegetación de cada localidad se identificó de acuerdo con Rzedowski (1975).

Los árboles de casuarina se localizaron donde hay actividad humana, es decir, en zonas en las que se ha perdido la vegetación original y se ha reforestado, en dunas costeras, como protección en terrenos de diferentes cultivos, cortinas rompevientos y como árbol ornamental en parques y jardines. *C. equisetifolia* se presenta tanto en el altiplano, como en la zona costera; en cambio *C. cunninghamiana* se desarrolla, principalmente, en las zonas costeras y en forma ocasional conviven ambas especies.

Del número total de sitios explorados con presencia del árbol en estudio, sólo en 35 se encontraron plantas noduladas. Estos resultados aunque bajos son semejantes a los citados por Lawrie (1982) en Australia y contrastantes con los obtenidos por Frioni *et al.* (1991) en Uruguay, donde el árbol también es introducido, quienes identificaron más del 60% de los ejemplares nodulados en tres especies de las cuatro estudiadas.

C. equisetifolia fue la especie más abundante, localizándose desde el nivel del mar hasta los 2,500 m; se observó en alrededor del 81% de los sitios explorados, mientras que *C. cunninghamiana* sólo en 25% y en altitudes bajas. De las zonas con *C. equisetifolia* explorados, 25% presentaron nódulos, en tanto que el 65% de los lugares con *C. cunninghamiana* tuvieron individuos nodulados.

C. cunninghamiana y *C. equisetifolia* conviven en cinco sitios cercanos a la costa, de los cuales en uno de ellos, ambas especies estaban noduladas; en otro sólo *C. cunninghamiana*, y en uno más, ninguna de las dos mostraron nódulos radicales; este hecho sugiere cierta especificidad hacia el endosimbionte (Torrey y Racette, 1989). Por otro lado, *C. equisetifolia* se observó en un sitio ubicado en la ladera este de la Sierra Madre Oriental conviviendo con el árbol actinorrízico nativo, *Alnus acuminata* spp *glabrata* (Fern.) Furlow Webster y Lynch, sin que ninguno de los dos árboles estuviera nodulado.

La Figura 2 muestra la distribución altitudinal en los sitios con poblaciones de las dos especies de casuarina. Es evidente que este género es abundante entre los 0 y los 500 m y escaso en las otras altitudes, lo cual sugiere una serie de explicaciones posibles, a saber:

- a) *Casuarina* ha prosperado mejor en las partes bajas del país, lo que refuerza su hábito normal de crecimiento.
- b) Entre la altiplanicie del Distrito Federal y la costa del Golfo de México hay muchos ecosistemas en donde el árbol no se ha establecido.
- c) La abundancia del árbol en estudio en la costa del Golfo de México, confirma que fue introducido y propagado con propósitos específicos en esta zona.

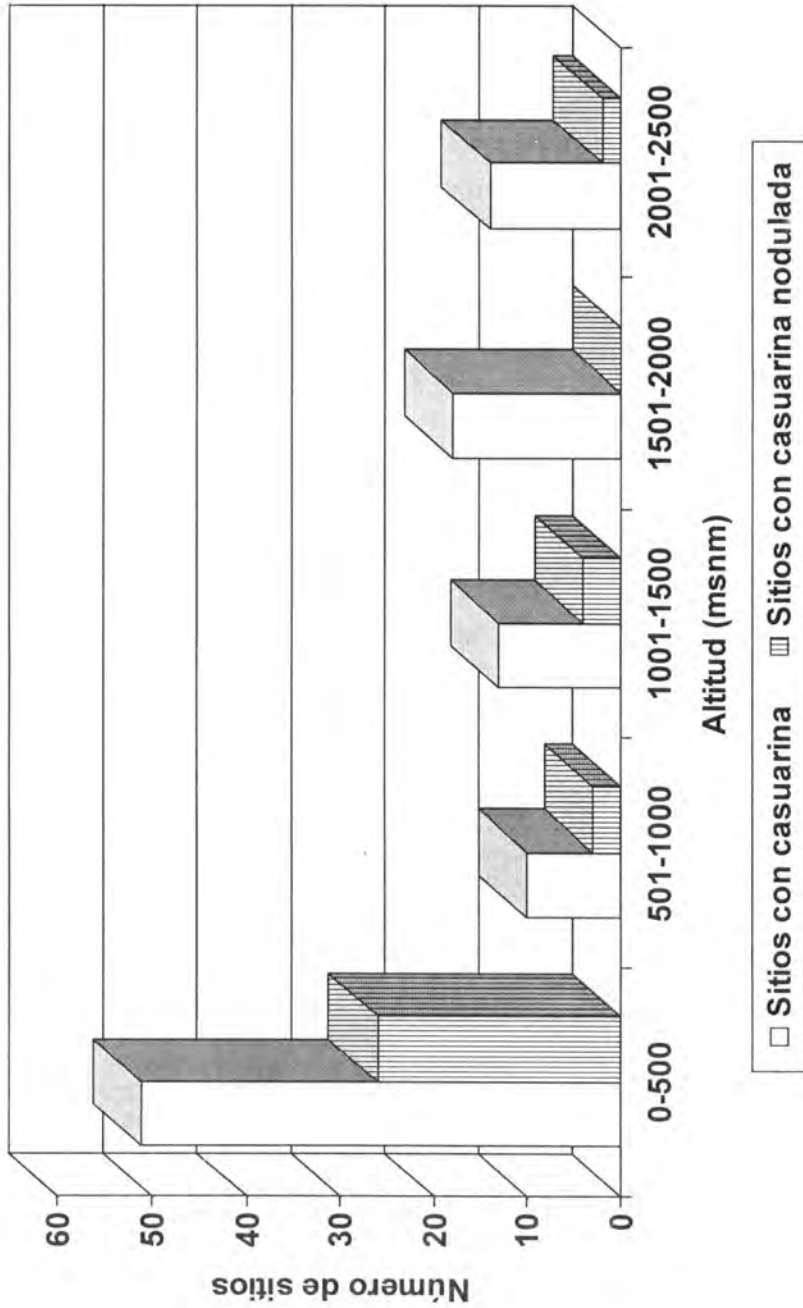


Figura 2. Relación entre la altitud y la frecuencia del árbol *Casuarina* en el área de estudio.

De 35 sitios con árboles de *Casuarina* con nódulos radicales, 26 se ubican entre los 0 y los 500 m. En dicho intervalo altitudinal se presenta 74% del total de lugares con casuarina portadora de nódulos fijadores de nitrógeno; así como las plantas con nodulación abundante.

La mayor frecuencia de poblaciones de *Casuarina* con individuos nodulados se localizó en la costa; justo donde fue introducida originalmente. Lo que sugeriría que las primeras plantas o semillas llegaron con su endosimbionte microbiano a localidades con las condiciones ambientales adecuadas para que él mismo se propagara de manera abundante y formara simbiosis con las plantas en producción; aunque las esporas del microorganismo pueden ser transportadas por diferentes medios, habiéndose encontrado en suelos sin plantas actinorrízicas, en nidos de aves, etc. (Pashke y Dawson, 1992; Burleigh y Dawson, 1994).

En las plantas localizadas a mayor altitud, la existencia de nódulos fue menor, debido posiblemente a que fueron producidas en viveros, donde la nodulación, y en ellos, de acuerdo con nuestras observaciones la presencia de *Frankia* es pobre o está ausente, lo que refleja el problema de que en México no se practique la inoculación. En muchas ocasiones se ha revisado el sistema radical de las plantas procedentes de diferentes viveros y carecen de nódulos. Por lo tanto, tal parece que la distribución de este árbol ha sido más eficiente que la dispersión de su actinomiceto.

En altitudes comprendidas desde 500 hasta 2,500 m, donde casi no se ha establecido la casuarina, se presenta la mayor diversidad de plantas actinorrízicas nativas noduladas, entre las que predominan las de hábitat templado. En el área de estudio destacan: *Alnus acuminata* spp. glabrata, *Alnus jorullensis* spp. jorullensis HBK., *Myrica cerifera* L., *Ceanothus coeruleus* Lag. y *Adolphia infesta* (Kunth) Meisn.

Se localizaron siete tipos diferentes de lechos rocosos: tobas cineríticas y riolíticas, andesita, caliza, aluviones, basalto y margas. Los ejemplares nodulados de ambas especies de *Casuarina* estuvieron distribuidos en suelos con diferentes lechos rocosos. Por lo que no se puede concluir si la planta es capaz de desarrollarse en suelos con cualquier tipo de lecho rocoso o si alguno en particular le otorgue más ventajas de supervivencia que otros.

Con base en el sistema FAO se determinaron diferentes unidades de suelo, entre las más comunes sobresalen: feosem, vertisol y luvisoles. Además, se identificaron unidades de suelo producto de la mezcla de material procedente de diferentes orígenes (por ejemplo el cascajo) a los cuales se les denominó artificiales, ya que su formación está mediada por las prácticas culturales del hombre. En todos estos suelos hubieron plantaciones de casuarina. De los 23 sitios explorados con suelos artificiales, sólo en cinco se observaron ejemplares nodulados. Estos resultados muestran el gran potencial de adaptación que

tiene la casuarina para desarrollarse en suelos de baja fertilidad y erosionados, aún en ausencia de su microsimbionte diazótrofo.

Los suelos de los diferentes sitios muestreados presentaron texturas muy variadas que van de la arcillosa, franco arcillosa, franco arenosa hasta la arenosa. Las casuarinas noduladas se localizaron tanto en suelo con estructura arcillosa, como arenosa, sin que se evidenciara una relación entre el tipo de textura del suelo y la nodulación del árbol.

C. equisetifolia se distribuye desde el altiplano hasta la costa del Golfo de México; mientras que *C. cunninghamiana* se ubica, principalmente, en la zona costera, donde hay presencia de ambas especies en 51 sitios de un total de 106. Los sitios donde hubo una mayor proporción (74%) de ejemplares nodulados de casuarina se ubican entre los 0 y los 500 msnm.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, el tipo de lecho rocoso y la textura no son factores que influyan en la nodulación de *Casuarina*. Sólo la altitud parece afectar la frecuencia de los árboles y la presencia de nódulos fijadores de nitrógeno en sus raíces.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado con los apoyos financieros de la Dirección de Posgrado e Investigación del Instituto Politécnico Nacional (DEPI 93630) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT 1370-N9606), otorgados a la Dra. María Valdés Ramírez. Los autores agradecen al M.C. Andrés Muñoz García por su apoyo en el trabajo de campo y al M.C. Néstor Octavio Pérez por su valiosa discusión del manuscrito.

REFERENCIAS

- Burleigh, S. H. and J. O. Dawson. 1994. Occurrence of Myrica-nodulating *Frankia* in Hawaiian volcanic soils. *Plant and Soil* 164: 283-289.
- Chacalo H., A. y N. R. Fernández. 1995. Los árboles nativos e introducidos utilizados en la reforestación de la Ciudad de México. *Ciencia* 46: 383-393.
- Cruz-Cisneros R. and M. Valdés. 1990. Ecological aspects of the actinorhizal plants growing in the basin of Mexico. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 8: 42-47.
- Diem, H.G. and Y. Dommergues. 1990. Current and potential uses and management of Casuarinaceae in the tropics and subtropics. *In*: Tjepkema, D. J. and Schwintzer, C. (Eds). *The biology of Frankia and actinorhizal plants*. Academic Press, N.Y. pp. 317-342.

- Dommergues, Y. 1990. *Casuarina equisetifolia*: An old-timer with a new future. Nitrogen Fixing Tree Highlights. NFTA 90-02. pp. 1-2.
- Frioni, L., A. Spinelli y A. Maggi. 1991. Nodulación y fijación de nitrógeno en especies de *Casuarina* y *Allocasuarina* cultivadas en el país. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Boletín de Investigación No. 30, 20 p.
- Lawrie, A.C. 1982. Field nodulation of nine species of *Casuarina* in Victoria. Aust. J. Bot., 30: 447-460.
- Nee, M. 1983. Casuarinaceae. In: Flora de Veracruz. INIREB, Xalapa. Fascículo 27. 6 p.
- Pashke, M.W. and J.O. Dawson. 1992. The occurrence of *Frankia* in tropical forest soils of Costa Rica. Plant and Soil 142: 63-67.
- Rzedowski, J. 1975. Flora y vegetación de la cuenca del Valle de México. In: Memorias de la obra de drenaje profundo del Distrito Federal. Vol. I. Departamento del Distrito Federal. México, D.F. pp. 79-134.
- Silvester, W.B. 1977. Dinitrogen fixation by plant association excluding legumes. In: Hardy R.W. F. and A. H. Gibson. (Eds.). A treatise of dinitrogen fixation. Section IV. Agronomy and Ecology. pp. 141-153.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. 1981. Atlas del medio físico. Dirección de Geografía del Territorio Nacional. 223 p.
- Torrey, J.G. and S. Racette. 1989. Specificity among the Casuarinaceae in root nodulation by *Frankia*. Plant and Soil 118: 157-164.
- Valdés, M. and A. Cayetano-Rodrigo. 1998. L'Utilisation du Filao (*Casuarina equisetifolia*) au Mexique. Le Flamboyant 47: 31-33.