

MEJORAMIENTO GENÉTICO Y SEMILLAS FORESTALES

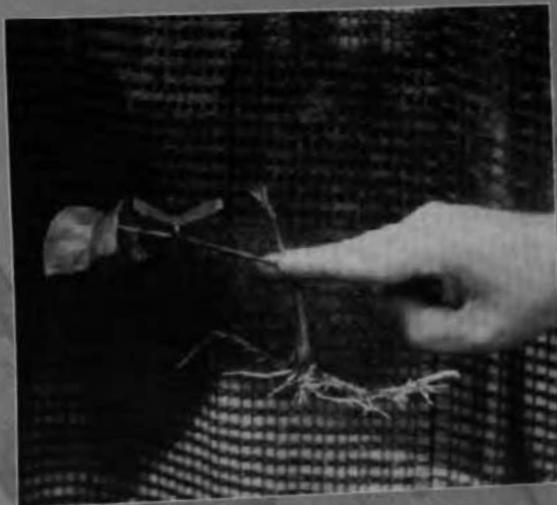
Revista Forestal Centroamericana N° 28

Propagación vegetativa *mediante enraizamiento de estacas juveniles*

*La factibilidad de propagar la especie cristóbal (*Platymiscium pinnatum*) mediante el uso de estacas juveniles es alta, siempre que se controle una serie de factores externos e internos que influyen en el éxito del enraizamiento.*

Yolanda Núñez, Francisco Mesén

El enraizamiento de estacas juveniles de cristóbal (*Platymiscium pinnatum*) es afectado por medio de diferentes dosis de ácido indol-3-butírico (AIB), medios de enraizamiento, niveles de radiación solar y áreas foliares, en dos experimentos utilizando propagadores de sub-irrigación. En el experimento 1, las dosis de 0,4% y 0,2% fueron las más efectivas en arena y grava, respectivamente, con porcentajes de enraizamiento superiores al 80%. Los incrementos en las dosis de AIB causaron un aumento significativo en el número de raíces por estaca. En el experimento 2, se obtuvieron porcentajes de enraizamiento superiores al 86% bajo irradiaciones de $156 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ (una capa de sarán) u $81 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ (dos capas de sarán). La mayor producción de raíces por estaca (9,6) fue registrado con una ca-



Estaca enraizada de *Platymiscium pinnatum*; nótese el inicio de crecimiento del rebrote.

pa de sarán. El mayor porcentaje de enraizamiento fue obtenido con el área foliar de 60 cm². La combinación de una capa de sarán y un área foliar de 60 cm² resultó en porcentajes de enraizamientos superiores al 95%. Estos resultados indican la factibilidad de propagar esta especie mediante el uso de estacas juveniles, siempre que se controle una serie de factores externos e internos que influyen en el éxito del enraizamiento.

Especie

El cristóbal o cachimbo (*Platymiscium pinnatum* (Jacq. Dugand), Papilionaceae), es un árbol de tamaño grande, que se localiza naturalmente desde el sur de México hasta Venezuela. En Costa Rica se encuentra en la costa pacífica, en elevaciones bajas, con climas húmedos y muy húmedos (Carpio 1992). La recolecta de semillas a gran escala se ha visto reducida a causa de la baja cantidad de árboles remanentes (Organización de Estudios Tropicales 1992). La propagación vegetativa permite aumentos en la ganancia genética, mayor uniformidad de los árboles y de los productos obtenidos, así como la conservación de germoplasma valioso amenazado.

El desarrollo de raíces adventicias a partir de estacas juveniles es afectado por una serie de factores internos, tales como el contenido interno de agua, de carbohidratos y nutrientes así como el nivel de reguladores de crecimiento. Estos se ven afectados a su vez por factores ambientales durante el proceso de propagación, como la intensidad de luz y el tipo de sustrato, entre otros (Dick y Dewar 1992).

Considerando la importancia de esta especie y el hecho de que no existían informes previos sobre el uso de estacas enraizadas, se realizó la presente investigación en la cual se evaluaron los efectos de diferentes sustratos, dosis de ácido indolbutírico, niveles de radiación solar y áreas foliares, sobre el enraizamiento de estacas juveniles, utilizando propagadores de sub-irrigación como los descritos por Leakey *et al* (1990), Mesén *et al* (1992) y Mesén (1998).

Metodología

Las pruebas de enraizamiento fueron realizadas en el vivero del Centro Agronómico Tropical de

Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, Costa Rica, localizado a una altitud de 602 msnm, con una precipitación media anual de 2607 mm, una humedad relativa promedio de 87,8% y una temperatura media anual de 21,7 ° C¹.

Las estacas juveniles utilizadas se obtuvieron de rebrotes plantas derivadas de semilla, establecidas en jardines de multiplicación en el Vivero Forestal del CATIE. Las estacas se colectaron en horas de la mañana, seleccionando los rebrotes más vigorosos. Inmediatamente después de la corta, las estacas fueron colocadas bajo sombra en un recipiente con agua, para evitar el estrés fisiológico que podrían sufrir en el período desde la corta hasta su establecimiento en el propagador. En ambos experimentos, las condiciones ambientales de la cámara de propagación fueron registradas mediante un microprocesador 21X (Campbell Scientific Ltd., Loughborough, UK). Se evaluó semanalmente el número de estacas enraizadas, el número de raíces por estaca y el porcentaje de mortalidad.

El *experimento 1*, tuvo una duración de nueve semanas y se utilizaron 310 estacas, provenientes de rebrotes de ocho meses de edad. El entrenudo superior de cada rebrote fue descartado, utilizando únicamente las estaquitas de los cuatro nudos foliares siguientes. Se utilizaron estaquitas de 5 cm de longitud, haciendo un corte transversal arriba de cada nudo foliar. Cada una de las estacas presentó una única hoja, la cual fue podada para dejar un área de 30 cm².

Se probó el efecto de seis diferentes dosis de ácido indol-3-butírico (AIB) (0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 y 1,6%) y tres tipos de sustratos (arena, aserrín y grava fina) sobre la capacidad de enraizamiento de las estacas. Las soluciones de AIB fueron preparadas disolviendo una cantidad específica de auxina en metanol con el fin de obtener la concentración deseada. El AIB disuelto en metanol se aplicó a la base de cada estaca en 10 µl de solución, utilizando una microjeringa, provocando la evaporación inmediata del alcohol a través de una corriente de aire generada por un ventilador común.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo en parcelas divididas, cinco repeticiones y unidades experimentales de

cuatro estacas. La parcela grande correspondió a los diferentes sustratos y las subparcelas a las diferentes dosis de AIB.

Para disminuir la temperatura y la radiación solar en las cámaras propagadoras, el área de propagación se protegió con una malla negra (sarán) colocada a dos metros sobre el suelo, con lo cual se obtuvo una radiación solar promedio de $42,7 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Los datos de porcentaje de mortalidad fueron transformados a logaritmo natural. El *experimento 2*, fue establecido una vez concluido el primero, utilizando el mejor sustrato (arena) y la mejor dosis de AIB (0,4%), resultantes del experimento 1. En este caso se evaluaron los efectos de tres diferentes niveles promedio de irradiación solar ($301, 153$ y $81 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) y tres áreas foliares ($15, 30$ y 60 cm^2) sobre el enraizamiento de estacas derivadas de rebrotes de 2 meses de edad. Los tres diferentes niveles de irradiación fueron obtenidos mediante exposición plena, o el uso de una o dos capas de sarán, respectivamente.

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas con cinco repeticiones y seis estacas por unidad experimental, para un total de 290 estacas. La parcela grande correspondió al nivel de luz y las subparcelas a las diferentes áreas foliares.

Para el análisis de datos se realizaron análisis de varianza, utilizando pruebas de contrastes ortogonales, tanto para los efectos simples como para la interacción entre estos. Para el factor sustrato y área foliar se realizaron pruebas de rango múltiple de Tukey. Cuando el análisis de varianza detectó significancia en los factores dosis o área foliar, para algunas de las variables evaluadas, se realizó un modelo de regresión del polinomio de mejor ajuste. Para el promedio de enraizamiento y mortalidad, los datos se transformaron a arcoseno y logaritmo natural, respectivamente.

Resultados

Experimento 1: Efectos de los sustratos y dosis de AIB El registro de las condiciones ambientales promedio en las cámaras de propagación indicó una humedad relativa de 97,9% con rangos de 92-100%, una temperatura aérea de $22,0 \text{ }^\circ\text{C}$,

una temperatura del sustrato de $24,4 \text{ }^\circ\text{C}$ y una radiación solar entre $5,6$ y $208,6 \mu\text{molm}^{-2}\text{seg}^{-1}$.

Nueve semanas después del establecimiento, los análisis de varianza detectaron diferencias significativas entre sustratos en cuanto al porcentaje de estacas enraizadas y el número de raíces por estacas. Esta diferencia se debió mayormente al menor porcentaje de enraizamiento y menor número de raíces obtenido en aserrín en comparación con los obtenidos en arena y grava (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de enraizamiento, número de raíces por estaca y porcentaje de mortalidad en estacas juveniles de *P. pinnatum* en diferentes sustratos, para la novena semana de evaluación.

Sustrato	Enraizamiento (%)	Nº raíces/estaca	Mortalidad (%)
Aserrín	34,0a*	2,6a*	40,3a*
Arena	76,7b	4,5b	21,1b
Grava	71,4b	5,2b	17,4b

*Tratamientos seguidos por diferente letra indican diferencias significativas al 5%.

No hubo diferencias significativas entre dosis de AIB en cuanto al porcentaje de enraizamiento, aunque los mayores porcentajes se presentaron con las dosis de 0,2% en grava (70%) y 0,4% en arena (63%) (Fig. 1). En cuanto al número de raíces por estaca, hubo una relación positiva y directamente proporcional entre esta variable y la dosis de AIB ($p < 0,05$, $R^2 = 0,90$; Fig. 2). A pesar de no existir diferencias significativas entre dosis sobre el porcentaje de mortalidad ($p > 0,05$), los mayores porcentajes (35% y 27%) fueron obtenidos con las dosis de 0,8% y 1,6%, respectivamente.

Experimento 2: Efectos de los niveles de luz y áreas foliares Las condiciones ambientales promedio en las cámaras de propagación fueron exposición plena, una capa de sarán y dos capas de sarán. (Cuadro 2)

Seis semanas después del establecimiento de las estacas, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,01$) entre niveles de radiación solar en cuanto a porcentaje de enraizamiento, de mortalidad y número de raíces por estaca. Los mayores porcentajes de enraizamiento se obtuvieron bajo una capa de sarán (92,1%) o dos capas (87,7%), significativamente mayores al obtenido

bajo plena exposición (61,0%). En cuanto al número de raíces, el mayor número se obtuvo bajo una capa de sarán (9,6), significativamente superior al obtenido bajo dos capas (6,4) o bajo plena exposición (6,8). El porcentaje de mortalidad bajo luz directa (31%) fue significativamente superior a los obtenidos bajo una capa y dos capas de sarán (Cuadro 3).

Cuadro 2. Detalle de las condiciones ambientales promedio registradas en las distintas cámaras de propagación.

Tratamiento	Radiación solar ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{seg}^{-1}$)	Temperatura foliar ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura del sustrato ($^{\circ}\text{C}$)
Exposición plena	301	27,0	30,6
Una capa de sarán	153	22,5	30,0
Dos capas de sarán	81	21,9	23,8

Cuadro 3. Porcentaje de enraizamiento, número de raíces por estaca y porcentaje de mortalidad en estacas juveniles de *P. pinnatum* bajo diferentes niveles de luz, para la sexta semana de evaluación.

Tratamiento	Enraizamiento (%)	Nº raíces/ estaca	Mortalidad (%)
Luz directa	61,0a*	6,8b	31,0a
Una capa sarán	92,1b	9,6a	6,7b
Dos capas sarán	87,7b	6,4b	4,5b

*Tratamientos seguidos por diferente letra indican diferencias significativas al 5%.

La interacción entre el nivel de luz y el área foliar no fue significativa para ninguna de las variables evaluadas; sin embargo, se presentaron algunas tendencias: el menor porcentaje de enraizamiento (50%) se presentó bajo luz directa y con área foliar de 15cm², mientras que las estacas bajo una y dos capas de sarán, presentaron porcentajes entre 80% y 97%, obteniéndose los mayores valores con las dos áreas foliares mayores (Fig 3).

Discusión

Los mayores valores de enraizamiento y producción de raíces, así como la baja mortalidad obtenidos en arena y grava posiblemente se deban al mejor balance entre aireación y humedad de estos dos sustratos en comparación con el aserrín. Mientras que la arena y la grava presentan contenidos de agua menores al 18% (p/v), el

del aserrín (54% p/v) fue posiblemente demasiado alto para los requerimientos de la especie. El exceso de agua alrededor de la base de la estaca funciona como una barrera para la difusión del oxígeno, causando en el peor de los casos, anoxia y muerte de los tejidos (Loach 1986). A su vez, una reducción en la concentración de oxígeno en el medio provoca el cierre de los estomas (Sojka y Stolzy 1980, Erstad y Gislerod 1994) lo cual reduce el enraizamiento al reducir a su vez la absorción de CO₂ requerido para el proceso fotosintético.

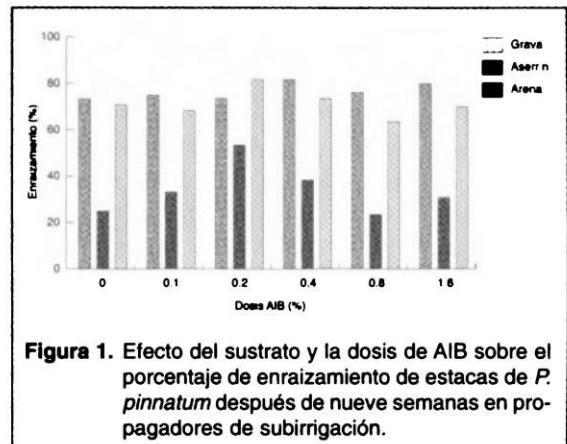


Figura 1. Efecto del sustrato y la dosis de AIB sobre el porcentaje de enraizamiento de estacas de *P. pinnatum* después de nueve semanas en propagadores de subirrigación.

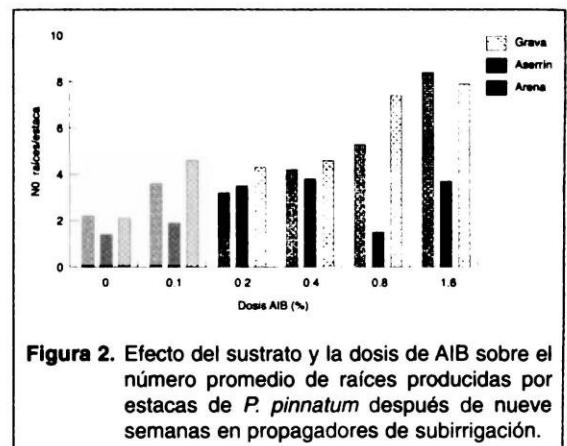


Figura 2. Efecto del sustrato y la dosis de AIB sobre el número promedio de raíces producidas por estacas de *P. pinnatum* después de nueve semanas en propagadores de subirrigación.

El efecto beneficioso de la aplicación de auxinas sobre el desarrollo de raíces adventicias ha sido ampliamente documentado. En esta especie, si embargo, la ausencia de diferencias significativas en cuanto a porcentaje de enraizamiento en-

tre el testigo y los tratamientos con AIB parece indicar que los contenidos endógenos de auxina fueron suficientes para promover la iniciación de raíces adventicias, como ha sido encontrado en algunas otras especies, por ejemplo, *Vochysia guatemalensis* (Mesén y Trejos 1997). Por otro lado, el aumento en el número de raíces conforme aumentó la dosis de AIB sí se ajustó a la tendencia típica mostrada por una gran cantidad de especies forestales (Mesén 1998; Mesén *et al* 1997). Esta tendencia parece estar relacionada con la función del AIB de promover la movilización de carbohidratos hacia la base de las estacas, donde puede entonces estimular el desarrollo de un mayor número de raíces (Haissig 1986).

Los mayores porcentajes de enraizamiento obtenidos bajo una y dos capas de sarán indican la importancia de regular la sombra a la hora de propagar. Según Hansen *et al* (1978), la radiación solar adecuada tiende a influir en la producción de asimilados, en el metabolismo y la translocación de las auxinas y afecta el balance entre auxinas y carbohidratos, importante para el enraizamiento. A su vez, es posible que los niveles de luz obtenidos al utilizar sarán favorecieron el proceso fotosintético sin causar una pérdida excesiva de agua por transpiración, como posiblemente ocurrió en las estacas expuestas a la luz directa. Bajo irradiaciones excesivas también puede ocurrir una disminución en el contenido de cofactores e incrementos en los inhibidores del enraizamiento (Eliasson y Brunes 1980), así como una reducción en el potencial osmótico, producto de una alta acumulación de solutos asociada con la pérdida de agua (Grange y Loach 1985). El mayor número de raíces por estaca se presentó bajo una capa de sarán, indicando una mejor utilización de los carbohidratos producidos y almacenados bajo este nivel de radiación solar.

La función principal atribuida a las hojas en el proceso de enraizamiento ha sido la producción de carbohidratos vía fotosíntesis (Aminah *et al* 1997). Sin embargo, Hartmann y Kester (1990) consideran que la principal función de la hoja es la de proveer cofactores foliares y auxinas necesarios para el enraizamiento. Posiblemente am-

bas hipótesis sean ciertas bajo diferentes circunstancias, dependiendo de la especie, de las características fisiológicas y anatómicas del material a propagar y del ambiente de propagación. Ante ciertas situaciones, por ejemplo en estacas con bajo contenido de reservas, la función fotosintética puede ser la más importante, mientras que en ausencia de aplicaciones externas de auxina, la producción endógena de tales compuestos puede ser el factor esencial. Aunque la presencia de hojas en las estacas constituye un fuerte estímulo para el inicio de las raíces, la pérdida de agua por los procesos de transpiración

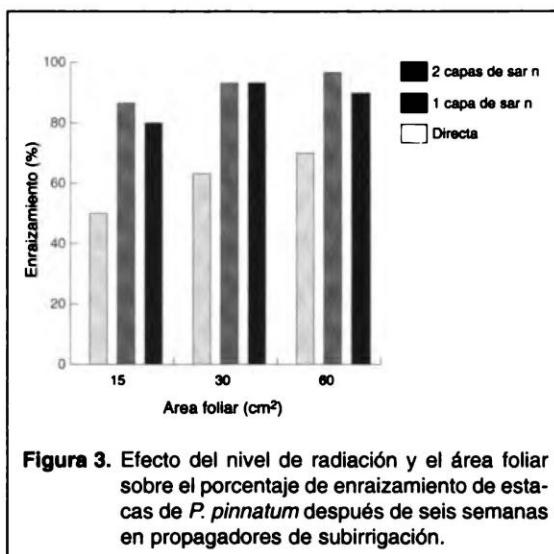


Figura 3. Efecto del nivel de radiación y el área foliar sobre el porcentaje de enraizamiento de estacas de *P. pinnatum* después de seis semanas en propagadores de subirrigación.

puede causar una reducción en el contenido de agua en las estacas a un nivel tal que ocasione la muerte antes de que ocurra el enraizamiento (Hartmann y Kester 1990, Loach 1988). Por lo tanto, la tendencia es buscar una área foliar óptima en las estacas que permita el mejor balance entre los efectos benéficos de la fotosíntesis y los efectos nocivos de la transpiración (Ofori *et al* 1996).

Se observó una leve tendencia a aumentar el porcentaje de estacas enraizadas al incrementarse el área foliar, indicando posiblemente la importancia de la fotosíntesis actual, esta es, la que ocurre durante el proceso de enraizamiento, en el proceso de propagación de esta especie.

Se puede concluir que *Platymiscim pinnatum*

enraiza fácilmente mediante el uso de estacas juveniles de 5 cm de longitud, con áreas foliares de 15 a 60 cm², establecidas en arena o grava en propagadores de subirrigación y reduciendo la radiación solar durante el proceso mediante dos, o preferiblemente, una capa de sarán. No es imprescindible la aplicación de auxina, aunque dosis de 0,2-0,4% de AIB causaron un ligero aumento en el porcentaje de enraizamiento a la

vez que mejoraron el sistema radical producido por las estacas. Las dosis más altas probadas (0,8 y 1,6%) causaron una leve reducción en el porcentaje de enraizamiento, indicando posiblemente el inicio de la aparición de efectos de toxicidad. Bajo las condiciones indicadas, es posible alcanzar porcentajes de enraizamiento superiores al 95% al término de seis semanas.

Referencias

- Aminah, H; Dick, J McP; Grace J. 1997. Rooting of *Shorea leprosula* stem cuttings decreases with increasing leaf area. *Forest Ecology and Management* 91:247-254.
- Carpio Malavassi, I.M. 1995. Maderas de Costa Rica: 150 especies forestales. San José, Costa Rica, Editorial Universidad de Costa Rica. 338 p.
- Dick, J McP; Dewar R. 1992. A mechanistic model of carbohydrate dynamics during adventitious root development in leafy cuttings. *Annals of Botany* 70:371-377.
- Eliasson, L; Brunes, L. 1980. Light effects on root formation in aspen and willow cuttings. *Physiologia Plantarum* 48:261-265.
- Ersdad, JL; Gislerod HR. 1994. Water uptake of cuttings and stem pieces as affected by different anaerobic conditions in the rooting medium. *Scientia Horticulturae* 58:151-160.
- Grange, IR; Loach, K. 1985. The effect of light on the rooting of leafy cuttings. *Scientia Horticulturae* 27:105-111.
- Haissig, BE. 1986. Metabolic processes in adventitious rooting of cuttings. In Jackson, M.B. ed. *New root formation in plants and cuttings*. Netherlands, Martinus Nijhoff Publishers. p. 141-180.
- Hansen, J; Stromquist, LH; Ericsson, A. 1978. Influence of the irradiance on carbohydrate content and rooting of cuttings of pine seedlings (*Pinus sylvestris* L.). *Plant Physiology* 61:975-979.
- Hartmann, HT; Kester, DE. 1990. *Propagación de plantas: principios y prácticas*. México, Continental. p. 255-266.
- Leakey, RRB; Mesén, F; Tchoundjeu, Z; Longman, KA; Dick, JMcP; Newton, A; Matin A, Grace, J; Munro, RC; Mutoka, PN. 1990. Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review* 69(3):247-257.
- Loach, K. 1986. Rooting of cuttings in relation to the propagation medium. *Combined Proceedings-The International Plant Propagators' Society*, 35: 473-485.
- Loach, K. 1988. Water relations and adventitious rooting. In Davis, DT; Haissig, BE; Sankhla, N, eds *Adventitious root formation in cuttings*. Oregon, Dioscorides Press. p. 102-116.
- Mesén, F; Leakey, RRB; Newton, AC. 1992. Hacia el desarrollo de técnica de silvicultura clonal para el pequeño finquero. *El Chasqui* 28:6-18.
- Mesén, F; Newton, AC; Leakey, RRB. 1997. Vegetative propagation of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken: the effects of IBA concentration, propagation medium and cutting origin. *Forest Ecology and Management* 92:45-54.
- Mesén, F; Trejos, E. 1997. Propagación vegetativa de San Juan (*Vochysia guatemalensis* Donn. Smith) mediante enraizamiento de estacas juveniles. *Revista Forestal Centroamericana* 21:19-24.
- Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 30 p. (Serie Técnica. Manual Técnico, No. 30).

- Ofori, DA; Newton, AC; Leakey, RRB; Grace, J. 1996. Vegetative propagation of *Milicia excelsa* by leaf stem cuttings: effects of auxin concentration, leaf area and rooting medium. *Forest Ecology and Management* 84:39-48.
- Organización para Estudios Tropicales. 1992. *Especies nativas y exóticas para la reforestación en la zona sur de Costa Rica*. San José, C.R., EUNED. 84 p.
- Sojka, R; Stolzy, LH. 1980. Soil-oxygen effects on stomatal response. *Soil Science* 130(6):350-358.

