

EFECTO DE LA GESTIÓN FORESTAL EN LA CANTIDAD DE CARBONO DEL SUELO EN UNA MASA DE *PINUS PINASTER* AIT.

Ricardo Ruiz-Peinado ^{1,3}, Andrés Bravo-Oviedo ^{1,3}, Eduardo López Senespleda ^{2,3}, Raquel Onrubia Fernández ¹, Álvaro Rubio Cuadrado ¹, Salvador Sastre López ², Miren del Río Gaztelurrutia ^{1,3} y Gregorio Montero González ^{1,3}

¹INIA. Centro de Investigación Forestal. Dpto. de Selvicultura y Gestión de Sistemas Forestales. Ctra. A Coruña km 7'5. 28040-MADRID (España). Correo electrónico: ruizpein@inia.es

²INIA. Centro de Investigación Forestal. Dpto. de Ecología y Genética Forestal. Ctra. A Coruña km 7'5. 28040-MADRID (España)

³Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible. Universidad de Valladolid-INIA. Ctra. A Coruña km 7'5. 28040-MADRID (España)

Resumen

El conocimiento del impacto de la gestión forestal sobre los diversos compartimentos de carbono existentes en una masa forestal es prioritario para la sostenibilidad del aprovechamiento y gestión de los sistemas forestales. Con la aplicación de tratamientos selvícolas hay una serie de transformaciones en la masa como la reducción de biomasa en pie, la modificación de la cantidad de residuos o la disminución de la incorporación de hojarasca, la alteración del microclima del suelo por mayor presencia de luz y su influencia en las condiciones de humedad y temperatura. Este cambio en las condiciones modifica el contenido de carbono en el suelo. En este trabajo se ha estudiado la influencia que tiene la gestión forestal en las cantidades de carbono y nitrógeno presentes en los 30 primeros cm del suelo mineral más la hojarasca y humus de una masa de *Pinus pinaster* Ait., a partir de la comparación entre los cantidades de carbono bajo tres intensidades de claras. A partir de los resultados obtenidos no se han encontrado diferencias significativas entre los tratamientos, tanto en la cantidad de carbono y nitrógeno almacenado en la capa orgánica como en la capa mineral del suelo, por lo cual la realización de claras fuertes no modifica sustancialmente las cantidades de carbono acumuladas.

Palabras clave: Claras, Ciclo de carbono, Pino negral, Suelo orgánico, Suelo mineral

INTRODUCCIÓN

El estudio de las cantidades de carbono (C) y nitrógeno (N) que presenta un suelo forestal tiene una gran importancia tanto en el ciclo del C como en la productividad (NAVE et al., 2010). Así, se estima que las cantidades de C (orgánico e inorgánico) que están fijadas en el suelo (2.500

Pg) triplican aproximadamente la cantidad de C en la atmósfera (LAL, 2004).

La cantidad de C que puede acumular un suelo depende tanto del desfronde que se incorpora y de la rizodeposición de la vegetación viva como de la cantidad que se libera en procesos de descomposición. Estos procesos se ven regidos por una serie de factores entre los que se

encuentran la estabilidad de los compuestos, el clima y las propiedades del suelo, condicionados a su vez por la gestión forestal (JANDL et al., 2007). De igual manera, los cambios de usos del suelo han sido documentados como una de las acciones más influyentes sobre la cantidad de C que puede almacenar un suelo forestal (POST & KWON, 2000; GUO & GIFFORD, 2002).

Por ello es necesario disponer de información sobre el efecto que tiene la gestión forestal sobre el C y N de los suelos, incluyendo diferentes grados de gestión para cuantificar de una manera clara su influencia en el corto-medio plazo. Así, en este trabajo se pretende analizar el papel de la gestión forestal en la variación de las cantidades de C y N almacenado en la capa orgánica y la capa mineral, evaluando dos intensidades de clara y un tratamiento control (sin aclarar), sobre una masa procedente de repoblación sobre terreno agrícola abandonado cuando está llegando al final del turno establecido. Estas intensidades ensayadas se pueden asimilar a la gestión forestal real que se viene aplicando en la actualidad para un gran número de hectáreas de pino negral y en ambientes similares a los estudiados (repoblaciones sobre terrenos agrícolas y edades de masa entre la mitad y el final de turno).

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se ha llevado a cabo en uno de los Sitios de Ensayo de Gestión Forestal Sostenible (SEGeForS) que tiene establecidos el CIFOR-INIA, en la provincia de Ciudad Real, cerca de la población de Fuencaliente (MONTERO et al., 2004). La vegetación actual es procedente de una repoblación de *Pinus pinaster* Ait. realizada por siembra en 1951 sobre terrenos agrícolas marginales. No existe estrato arbustivo, solamente algún pie aislado de *Arbutus unedo*, ni

estrato herbáceo por la escasa iluminación que recibe el suelo al existir una cubierta completa de copas. Las pendientes no son fuertes, situándose entre el 10-15 %.

El tipo de suelo es un cambisol distríco, sobre litologías de cuarcitas y arcillas; siguiendo la clasificación de FAO se trata de un luvisol háplico (MONTERO et al., 1999).

Sobre la masa se realizó una primera clara en 1968 y posteriormente, en el año 1984, se estableció el ensayo. El diseño es de bloques completos aleatorizados, estableciéndose tres tratamientos con tres bloques, con parcelas de 1.000 m², sobre las que se han aplicado diferentes intensidades de clara: Tratamiento A o testigo, donde no se ha realizado ninguna clara y donde la densidad ha disminuido por causas naturales; tratamiento D donde se han realizado tres claras por lo bajo de intensidad moderada en los años 1984, 1992 y 2005 con una reducción del área basimétrica del 30%; 21% y 14% respectivamente; tratamiento E donde se realizaron tres claras por lo bajo de intensidad fuerte en las mismas fechas, con una reducción del área basimétrica del 40%; 25% y 21%. El sistema de extracción empleado es el de árbol completo. En la Tabla 1 se presentan las principales variables dasométricas obtenidas en el último inventario realizado en el año 2010.

La toma de muestras de suelos se realizó en ese mismo año en cada una de las 9 parcelas de investigación. Una muestra compuesta fue completada a partir de submuestras tomadas en cuatro puntos de muestreo, cerca de las diagonales y a cinco metros del centro de las parcelas. En cada punto de muestreo se analizó la capa orgánica y los 30 primeros centímetros de la capa mineral. Para el muestreo del suelo orgánico se realizó la recogida de la materia orgánica presente en un cuadrado de 0,25 x 0,25 m. En este cuadro se identificaron las distintas capas presentes, midiéndose su espesor: Capa orgánica fresca (QL), donde se puede identificar

Trat	Edad	N	Ho	dg	Hm	G	V	W
A	59	870	20,6	31,3	19,3	67,0	589,9	329,1
D	59	427	21,0	37,4	20,3	46,6	433,2	249,3
E	59	340	20,6	39,3	20,2	41,3	385,2	223,0

Tabla 1. Características selvícolas medias de la masa según tratamiento ensayado. Trat: Tratamiento selvícola ensayado; Edad: edad de la masa (años); N: número de pies·ha⁻¹; Ho: Altura dominante (m); dg: diámetro cuadrático medio (cm); Hm: altura media (m); G: Área basimétrica (m²·ha⁻¹); V: volumen (m³·ha⁻¹); W: Peso seco total de biomasa, incluyendo biomasa radical (Mg·ha⁻¹)

perfectamente todas las estructuras; capa orgánica en descomposición (*QF*), donde la materia se ha empezado a descomponer, aunque aún se puede reconocer su origen; capa orgánica humificada (*QH*), donde la materia orgánica está descompuesta siendo imposible identificar su origen. En algunos casos la capa *QH* era inferior a 1 cm o no era identificable y se consideraba junto con la capa *QF*. En el suelo mineral se realizó un muestreo a diferentes profundidades: de 0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm y 20-30 cm. Además, para estimar la densidad aparente de cada profundidad, se extrajo un cilindro inalterado de suelo. La pedregosidad no muestreable fue estimada mediante el tratamiento de imágenes de una fotografía del perfil estudiado con el programa ImageJ (RASBAND, 2006).

En laboratorio, todas las muestras se secaron hasta alcanzar peso constante para determinar la materia seca, antes de realizar los análisis. Además, para una mejor interpretación de resultados, la capa *QL* muestreada fue separada en las siguientes fracciones: acículas, ramillos, piñas y cortezas. La tabla 2 muestra las principales características físico-químicas medias de la capa mineral, a partir de las muestras de las nueve parcelas analizadas. El C y el N fueron determinados en laboratorio mediante combustión con el uso de un analizador LECO CHN-600.

Para el cálculo del C y N existentes en la capa orgánica se multiplicó la concentración (%) de cada elemento por la cantidad de materia seca existente en la superficie muestreada ($\text{Mg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$).

En la capa mineral, no se encontró C inorgánico (CaCO_3) en los primeros 30 cm muestreados, por lo que todos los resultados aquí señalados se refieren a C orgánico. Para el cálculo del C orgánico y N existentes en el suelo mineral se aplicó la siguiente expresión (RODRÍGUEZ MURILLO, 2001):

$$COS = \sum_1^i [D_a \cdot C_i \cdot d \cdot (100 - f_i) \cdot 10]$$

siendo: *COS* el C (N) orgánico del suelo ($\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$); *D_a* la densidad aparente de la capa *i* considerada ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$); *C_i* el porcentaje de C (N) existente en la capa *i* ($\text{g C}\cdot\text{kg}^{-1}$); *d* el espesor de la capa *i* (m); *f_i* son los elementos gruesos no muestreables (%) de la capa *i*; 10 es el factor necesario para la transformación de unidades.

Para constatar la influencia de la gestión en la acumulación de C y N, tanto en la capa orgánica como en los 30 primeros cm de suelo mineral estudiados, a los resultados obtenidos se les ha aplicado un análisis de la varianza (ANOVA) para identificar si existen diferencias significativas entre tratamientos y, posteriormente, un test de Tukey para conocer entre que tratamientos se mostraban esas diferencias.

RESULTADOS

El tratamiento testigo (4), sobre el que no se han realizado intervenciones selvícolas en los últimos 42 años y que soporta una cantidad de biomasa viva mayor, es el que más C acumula tanto en la capa orgánica (media $\pm$ error estándar) ($24,5 \pm 1,8 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$) como en los 30 primeros cm de la capa mineral ($88,9 \pm 6,3 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Fig. 1). El tratamiento con claras moderadas (*D*) presenta unos valores ligeramente inferiores, con $20,6 \pm 3,9$ y $87,4 \pm 8,4 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$ para la capa orgánica y mineral (30 cm) respectivamente. De igual manera, los valores de C para el tratamiento con claras fuertes (*E*) son $17,0 \pm 1,4 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$ para la capa orgánica y $75,6 \pm 11,5 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$ en los primeros 30 cm de la capa mineral. La reducción de la cantidad de C entre el tratamiento testigo y las claras de intensidad fuerte es de un 22% para el C acumulado en la capa orgánica y un 15% para el C acumulado en la capa mineral muestreada.

El ratio de cantidad de C acumulado en la capa orgánica por área basimétrica varía desde

Profundidad	TF (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	MO (%)	C/N
0-5 cm	81	74	14	12	5,2	3,8	11,3	30,6
5-10 cm	78	71	20	9	5,0	3,8	6,9	30,3
10-20 cm	61	69	21	10	4,9	3,9	5,0	29,9
20-30 cm	62	68	21	11	5,0	4,0	3,5	26,5

Tabla 2. Características físico-químicas medias del suelo (calculadas a partir de las 9 muestras obtenidas)

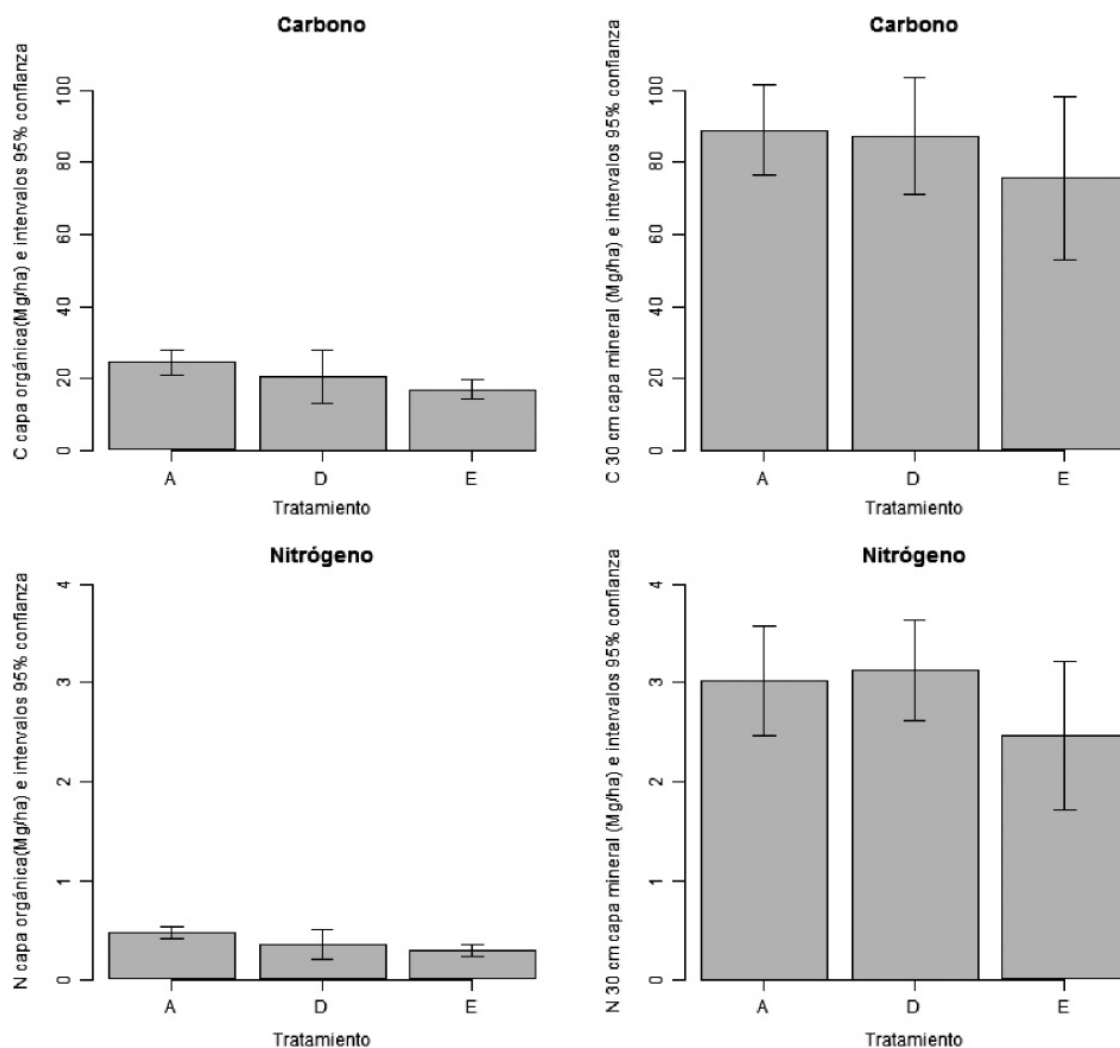


Figura 1. Contenidos de C y N en la capa orgánica (izqda.) y en los primeros 30 cm de la capa mineral (derecha) bajo las distintas intensidades de clara aplicadas (A: testigo, D: claras bajas y moderadas; E: claras bajas y fuertes)

355 kg C·m⁻²·G para el tratamiento A, 415 kg C·m⁻²·G para el tratamiento D y 447 kg C·m⁻²·G de área basimétrica para el tratamiento E.

Para el caso del N en la capa orgánica y la mineral respectivamente, en el tratamiento A se acumulan 0,44±0,04 t N·ha⁻¹ y 3,02±0,23 t N·ha⁻¹; en el tratamiento D 0,30±0,03 t N·ha⁻¹ y 3,13±0,21 t N·ha⁻¹; en el tratamiento E 0,30±0,03 t N·ha⁻¹ y 2,47±0,31 t N·ha⁻¹. La reducción que se ha constatado entre el tratamiento sin intervenciones y las intervenciones más fuertes es del 33% para la capa orgánica y del 18% para la capa mineral.

Tras la realización de un análisis de varianza para identificar diferencias entre tratamientos, las diferencias de C acumulado en la capa orgánica no fueron significativas ($P=0,0660$), pero en cambio éstas sí que fueron significativas para

el N ($P=0,0346$) en esta capa orgánica. Tras la realización de un test de Tukey ($\alpha=0,05$) de comparación múltiple de los distintos tratamientos para identificar entre que tratamientos se dan esas diferencias, este test no reveló diferencias significativas. De igual manera, el análisis de la varianza realizado para el C y N acumulados en la capa mineral no encontró diferencias significativas para los distintos tratamientos tanto para el caso del C ($P=0,5514$), como para el N.

DISCUSIÓN

Los valores de C acumulados en el suelo encontrado en este estudio varían desde los 113,4 Mg C·ha⁻¹ del tratamiento A, a los 108,0 Mg C·ha⁻¹

del tratamiento *D* y los 92,6 Mg C·ha⁻¹ del tratamiento *E*. Estos valores se sitúan dentro del rango adelantado en estudios anteriores para distintas formaciones vegetales en España. Así, RODRÍGUEZ-MURILLO (2001) encontró un valor medio para España en masas de coníferas de 75 Mg C·ha⁻¹; ROVIRA *et al.* (2007) en un estudio similar para coníferas sobre clima Mediterráneo presentan un valor medio de 71 Mg C·ha⁻¹ sin tener en consideración la capa orgánica; CHARRO *et al.* (2010) obtuvieron un valor más elevado (166 t C·ha⁻¹) para *Pinus sylvestris* en la Sierra de Béjar; DÍAZ-PINÉS *et al.* (2011) en un estudio en el Sistema Central para *P. sylvestris* encontraron valores que se situaron en el rango de 85 y 130 t C·ha⁻¹; mientras que HERRERO *et al.* (2011) encontraron en pinares del páramo y valles de Palencia un valor medio de 79,9 Mg C·ha⁻¹.

El C acumulado en la capa orgánica es más sensible a los tratamientos selvícolas que el C acumulado en la capa mineral, como también es explicado por otros autores (YANAI *et al.*, 2003; NAVE *et al.*, 2010). Aunque en el caso de estudio no se han encontrado diferencias significativas entre los tratamientos, los datos obtenidos muestran una tendencia decreciente con el grado de intervención, con un 22% y un 15% de reducción para el C orgánico y mineral respectivamente y una disminución del 33% y del 18% para el caso del N. Tendencias similares fueron encontradas por VESTERDAL *et al.* (1995) y JONARD *et al.* (2006) para el caso de la capa orgánica. Esta reducción podría explicarse por el aumento en la velocidad de descomposición de la capa orgánica, al ocurrir una variación del microclima (aumento de la iluminación del suelo y mayor temperatura) y un menor aporte de desfron-de debido a la disminución de biomasa aérea (ROIG *et al.*, 2005). Además, según WOLLUM & SCHUBERT (1975) la reducción de competencia podría incrementar la disponibilidad de nutrientes para los árboles que quedan, resultando en una capa orgánica más rica en nutrientes y con más facilidad de descomposición.

También con el sistema de extracción de árbol completo utilizado que lleva a no dejar restos de corta en la masa, implica una disminución de la capa orgánica al eliminar esa cantidad de biomasa extraída, con una consiguiente reducción del C y N acumulado (JOHNSON & CURTIS, 2001). Este mismo autor también pre-

senta datos de aumentos hasta del 18% en el C y N de la capa orgánica cuando los residuos quedan en la masa tras la corta.

BIBLIOGRAFÍA

- CHARRO, E.; GALLARDO, J. & MOYANO, A.; 2010. Degradability of soils under oak and pine in Central Spain. *Eur. J. For. Res.* 129: 83-91.
- DÍAZ-PINÉS, E.; RUBIO, A.; VAN MIEGROET, H.; MONTES, F. & BENITO, M.; 2011. Does tree species composition control soil organic carbon pools in Mediterranean mountain forests? *Forest Ecol. Manage.* 262: 1895-1904.
- GUO, L.B. & GIFFORD, R.M.; 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Glob. Change Biol.* 8: 345-360.
- HERRERO, C.; BRAVO, F. Y TURRIÓN, M.B. 2011. Cuantificación de carbono en el suelo y en el mantillo en pinares y rebollares del Norte de España. En: J.F. Gallardo, F. García Oliva y M.B. Turrión (eds.), *Materia orgánica edáfica y captura de carbono en sistemas iberoamericanos*: 249-266. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Salamanca.
- JANDL, R.; LINDNER, M.; VESTERDAL, L.; BAUWENS, B.; BARITZ, R.; HAGEDORN, F.; JOHNSON, D.W.; MINKKINEN, K. & BYRNE, K.A.; 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* 137: 253-268.
- JOHNSON, D.W. & CURTIS, P.S.; 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecol. Manage.* 140: 227-238.
- JONARD, M.; MISSON, L. & PONETTE, Q.; 2006. Long-term thinning effects on the forest floor and the foliar nutrient status of Norway spruce stands in the Belgian Ardennes. *Can. J. For. Res.* 36: 2684-2695.
- MONTERO, G.; MADRIGAL, G.; RUIZ-PEINADO, R. Y BACHILLER, A.; 2004. Red de parcelas experimentales del CIFOR-INIA. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 18: 229-236.
- MONTERO, G.; ORTEGA, C.; CAÑELLAS, I. Y BACHILLER, A.; 1999. Productividad aérea y dinámica de nutrientes en una población de *Pinus pinaster* Ait. sometida a distintos regímenes de claras. *Inv. Agraria; Sist. Rec. For. Fuera de Serie*: 175-206.

- NAVE, L.E.; VANCE, E.D.; SWANSTON, C.W. & CURTIS, P.S.; 2010. Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. *Forest Ecol. Manage.* 259: 857-866.
- POST, W.M. & KWON, K.C.; 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Glob. Change Biol.* 6: 317-327.
- RASBAND, W. 2006. *Image J*. National Institute of Health. Bethesda, Maryland, USA. <http://imagej.nih.gov/ij>
- RODRÍGUEZ-MURILLO, J.C.; 2001. Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain. *Biol. Fertil. Soils* 33: 53-61.
- ROIG, S.; RIO, M.; CAÑELLAS, I. & MONTERO, G.; 2005. Litter fall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. stands under different thinning regimes. *Forest Ecol. Manage.* 206:179-190.
- ROVIRA, P.; ROMANYÀ, J.; RUBIO, A.; ROCA, N.; ALLOZA, J.A. Y VALLEJO, R. 2007. Estimación del carbono orgánico en los suelos peninsulares españoles. En: F. Bravo (ed.), *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*: 197-222. Fundación Gas Natural. Barcelona.
- VESTERDAL, L.; DALSGAARD, M.; FELBY, C.; RAULUND-RASMUSSEN, K. & JORGENSEN, B.B.; 1995. Effects of thinning and soil properties on accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus in the forest floor of Norway spruce stands. *Forest Ecol. Manage.* 77: 1-10.
- WOLLUM, A.G. & SCHUBERT, G.H.; 1975. Effect of thinning on the foliage and forest floor properties of Ponderosa Pine stands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 39: 968-972.
- YANAI, R.D.; STEHMAN, S.V.; ARTHUR, M.A.; PRESCOTT, C.E.; FRIEDLAND, A.J., SICCAMA, T.G. & BINKLEY, D.; 2003. Detecting change in forest floor carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1583-1593.