

UN MODELO PARA SIMULAR LA INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN SOBRE EL CICLADO Y DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL POTASIO EN EL SUELO

Hugo Velasco, Esteban Jobbágy, Marcos Rizzotto, Roberto Olguín

*GEA – Instituto de Matemática Aplicada San Luis (IMASL). Universidad Nacional de San Luis
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Ejército de los Andes 950. D5700HHW San Luis, Argentina, hvelasco@unsl.edu.ar*

Palabras clave: Ciclos biogeoquímicos, potasio, reciclaje, lixiviación, suelos, modelado, simulación.

Resumen. Existe una vinculación recíproca entre el crecimiento de la vegetación y la concentración de nutrientes en el suelo. Así como la disponibilidad de nutrientes afecta el crecimiento de las plantas, la absorción y redistribución de nutrientes, que sustenta este crecimiento puede afectar la disponibilidad y localización de los mismos en el suelo. Este es un proceso dinámico que se manifiesta, por ejemplo, en dunas desprovistas de vegetación que son ocupadas por plantaciones forestales. En estos ambientes la distribución vertical de nutrientes esenciales como el potasio se vuelve más superficial como resultado de la absorción, que tiene lugar a distintas profundidades, y el reciclaje posterior, que es predominantemente superficial, efectuado por la vegetación tras su establecimiento. Disponer de herramientas teóricas que cuantifiquen este proceso dinámico permitirá predecir el impacto de cambios en la vegetación sobre la fertilidad química de los suelos.

Mediante una simulación se estudia la variación temporal del perfil vertical en el suelo de potasio debido al crecimiento de la vegetación. Las situaciones de “cuasi-equilibrio” que resultan del estudio dinámico son contrastadas con observaciones de campo. La condición inicial corresponde a una distribución del perfil de potasio en un suelo típico sin vegetación. A partir de esta situación ($t=0$) se simula la variación temporal de este perfil cuando una plantación forestal típica es establecida. Se plantean parámetros de demanda, almacenamiento en la biomasa, y perfil vertical de absorción de potasio (este último basado en la distribución de raíces). Se obtiene una evolución temporal del perfil de potasio en suelo como función del tiempo y se resuelve una situación de equilibrio en las que las ganancias y pérdidas de cada estrato del suelo son iguales. Los resultados de la simulación se comparan con datos experimentales obtenidos de bibliografía.

1 INTRODUCCIÓN

El potasio es un elemento esencial para la vida requeridos en grandes cantidades por los organismos vivos (Coleman and Crossley, 1996). En el caso particular de las plantas, el potasio constituye uno de los tres nutrientes minerales mayormente requeridos. La falta de este elemento influye negativamente en el crecimiento y calidad de la vegetación. Las plantas absorben el potasio que se encuentra en la solución del suelo en forma catiónica (K^+). Esta fracción de potasio, conocida como “soluble”, depende de la liberación de potasio “intercambiable”, que se encuentra adsorbido por las partículas minerales y orgánicas del suelo. La componente más importante de potasio en suelo se encuentra en los minerales primarios constitutivos del mismo y se conoce como porción “no intercambiable”. El porcentaje de potasio en solución varía entre el 1 y el 2% del total.

La disponibilidad de potasio para las plantas suele ser limitante, aún en suelos que contienen arcillas ricas en este mineral. La recirculación de este elemento es entonces clave para garantizar el abastecimiento sostenido a la vegetación (Jobbágy and Jackson, 2001).

Comprender cómo circulan materiales indispensables para la vida en los ecosistemas, se convierte en un desafío para la ciencia y resulta fundamental por una parte, para el reconocimiento de riesgos, vulnerabilidades y oportunidades en el aprovechamiento de los mismos y, por la otra, para la evaluación del impacto que las actividades antrópicas generan sobre los ecosistemas terrestres.

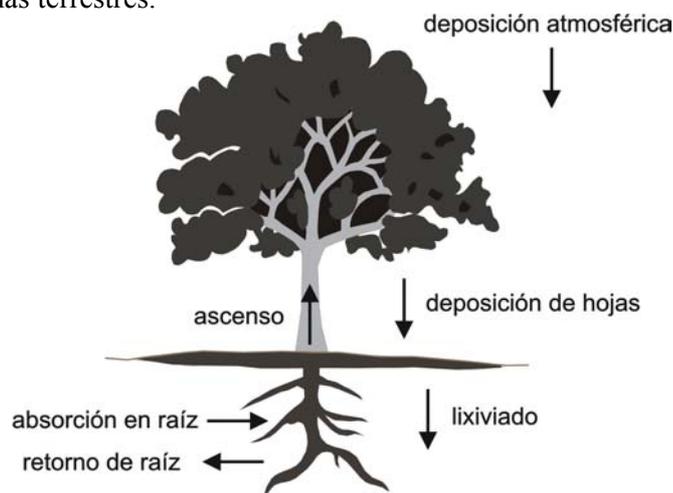


Figura 1: Principales procesos involucrados en la circulación de potasio en un ecosistema forestal.

En el presente estudio se propone un modelo matemático simple tendiente a simular los cambios espaciales y temporales que se origina sobre el perfil de concentración de potasio en el suelo, originados por plantaciones forestales. Se simulan los procesos principales que originan entradas y salidas en los distintos estratos de suelo (Figura 1). Este proceso dinámico genera variaciones características de las concentraciones de potasio con la profundidad.

Finalmente el modelo es calibrado considerando datos experimentales correspondientes a plantaciones de pino (*pinus pinaster*) establecidas en dunas vivas de la costa atlántica argentina (Jobbágy and Jackson, 2004). Existen plantaciones de distintas edades que permiten reconstruir una cronosecuencia de los cambios edáficos asociados a su establecimiento.

El acuerdo teórico-experimental que se obtiene a partir de la aplicación del modelo resulta razonable.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Modelo

El modelo propuesto simula los procesos esquematizados en la Figura 1 y expresados conceptualmente en el diagrama de la Figura 2.

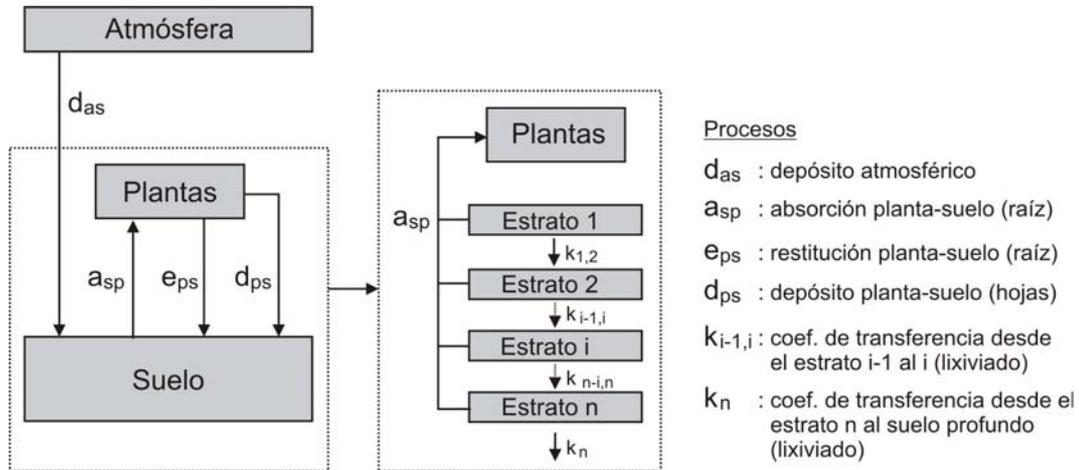


Figura 2: Diagrama de bloques caracterizando los procesos considerados en el ciclado del potasio.

Los procesos considerados son:

a) Absorción desde el suelo por las raíces (asp)

En base a la cantidad de tejido vegetal producido anualmente y a su concentración de potasio se define la demanda anual por parte de la planta de este elemento. Ésta es satisfecha por la absorción de potasio por las raíces. En el modelo se supone que esta demanda es cubierta considerando la distribución vertical tanto de la biomasa de las raíces en el suelo como del potasio disponible para las mismas. En consecuencia, se considera una función normalizada que tiene en cuenta ambos factores (fracción de biomasa de raíz y fracción de potasio por estrato).

b) Restitución hacia el suelo por las raíces (eps)

Debido al proceso constante de muerte y descomposición de raíces, éstas restituyen una fracción del potasio que éstas tomaron del suelo. El retorno total del potasio por raíces que mueren se define a partir de la fracción del potasio absorbido que no es transportada a la parte aérea de la planta y se distribuye verticalmente a lo largo del perfil de suelo, en forma proporcional a la distribución de biomasa de raíces.

c y d) Transporte interno y devolución aérea al suelo

Una fracción del potasio absorbido por las raíces es transportada a la parte aérea de las plantas. Allí abastece a tejidos leñosos, pero fundamentalmente a las hojas. Éstas, tras morir, caen al suelo y restituyen el potasio en el estrato superficial.

d) Lixiviado en suelo

El flujo de agua descendente que atraviesa el perfil de suelo originado por los aportes de las lluvias produce una migración de potasio hacia estratos inferiores de suelo. Esto es tenido en cuenta en la simulación mediante el factor de transferencia entre estratos de suelo.

e) Deposición atmosférica

Existe un ingreso constante de potasio proveniente de la atmósfera, el cual es depositado sobre el estrato superficial. Este aporte migra por lixiviación.

2.2 Simulación

Se representa al perfil de suelo como una sucesión vertical de estratos, con el mismo espesor ($\Delta z = 5\text{cm}$). El estrato i ($i=1,2,\dots,n$) se representa espacialmente por la variable discreta z_i , que indica la profundidad del límite inferior del estrato i . La concentración de potasio en el estrato i , CK_i [cmol/kg de suelo], para cada tiempo, se asume uniforme. t indica el tiempo en meses transcurrido desde el instante inicial ($t=0$).

La masa de potasio en suelo correspondiente al estrato i , MK_i [cmol/m^2], será entonces:

$$MK_i(z_i, t) = CK_i(z_i, t) \cdot MS_i(z_i) \quad (1)$$

donde $MS_i(z_i)$ [kg de suelo/m^2] es la masa de suelo por unidad de superficie correspondiente al estrato i .

La cantidad de potasio que las plantas absorben del suelo al tiempo t , MKP_{ABS} [$\text{cmol/m}^2/\text{mes}$] es proporcional a la biomasa producida en el tiempo t . Esto es:

$$MKP_{ABS}(t) = DEP \cdot BIOM(t) \quad (2)$$

donde DEP [$\text{cmol/m}^2/\text{mes/kg de biomasa}$], es la Demanda Específica de Potasio, y $BIOM(t)$ [kg de biomasa], es la biomasa producida por las plantas en el tiempo t .

La masa de potasio dada por la Ec. (2), es tomada del suelo de acuerdo a la distribución de raíces y a la disponibilidad de potasio. Para ello consideramos la función normalizada, adimensional:

$$RKN_i(z_i, t) = \left[[MR_i(z_i)]_{NORM} \cdot [MK_i(z_i, t)]_{NORM} \right]_{NORM} \quad (3)$$

donde $MR_i(z_i)$ [kg de raíz/m^2] es la masa de raíz por metro cuadrado en el estrato i . El subíndice $NORM$ indica que la cantidad respectiva ha sido normalizada. La Figura 2 representa esquemáticamente el ciclo del potasio, donde a_{SP} indica el proceso de absorción de potasio por parte de las raíces.

Una fracción de este potasio es restituido al suelo debido a la descomposición de raíces, de acuerdo a la distribución de raíces, $[MR_i(z_i)]_{NORM}$. Este proceso está representado en la Figura 2 por e_{PS} .

Una fracción del potasio acumulado en la biomasa es depositada cuando se produce la caída de las hojas. Llamamos a esta fracción ch . Este proceso está representado en la Figura 2 con d_{ps} .

A medida que caen las hojas, las plantas van entregando potasio al estrato superficial de suelo. Se supone que el mismo se distribuye uniformemente en este estrato. Entre otros, debido al proceso de lixiviación, el potasio, ahora en forma de ión, es transportado hacia los estratos inferiores del suelo. Estos fenómenos son tratados en forma conjunta en la simulación. Se hace referencia a ellos mediante un coeficiente de transferencia k_{ij} (Figura 2). k_{ij} [$1/\text{mes}$] representa la fracción de potasio que se transfiere del estrato i al estrato j por unidad de tiempo. Finalmente, el depósito atmosférico está simbolizado en la Figura 2 por d_{AS} [$\text{cmol de potasio/m}^2/\text{mes}$].

2.3 Observaciones de campo

En la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires (Cariló-Pinamar-Punta Médanos) se muestrearon parcelas ocupadas por dunas recientemente estabilizadas sin vegetación y plantaciones de *pinus pinaster* de 15, 30 y 55 años de edad con una densidad de aproximadamente 800 árboles/ha (Jobbágy and Jackson, 2004). En estos sitios se realizaron cuatro perforaciones con barrenos manuales hasta 4 m de profundidad. Se tamizó el material obtenido para cada estrato y se separaron las raíces para su posterior pesado. Se midió la composición de cationes solubles e intercambiables en estas muestras. Se cuantificó el ingreso atmosférico de potasio a partir de dos grupos de tres colectores de deposición seca+húmeda adyacentes a dos de las plantaciones. Se colectó el agua depositada en seis ocasiones a lo largo de un año obteniéndose un valor de deposición anual de distintos elementos químicos. Se cuantificó la concentración de potasio en hojas y madera de los árboles y se usaron estos valores para estimar la demanda y la devolución aérea anual del elemento por los árboles en base a valores de crecimiento anual obtenidos de plantaciones similares en otras áreas medanosas de la región.

3 RESULTADOS

Se realizaron dos simulaciones, en ambas se divide el suelo en estratos de 5 cm de espesor, hasta una profundidad de 4 m. En la primera se asume un perfil vertical uniforme de potasio, con concentración de 5 cmol/kg de suelo. Se asume que la distribución vertical de la biomasa de las raíces es normal, cuyo máximo se encuentra a 20 cm de profundidad y desviación standard igual a 40 (López et al., 2001). Para este caso, la Figura 3 muestra el perfil vertical del contenido de potasio en suelo para los tiempos 0, 20, 40 y 60 años. La Figura 4 muestra la deposición de potasio sobre la superficie del suelo debida a la caída de hojas, la contribución atmosférica y la suma de ambas como función del tiempo. En la Figura 5 se representan los ingresos y egresos de potasio para distintos estratos de suelo y el balance neto de este intercambio.

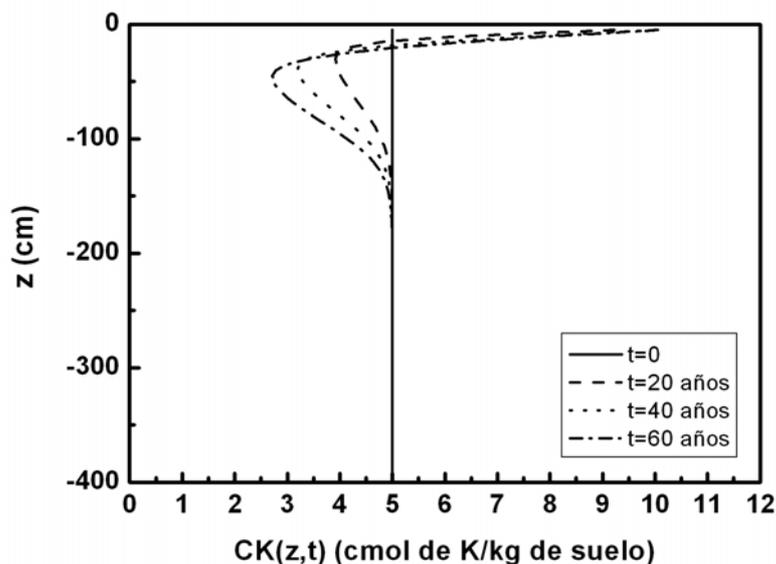


Figura 3: Perfil vertical del contenido de potasio en suelo para distintos tiempos.

A los efectos de confrontar el modelo propuesto con situaciones reales conocidas, una segunda simulación fue llevada a cabo utilizando datos experimentales de concentración de potasio en suelo y de distribución de raíces para la especie *pinus pinaster*. Los resultados se muestran en la Figura 6, en la que los puntos negros representan el valor de CK para $t=0$, la curva continua representa el resultado de la simulación a los 55 años, y los puntos vacíos son los valores experimentales de CK a los 55 años.

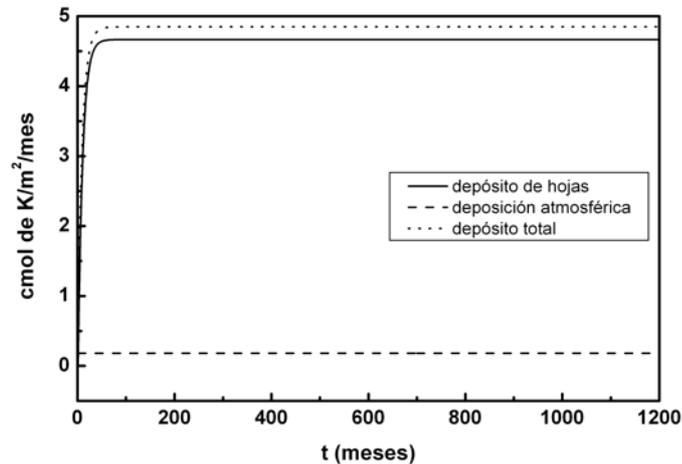


Figura 4: Depósito superficial de potasio. Contribución atmosférica, caída de hojas y suma de ambas.

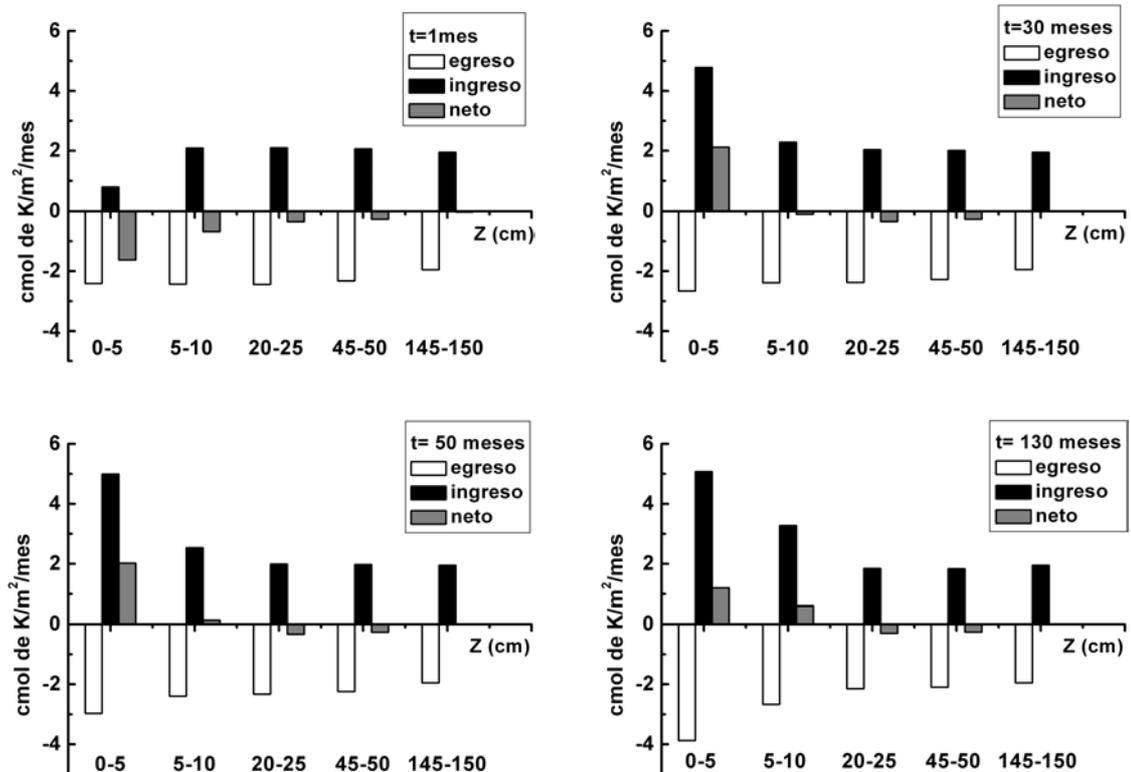


Figura 5: Ingreso y egreso de potasio en estratos de suelo y balance neto, a diferentes tiempos.

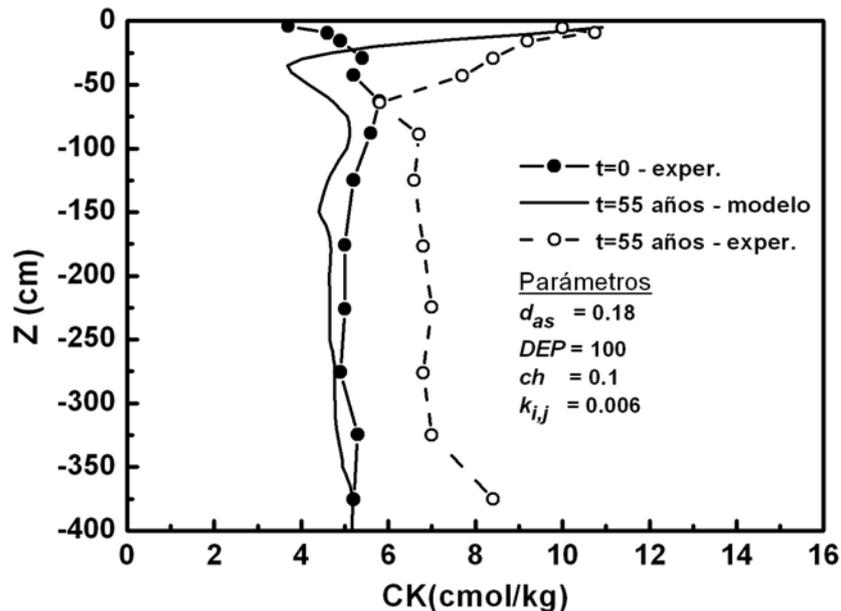


Figura 6: Potasio en suelo en una plantación de pinos . Valores experimentales y predicción teórica.

4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Un modelo matemático simple ha sido propuesto para simular el ciclado de potasio en suelo. Esta circulación es originada por la vegetación y como consecuencia de su desarrollo. El modelo parametriza los procesos fundamentales que impactan sobre la movilidad de potasio en el sistema abierto suelo-plantas, que contempla el aporte del depósito atmosférico del elemento y su consecuente pérdida por lixiviado hacia el suelo mas profundo. Cada uno de los procesos considerados es cuantificado de acuerdo a la información experimental disponible.

El modelo permite determinar el aporte de potasio del suelo a la vegetación y, como resultado primordial, conocer la dinámica del perfil vertical de potasio para un amplio período de tiempo.

La bio-disponibilidad de este nutriente fundamental puede ser estudiada utilizando este modelo, asumiendo hipótesis que representen una amplia gama de situaciones ambientales imaginables.

Finalmente el modelo fue validado para una situación experimental concreta. Sin parámetros de ajuste y sólo a partir de información de campo disponible se logra simular con un muy buen grado de acuerdo, la variación del contenido de potasio a lo largo del perfil de suelo para un período de más de 5 años.

El esquema teórico utilizado permite vislumbrar su utilización para otras realidades experimentales y muy probablemente su aplicación a otros nutrientes que, si bien tienen comportamientos distintos al potasio en cuanto a su movilidad, los procesos involucrados son similares a los simulados.

La Figura 6 sugiere que si bien el modelo reproduce aceptablemente el patrón vertical de potasio en suelo no verifica el balance de masa. La deposición atmosférica y de hojas no

alcanza para explicar el aumento del contenido integral de potasio en suelo. La razón de este incremento indica que hay mecanismos de ingreso de potasio en suelo no considerados por el modelo. Por ejemplo la transformación de potasio mineral “no intercambiable” a soluble por meteorización de la arena. El mejoramiento sucesivo del modelo aquí presentado, debería contemplar efectos como el citado.

REFERENCIAS

- Coleman, D.C., and Crossley, D.A. Jr., *Fundamentals of soil ecology*, Academic Press, 1996.
- Jobbágy, E.G., and Jackson, R.B., The distribution of soil nutrients with depth: Global patterns and the imprint of plants. *Biogeochemistry*, 53: 51-77, 2001.
- Jobbágy, E.G., and Jackson, R.B., The uplift of soil nutrients by plants: biogeochemical consequences across scales. *Ecology*, 85(9): 2380-2389, 2004.
- López, B., Sabate, S., and Gracia, C.A., Vertical distribution of fine root density, length density, area index and mean diameter in a *Quercus ilex* forest. *Tree Physiology*, 21: 555-560, 2001.