

108

CICLO DEL FOSFORO EN UN ECOSISTEMA FORESTAL**CADUCIFOLIO DE LA SIERRA DE GATA****(PROVINCIA DE SALAMANCA)**

J. F. Gallardo, H.A. Gallego, A. Martín, G. Moreno, I. Menéndez, M. Rico, I. Santa Regina, K. Schneider y B. Turrión.

Aptado. 257. C.S.I.C., Salamanca 37071.

Resumen.

Se expone la repartición compartimental y flujos del fósforo en un ecosistema forestal de *Quercus pyrenaica* (y algunas de sus formas del subsistema edáfico) ubicado en Navasfrías (Sierra de Gata, Provincia de Salamanca). La mayor parte del P se encuentra en el suelo, siendo el contenido edáfico de P asimilable teóricamente suficiente para la nutrición arbórea.

Palabras claves: Fósforo, *Quercus pyrenaica*, ciclos biogeoquímicos, ecosistemas forestales.

**P cycle in a broadleaf forest ecosystem of the 'Sierra de Gata' Mountains
(Province of Salamanca, Spain)****Abstract**

A global balance sheet of P in different compartments of a forest ecosystem (*Quercus pyrenaica*) in the Navasfrías site (Sierra de Gata Mountains, Province of Salamanca, Spain) is exposed. Most of the P is in the soil subsystem, so the assimilable-P content is theoretically enough for the nutritional demand of the trees.

Key words: Phosphorus, *Quercus pyrenaica*, biogeochemical cycles, forest ecosystems.

INTRODUCCION.

Uno de los bioelementos más singulares de los ecosistemas forestales es, sin duda, el P, dadas las múltiples formas que puede presentar en el suelo, por su escasa solubilidad y movilidad, y por ser un nutriente que limita el sistema en muchas áreas de Europa (HARRISON 1989).

Por ello, en el presente trabajo se expone un balance de P en un rebollar (*Quercus pyrenaica*) ubicado en Navasfrías (provincia de Salamanca), discutiéndose los contenidos de P en cada compartimento del ecosistema, estimándose las transferencias con el objeto de conocer si dicho nutriente pudiera ser limitante y porqué y dónde radica dicha deficiencia.

ZONA DE ESTUDIO

El estudio se ha realizado en un bosque de *Quercus pyrenaica* Willd. próximo a la localidad de Navasfrías (Comarca de El Rebollar, SO de la Provincia de Salamanca), a una altitud de 1,000 m s.n.m., con pluviometría de unos 1500 mm anuales y 11°C de temperatura media. Los suelos son una asociación de *Cambisoles húmicos* y, en menor medida, *Leptosoles*, donde la erosión es más intensa. En todo caso, son suelos marcadamente ácidos. El roquedo son esquistos más o menos alterados. En dicho rebollar se delimitó una parcela experimental de 8,000 m², con una densidad de arbolado de 820 pies/ha, altura media de 13 m, diámetro (D.B.H.) medio de 15.2 cm, y una biomasa aérea de 64.5 tm/ha. En el sotobosque predominan ericáceas, *Pteridium aquilinum* y algunas gramíneas bajo los árboles.

MATERIAL Y METODOS

La biomasa arbórea se determinó por corte y pesada de ocho árboles, seleccionados a partir de distintas clases diamétricas, registrándose el peso de troncos, ramas y hojas. El crecimiento fustal se determinó a partir de dispositivos *ad hoc*. Respecto a la estimación de la producción de hojarasca, se colocaron tres series de 10 receptáculos (0.24 m² de superficie), recogiendo la producción de hojarasca aproximadamente cada mes. Para el estudio del P edáfico, se tomaron cinco muestras medias de suelo, cada una de ellas a cuatro profundidades, cada estación del año.

Con objeto de estimar las entradas de P al ecosistema desde la atmósfera y su posterior interacción con el arbolado, se siguió la metodología propuesta por MILLER *et al.* (1987) y LAKHANI & MILLER (1980), que incluye dos tipos de pluviómetros (tres protegidos de turbulencias y otros tres con una malla elevada, que disminuyen las deposiciones secas en el primer caso y las favorecen en el segundo), doce colectores de trascolación y otros doce de escurrimiento fustal.

Las pérdidas o ganancias de P durante el proceso de descomposición de hojarasca se estimaron mediante bolsas de luz de malla de 1 mm ("litter bags"), en número suficiente para que la experiencia tuviera 36 meses de duración, tomando una bolsa (por triplicado), cada dos meses. Asimismo, se tomaron quince muestras (0.25 m² de superficie) del horizonte holorgánico edáfico con objeto de cuantificar la necromasa.

La determinación de P en las muestras vegetales se realizó por colorimetría, según el método de amarillo de vanadato-molibdato (CHAPMAN y PRATT 1979); en aguas y suelos según MURPHY & RILEY, previa digestión con el método del persulfato (GREENBERG 1980). Para caracterizar las distintas formas orgánicas e inorgánicas del P, las muestras edáficas se analizaron por duplicado, siguiendo el fraccionamiento de HEDLEY *et al.* (1982), modificando la determinación del P asimilable según el método de MENON *et al.* (1989).

RESULTADOS Y DISCUSION.

Los resultados se exponen de manera gráfica en la figura 1. La simbología utilizada en dicha figura es: mineralomasa y contenidos edáficos de P (en círculos) en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; entradas al sistema de fósforo (en rombos) en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$; y transferencias de P en el sistema (en triángulos) en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$.

A) Mineralomasa y contenido edáfico.- En el rebollar de Navasfrías se encuentra que la suma total alcanzan los $26.7\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P, quedando 18.2 ocluidos en los troncos, 5.9 en ramas y $2.6\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ retenidos en las hojas. No se dispone aún de estimaciones del estrato arbustivo (que es escaso bajo los árboles) o herbáceo, aunque, según HARRISON (1989), la mayor parte de las reservas de P de los ecosistemas forestales corresponden al estrato arbóreo.

Se ha estimado el P retenido por la hojarasca depositada sobre el suelo. Esta estimación es difícil, dado que aquélla varía durante el año, tanto en cantidad como en composición (DECANTAZARO & KIMMINS 1984; GALLARDO *et al.* 1991). Considerando sólo las hojas en descomposición, se ha estimado $0.42\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P retenido como mínimo. La variabilidad temporal y composicional de la hojarasca explica los datos tan dispares que aparecen en la bibliografía (RAPP 1971; YANAI 1992), a lo que hay que añadir otros factores como especie dominante, distribución espacial de la población y características edafoclimáticas. Tampoco se disponen de datos sobre la biomasa subterránea dada la dificultad de estimación de ésta (RAPP 1971), aunque las estimaciones indican que P ocluido por las raíces es poco significativo en relación con el P total existente en el suelo.

Por tanto, se ha procedido a la determinación del P total edáfico, que es el máximo reservorio de P en el ecosistema. Así, encontramos $635\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P total en los primeros 40 cm. De ellos, casi tres cuartas partes corresponden a formas orgánicas del P, y el resto a forma inorgánica ($173\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$); una pequeña fracción de ésta ($15.8\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) es considerada P asimilable, es decir, disponible a corto plazo por la vegetación (siempre que el sistema radicular tenga capacidad física de explorar los horizontes edáficos).

Aunque la tendencia general del P total y asimilable es a disminuir con la profundidad, se observa que aquí no es exactamente cierto, ya que en estos suelos, con alto contenido húmico, existen variaciones de densidad, pedregosidad, etc, que ocasiona una relativa homogeneización del contenido fosfórico de las capas muestreadas. Este hecho, en parte, ha sido observado por HARRISON (1989), quien afirma que aunque la cantidad de P orgánico suele disminuir con la profundidad, la concentración de P en la materia orgánica suele incrementarse con ésta, por un aumento de las fracciones fúlvicas, más ricas en este bioelemento (DUCHAUFOR 1984).

Si sumamos todos los compartimentos considerados, se tiene una cantidad de P ocluido o retenido, más o menos transitoriamente, en biomasa o suelo, de $662\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, de los cuales sólo un 4 % se localiza en el estrato arbóreo aéreo, que se haya entre los límites (2 al 5 %) encontrados por HARRISON (1989).

B) Entradas.- Las principales entradas de P tienen lugar a través de la atmósfera, bien mediante polvos, bien con el agua pluvial. No se consideran las entradas por meteorización de la roca, dado que aún no se dispone de datos cualificados, pero se puede estimar que las entradas mediante esta vía, al ser profundas, se compensan con las salidas por aguas de drenaje profundo, que también son mínimas (STEVENS *et al.* 1989). De todas formas, es conocido que el P es poco soluble, manteniendo su concentración

alrededor de 2 mg.dm^{-3} en la solución edáfica, y escasamente lixiviable por estar enlazado orgánicamente (HENDERSON *et al.* 1977). Otras pérdidas (aclarados, cortes, etc.) no se han realizado en nuestro ecosistema. La mayor parte de estas salidas son del orden de los límites de error, por lo que HARRISON (1985) constata que no se suelen considerar en la bibliografía.

Las entradas de origen atmosférico suponen un aporte de $0.93 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ en conjunto, de los cuales unos 0.68 corresponden a polvos y el resto al agua de lluvia (lo cual es obvio, dada la escasa solubilidad del P); resultados previos indican que en las aguas de lluvia fundamentalmente existe P inorgánico, mientras que en las deposiciones secas domina la fracción orgánica (que indica su procedencia local y superficial, rico en sustancias húmicas: sería, por tanto, una recirculación del propio ecosistema). Se puede concluir que el P de las aguas de lluvias es más asimilable que el que proviene de las deposiciones secas.

C) Reciclado en el sistema.- Restando los citados aportes al ecosistema (0.93), a los contenidos de las aguas de translocación (0.79), se obtiene una cifra ($-0.14 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$) que, por llevar signo negativo, señala la existencia de absorción foliar por parte de la canopia (MILLER & MILLER.1980; SON & GOWER 1991). Esta absorción estimada pueden ser algo mayor, por ocultamiento parcial por las pérdidas de P en el lixiviado de la canopia antes de la abscisión foliar (SCHUELLER 1978; CARLYLE & MALCOLM 1986; AHMAD-SHAH & RIELEY 1989). El agua de escurrimiento fustal aporta al suelo una cantidad insignificante ($10 \text{ g.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$) de P, por lo que no se deben considerar.

El desfronde supone un aporte al suelo de $1.9 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, de los cuales sólo 0.17 corresponde a ramas, la mayor parte a hojas (1.5) y el resto (0.23) a yemas, líquenes, frutos, etc..

Es difícil conocer la cantidad de P que es aportado al suelo realmente por la hojarasca. Teniendo en cuenta datos de mineralización de hojas (método "litter bag") se puede estimar un mínimo de $0.3 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (estimación en el primer año; MARTIN 1992), cifra muy baja, dado que ello supondría una acumulación de P en la hojarasca; más real sería alrededor de 1 , añadiendo lo cedido por otros años y demás fracciones residuales.

El P recogido cada año tras el desfrondé (1.5) es inferior al retenido por las hojas (2.6), por lo que la diferencia de aquél y éste, $1.1 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, debe ser el P retranslocado cada año (SON & GOWER 1991), cifra del mismo orden a las encontradas por ESCUDERO *et al.* (1992) para la misma especie (alrededor del 50 %).

Si sumamos el P que se acumula en troncos (la mayor parte), ramas, y el de hojas que se retransloca, podemos conocer el P ocluido o retenido en la biomasa, que se eleva a 25.5 kg.ha^{-1} .

Por otra parte, sumando la cantidad de P calculado que retienen las hojas anualmente más el estimado que queda ocluido por el crecimiento anual (que en total asciende a 2.4), menos el absorbido directamente de la lluvia (0.1) y el retranslocado (1.1), se obtiene la absorción anual edáfica de P, cifrada en $1.2 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$: ello significaría que sólo la mitad de la demanda total de P anual se absorbería del suelo.

CONCLUSIONES

En resumen, se concluye que a partir del balance global no deberían existir carencias de P en el ecosistema. Ello no implica que no pudiera existir carencia temporal de P debido, v.g., a la sequía estival, lo que es imposible predecir con la metodología utilizada.

Agradecimiento: Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del Programa STEP/D.G. XII (CEE), DGICYT/MEC y CICYT/INIA, y la cesión de montes públicos por la Junta de Castilla y León.

BIBLIOGRAFIA

- AHMAD-SHAH, A.; RIELEY, J.O. (1989): Influence of tree canopies on the quantity of water and amount of chemical elements reaching the peat surface of a basin mire in the Midlands of England. *J. Ecol.*, 77:357-370.
- CARLYLE, J. C., MALCOLM, D.C. (1986): Larch litter and nitrogen availability in mixed larch-spruce stands. I. Nutrient withdrawal, redistribution, and leaching loss from larch foliage at senescence. *Can. J. Forest Res.* 16: 321-326.
- CHAPMAN, H.D. & PRATT, P.I. (1979): *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. Trillas. Méjico. 195 pp.
- DECANTAZARO, J.B.; KIMMINS, J.P. (1984): Changes in the weight and nutrient composition on litter fall in three ecosystem types on coastal British Columbia. *Can. J. Bot.*, 63:1046-1056.
- DUCHAUFOR, Ph. (1984): *Edafología: edafogénesis y clasificación*. Masson. Barcelona. 493 pp.
- ESCUADERO, A.; DEL ARCO, J.M.; SANZ, M.I. & AYALA, J. (1992): Effects of leaf longevity and retranslocation efficiency on the retention time of nutrients in leaf biomass of different woody species. *Oecologia*, 90: 80-87.
- GALLARDO, J.F.; SANTA REGINA, I. *et al.* (1991): Evolution of the mineral composition of the leaves and branches in three forest ecosystems of the "Sierra de Bejar" Mountain. En: *Diversity of Environmental Biogeochemistry*. J. BETHELIN (Edt.) Elsevier. Amsterdam. 477-484.
- GREENBERG, A.E. (Edt.) (1980): *Standard methods for the examination of water and wastewater*. APHA/AWNA/WPCF, Washington. 1134 pp.
- HARRISON, A.F. (1985): Effects of environment and management on phosphorus cycling in terrestrial ecosystems. *J. Environ. Mgmt.* 20: 163-179.
- HARRISON, A.F. (1989): Phosphorus distribution and cycling in European forest Ecosystems. En: *Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems*. H. Tiessen (Edt). SOPE/UNEP, Saskatoon. 42-76.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B. & CHAUHAN, B.S. (1982): Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. Journal* 46:970-976.
- HENDERSON, G.S.; HARRIS, W.F.; TODD, D.E.; GRIZZARD, T. (1977): Quantity and chemistry of throughfall as influenced by forest type and season. *J. Ecol.*, 65:365-374.
- LAKHANI, K.H. & MILLER, H.G. (1980): Assessing the contribution of crown leaching to the element content of rainwater beneath trees. En: H.C. HUTCHINSON & M. HAVAS (eds.) *Effects on acid precipitation on terrestrial ecosystems*. Plenum Press, Londres. 161-172.
- MARTIN, A. (1992): *Aportaciones al conocimiento del proceso de descomposición in situ de hojas de Quercus pyrenaica y Pinus pinaster*. Trabajo de Licenciatura. Universidad de Salamanca.
- MENON, R.G.; CHIEN, S.H. & HAMOND, L.L. (1989): Modified techniques for preparing paper strips for the new Pi soil test for phosphorus. *Fert. Res.*, 19: 85-91.
- MILLER, H.G.; MILLER, J.D. (1980): Collection and retention of atmospheric pollutants by vegetation. En: Proc. Int. Conf. Ecological impacts of acid precipitation. D. DRABLOS & A. TOLLAN (Edt.), SNSF Project, Oslo. 33-40.
- MILLER, H.G.; MILLER, J.D.; COOPER, J.M. (1987): Transformations in rainwater chemistry on passing through forested ecosystems. En: *Pollutant transport and fate in ecosystems*. P.J. COUGHTREY *et al.* (Edt.), Blackwell, Oxford. 171-180.
- RAPP, M. (1971): *Ciclo de materia orgánica y de elementos minerales en algunos ecosistemas mediterráneos*. C.N.R.S., Paris. 184 pp.
- SON, Y.; GOWER, S.T. (1991): Aboveground N and P use by five plantation-grown trees with different leaf longevitys. *Biogeochemistry*, 14:167-191.
- STEVENS, P.A.; HORNUNG, M.; HUGHES, S. (1989): Solute concentrations, fluxes and major nutrient cycles in a mature Sitka-spruce plantation in Beddgelert Forest, N.Wales. *For. Ec. & Management*, 27:1-20.
- SCHUELLER, J. (1978): Dynamics of mineral element content of larch (*Larix decidua* Mill.) microphylls in the inner Alps. *Revue Forestière Française* 30:115-123.
- YANAI, R.D. (1992): P budget of a 70-year-old Northern hardwood forest. *Biogeochemistry* 17:1-22.

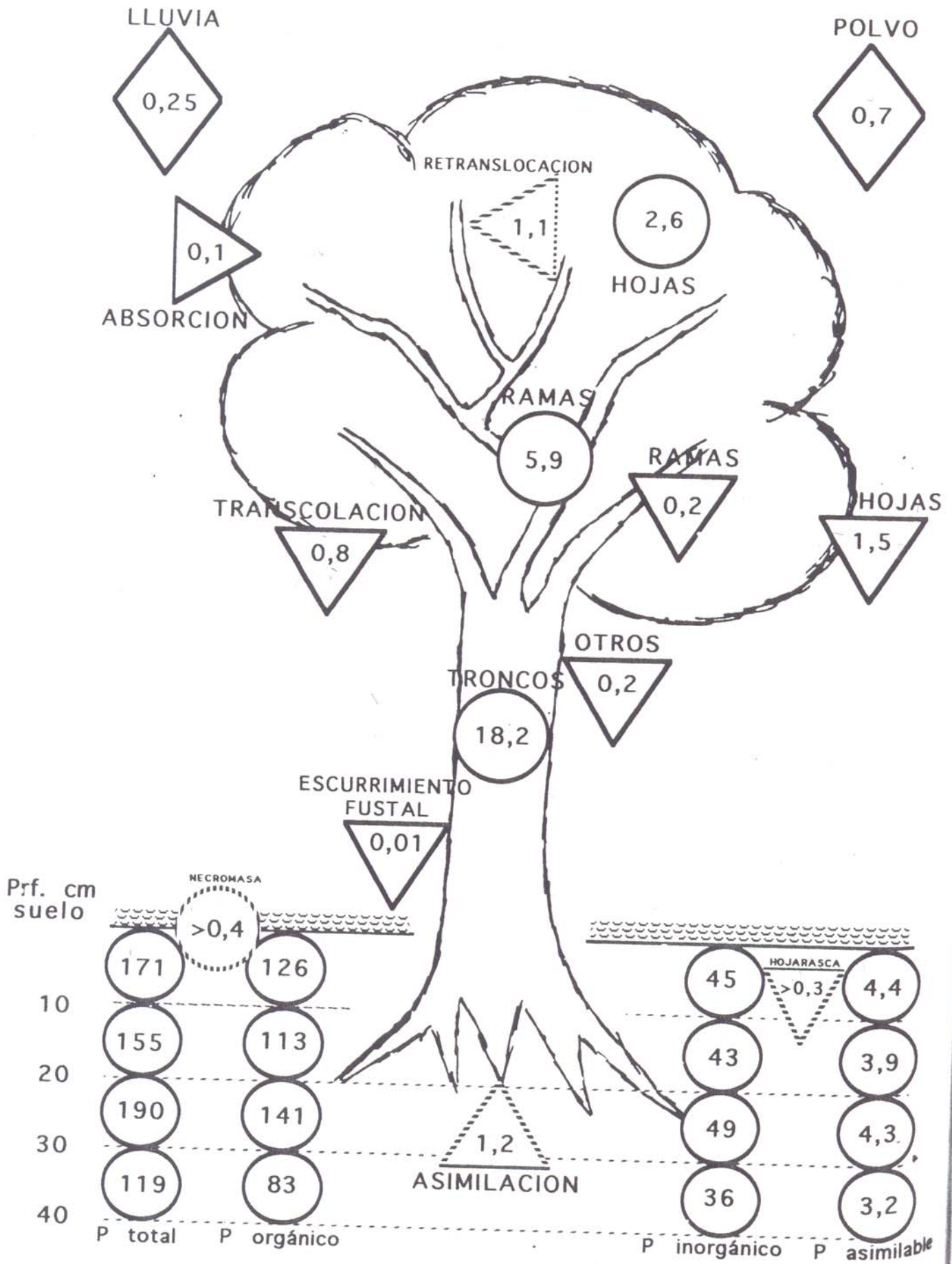


Fig. 1. CICLO DEL FOSFORO: (— determinado; estimado;
 ◊ entradas; ○ P retenido; △ flujos).