

PERDIDA DE FOSFORO POR LIXIVIACION FOLIAR ¹

POR E. M. SIVORI, M. C. ESPONDA Y C. P. RUMI ²

En un estudio previo habíamos hecho resaltar la importancia de la pérdida de nutrientes minerales por lixiviación durante las lluvias. Este proceso adquiere actualmente mayor interés al extenderse el sistema de riego por aspersión.

La lixiviación foliar se conocí desde hace muchos años. Laclerc y Breazeale (1908), atribuyeron la disminución de nutrientes de las plantas a la difusión desde las raíces hacia el suelo, al desprendimiento de hojas y a la acción de la lluvia, rocío, vientos y otros agentes. Mann y Wallace (1925), de acuerdo a Long, Sweet y Tuckey (1956), determinan pérdidas del 60 % de las cenizas y del 80 al 90 % del potasio. Más adelante Tamm (1951), Will (1955) y Sviridova (1961), establecen la lixiviación de Ca, K, Na, N, P, Mg y S. Long, Sweet y Tuckey (1956), trabajan experimentalmente y llegan a la conclusión de que las pérdidas dependen de la especie, de la luz, del estado de desarrollo y de la cantidad y duración de la lluvia, además de otros factores.

En lo que se refiere al P, Tuckey, Wittwer, Teubner y Long (1956), encuentran que cuando la absorción se produce normalmente, a través de las raíces, hasta las 48 horas de haber sido apli-

¹Trabajo realizado en la Cátedra de Fisiología Vegetal y Fitogeografía, con la ayuda económica de CEFAR. El P₃₂ fue suministrado por la Comisión Nacional de Energía Atómica de la República Argentina. Recibido para su publicación el 13 de diciembre de 1961.

²Ingeniero agrónomo, profesor titular de Fisiología Vegetal; ingeniera agrónoma, jefa de laboratorio y asistente, respectivamente.

cado, no se produce ninguna pérdida. Por otra parte, se manifiesta lixiviación foliar cuando la absorción se realiza directamente por el tallo cortado y sumergido en la solución. Sívori, Esponda y Rumi (1959) estudian la incorporación y distribución del P absorbido. La incorporación como P inorgánico es mayor cuando la absorción es por el tallo, pero no supera el 5 % de su contenido. Se considera que el aumento de la pérdida se debe a una distribución desigual en las hojas, con altas concentraciones alrededor de las nervaduras.

METODO

El método utilizado consiste, en principio, en hacer absorber una solución de P_{32} a la planta, sometiéndola luego a una lluvia artificial. Se determina a continuación el contenido de P total de la planta y de P total y P_{32} del agua de lavado.

Se trataron especies herbáceas y leñosas. En los casos de lechuga y repollo se utilizó la parte aérea completa; en el resto de las especies estudiadas sólo una rama con sus hojas. Se cortaba la parte a tratar e inmediatamente se introducía en el extremo de un tubo de goma que se llenaba con solución nutritiva¹, en la cual se eliminaron las sales de Ca y Fe para evitar toda posible precipitación del P. El P_{32} agregado a esta solución tenía una actividad que osciló entre 160 y 200 μ /l, siendo despreciable su contenido en peso. La posible pérdida en la unión entre la planta y el tubo de goma fue evitada por agregado de una pasta impermeable, que se cubría luego con una cinta de polietileno.

La "lluvia" se realizó por intermedio de una circulación cerrada de agua destilada que cae sobre la planta en estudio. Esta forma permite cierta concentración de las sales lavadas y a la vez la duración que se desea del tratamiento. Correspondió a una precipitación superior a 900 mm por minuto, lo que evidentemente supera la capacidad máxima de difusión de P interior hacia la superficie

¹ La composición de esta solución es la siguiente:

NO_3Na	0,589 gr/l
$SO_4MG. 7H_2O$	0,490 »
PO_4H_2K	0,250 »
$SO_4(NH_4)_2$	0,250 »
$ClNa$	0,125 »

foliar, significando la mayor pérdida que podría obtenerse por unidad de tiempo. Por otra parte, los valores son superiores a cualquier lluvia natural. También se ensayó la pérdida de P sumergiendo la planta en un recipiente en cuyo interior circulaba lentamente agua, estableciendo, como en el caso anterior, una corriente cerrada. En ambos tratamientos el agua circulante utilizada tenía un volumen que osciló entre 2,5 y 3,5 litros y una temperatura entre 20° y 26° C.

Terminado el lavado, la solución se pasaba a través de una columna de intercambio con Amberlite IRA 400 y se eluía con una solución de OHNa al 5 %, evaporado luego hasta un volumen de 10 ml. En estas condiciones se tomaba la actividad de la muestra que se comparaba con un patrón constituido por una solución de OHNa, de igual concentración y volumen, y un contenido de P_{32} conocido. Se determinó el P total de las plantas, como así el P total y P_{32} de la solución de lavado. Las muestras de las plantas fueron mineralizadas con ácido sulfúrico y ácido nítrico y neutralizadas con hidróxido de amonio. Las muestras de lavado se neutralizaron con ácido sulfúrico. Cuando hubo precipitado se separó por centrifugación.

El contenido de P en todos los casos se evaluó colorimétricamente con molibdato de amonio y ácido 1 amino-2 naftol-4 sulfónico como reductor, en un espectrofotómetro Beckman DU.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la tabla se exponen los resultados obtenidos. La pérdida de P lavado se expresa en % del contenido de la muestra.

Habíamos dicho que de acuerdo a Long, Sweet y Tuckey (1956) las pérdidas dependían de la especie, la luz, estado de desarrollo y de la cantidad y duración de la lluvia, además de otros factores. Entre estos últimos, que pueden ser inherentes a la especie, podemos incluir la extensión de superficie de contacto entre el agua de lavado y la hoja (morfología foliar), que varían para un mismo peso seco total; la característica de la permeabilidad y selectividad de las membranas citoplásmicas y del utrículo citoplásmico como un todo; la presencia de pelos, la estructura histológica interna y la actividad metabólica. De acuerdo al método empleado se determinó la pérdida de P en forma de fosfato inorgánico y es

Especie	Fecha	Lavado por	Tiempo de lavado	Peso seco total gr	mg de P en la planta	mg de P lavado	P lavado en % del total	P32 lavado	Observaciones
<i>Lactuca sativa</i>	24-VIII-60	Inmersión	8 horas*	10,000	31,12	0,151	0,5	—	En invernáculo
<i>Kleinia ficoides</i>	13-IX-60	»	8 horas	22,900	115,14	2,058	1,8	—	A la intemperie
<i>Lactuca sativa</i> I.....	12-VII-60	Lluvia	»	8,659	2,98	0,051	3,6	Rastros	Planta grande. En invern.
<i>Lactuca sativa</i> II.....	2-XI-60	»	»	3,370	18,83	0,887	4,7	Rastros	Planta joven. En invern.
<i>Senecio cineraria</i> I.....	27-XII-60	»	»	7,310	47,03	0,743	1,6	—	Hojas pubesc. A la intemp.
<i>Senecio cineraria</i> II.....	3-I-61	»	»	5,325	46,10	0,896	1,9	—	Hojas pubesc. A la intemp.
<i>Brassica oleracea</i> I.....	10-I-61	»	»	10,774	56,46	1,088	1,9	—	En invernáculo
<i>Brassica oleracea</i> II.....	13-I-61	»	»	10,286	41,51	1,223	2,9	—	En invernáculo.
<i>Brassica oleracea</i> III.....	21-III-61	»	»	3,352	13,94	0,498	3,6	—	Planta joven. En invern.
<i>Brassica oleracea</i> IV.....	24-III-61	»	»	4,671	22,50	0,164	0,7	—	» » »
<i>Ruta chalepensis</i>	7-IV-61	»	»	8,168	23,36	0,352	1,5	—	A la intemperie
<i>Myoporum laetum</i> I.....	19-IV-61	»	»	5,151	16,60	0,536	3,2	—	»
<i>Myoporum laetum</i> II.....	21-IV-61	»	»	7,538	23,65	0,736	3,1	—	»
<i>Citrus nobilis</i> I.....	25-IV-61	»	»	16,082	40,64	0,373	0,9	Rastros	»
<i>Citrus nobilis</i> II.....	27-IV-61	»	»	10,343	26,07	0,165	0,6	Rastros	»
<i>Tropaeolum majus</i>	9-V-61	»	»	8,674	22,40	0,420	1,8	—	»
<i>Santolina chamaecyparissus</i> I.	10-V-61	»	»	20,124	47,17	0,307	0,7	—	»
<i>Santolina chamaecyparissus</i> I.	12-V-61	»	»	20,672	48,20	0,524	1,1	—	»
<i>Eucalyptus diversicolor</i> I....	17-V-61	»	»	42,530	26,98	0,581	2,1	—	»
<i>Eucalyptus diversicolor</i> II....	20-V-61	»	»	42,236	20,44	0,185	0,9	—	»
<i>Helianthus annuus</i> I.....	30-V-61	»	»	1,620	7,38	0,308	4,2	—	Planta en estado juvenil. A la intemperie
<i>Helianthus annuus</i> II.....	31-V-61	»	»	12,266	41,61	0,209	0,5	—	Planta en comienzo de floración. A la intemperie.
<i>Nerium oleander</i> I.....	9-VI-61	»	»	22,408	52,78	0,579	1,1	—	A la intemperie
<i>Nerium oleander</i> II.....	13-VI-61	»	»	15,380	28,64	0,387	1,3	—	»
<i>Corynocarpus laevigatus</i> I....	22-VI-61	»	»	18,383	28,39	0,178	0,6	—	»
<i>Corynocarpus laevigatus</i> II....	26-VI-61	»	»	9,916	29,38	0,155	0,5	—	»

* Tiempo de lavado 4 horas, pero el valor se expresa sobre la base de 8 horas.

evidente que la relación entre el P inorgánico, el orgánico soluble y el orgánico insoluble, varía entre los distintos estados metabólicos de una misma planta. Bajo este aspecto debemos recordar que parte de los ensayos se realizaron en invierno, cuando la actividad está muy reducida.

El análisis colorimétrico y la determinación de P_{32} en el agua de lavado permiten separar el P preexistente en la planta de aquél suministrado desde 18 horas antes de la lixiviación. El que se suministró previamente al lixiviado fue lavado en cantidades sin significancia alguna. Sólo en algunos casos se logró medir, pero sólo en un tratamiento (lechuga II) alcanzó aproximadamente al 0,2 por mil del P total lixiviado. Este comportamiento, que no es fácil explicar, indica la necesidad de realizar un análisis sobre las combinaciones químicas del P lavado.

Los resultados revelan que en algunos casos el P lixiviado en los ensayos realizados por duplicado es muy semejante. Tal ocurre en *Senecio cineraria*, *Myoporum laetum*, *Citrus nobilis*, *Nerium oleander* y *Corynocarpus laevigatus*. En otras circunstancias los duplicados han manifestado una pronunciada diferencia. Esta diferencia puede ser explicada cuando las ramas o plantas tratadas eran muy diferentes, tal es lo que ocurre con girasol, donde la planta joven perdió un 4,2 % de su contenido, mientras que la planta en comienzos de floración sólo perdió 0,5 %. En *Eucalyptus diversicolor* los valores son de 0,9 y 2,1 %, a pesar de tratarse de dos ramas de la misma planta, con un peso seco muy similar, 85,1 y 84,5 gramos, y un contenido de P de 116,3 y 89,2 mg. Es evidente que esta diferencia se debe a alguna característica de naturaleza fisiológica.

La lechuga se lavó tanto por inmersión como por lluvia. En la primera circunstancia la pérdida de P fue muy inferior, aproximadamente $1/7$ y $1/9$ del P lixiviado por la lluvia. Este resultado indica que es de importancia fundamental la rapidez de difusión del P de la superficie de la cutícula hacia la solución exterior, que parece controlar la intensidad del proceso. En efecto, en el primer caso (inmersión), debido a la lentitud del movimiento del agua, la dispersión del P que ha llegado a la superficie exterior de la cutícula se debe en parte al propio proceso de difusión y en parte al arrastre de la corriente, que, como hemos expresado, es de relativa importancia. En el segundo caso las gotas que gol-

pean la superficie deben producir un violento arrastre mecánico del P adherido a ella. En esta forma puede considerarse que la concentración exterior es prácticamente nula, aumentando al máximo el gradiente de difusión con respecto al interior del tejido, lo cual acelera el proceso. En consecuencia, es de importancia no sólo el tiempo de duración de una lluvia, sino también su intensidad.

Resumen. — Se ha estudiado la lixiviación del P foliar por una lluvia artificial. La intensidad de la lluvia (900 mm/minuto) determinó la pérdida máxima posible. El P fue suministrado directamente al tallo cortado de la planta en estudio.

Prácticamente no se lixivió P suministrado desde 18 horas antes del tratamiento, proveniente casi en su totalidad del preexistente en la planta.

El P lavado por inmersión es mucho menor que por lluvia, lo cual se interpreta como una eliminación mecánica del P de la superficie exterior de la cutícula, aumentado así el gradiente de difusión con relación al interior.

La intensidad del lavado parece depender, en parte, del estado del desarrollo (plantas jóvenes y en floración) y de las otras condiciones fisiológicas.

Summary. — *Phosphorus loss by folial lixiviation.*— By means of the artificial rain the loss P by leaching has been studied. The intensity of the artificial rain (900 mm/minut) determined the loss of P to be the possible. The salt was directly supplied to the sectioned stem of the plant under observation.

Practically the P supplied since 18 hours before the treatment was not lixiviated and in consequence the P comes almost in its totality from that already present in the plant.

Immersion leaching was much less effective than rain, and this fact in interpreted as a mechanical elimination of P on the outer surface of the cuticle wich therefore increases the diffusion gradient in relation with the interior.

The intensity of leaching seem to depend partially on the state of development (young and flowering plants) and other physiological conditions.

BIBLIOGRAFIA

- LACLERC, J. A. AND J. F. BREAZEALE. *Loss of plant food by action of rain or dew.* — Yearbook of Agriculture : 389-402. 1908.
- LONG, W. G., D. V. SWEET AND H. B. TUCKEY. *Loss of nutrients from plant foliage by leaching as indicated by radioisotopes.* — Science 123: 1030-1040. 1956.
- LONG, W. G., D. V. SWEET AND H. B. TUCKEY. *The loss of nutrients by leaching of the foliage.* — Quarterly Bulletin, of the Michigan Agricultural Experiment Station, Michigan State University of Agriculture and Applied Science, East Lansing, 38: 523-532. 1956.
- SIVORI, E. M., M. C. ESPONDA Y C. P. RUMI. *Incorporación de fósforo en compuestos de tejido de repollo.* — Revista de la Facultad de Agronomía (3ª ép.), 35 (2): 157-167, La Plata. 1959.
- SVIRIDOVA, I. K. *Results of a study of the washing of nitrogen and ash elements from the crowns of trees by rain.* — Doklady 133, N^{OS} 1 al 6: 167-169. 1961. Traducción de Am. Ins. Biological Sciences.
- TAMM, C. O. *Removal of plant nutrients from tree crowns by rain.* — Physiol. Plantarum 4: 184-188. 1951.
- TUCKEY, H. B., S. H. WITTEW, F. G. TEUBNER AND W. G. LONG. *Utilization of radioisotopes in resolving the effectiveness of foliar absorption of plant nutrients.* — Proceedings of the International Conference on the Peaceful uses of the Atomic Energy. 12. 1956.
- WILL, G. M. *Removal of mineral nutrients from tree crowns by rain.* — Nature 176: 1180. 1955.