

CUANTIFICACIÓN MEDIANTE LISÍMETROS DEL LAVADO DE BASES EN SUELOS, BAJO DOS REGÍMENES HÍDRICOS

Casanova O. N¹., Ferrando M. G¹.

Recibido: 11/07/02 Aceptado: 14/08/03

RESUMEN

Bajo el régimen de precipitaciones de Uruguay, el lavado o lixiviación de cationes con el agua de drenaje, resulta en una paulatina desaturación del suelo, especialmente en suelos de baja CIC. Finalmente, este proceso puede conducir a un enriquecimiento en cationes de las napas profundas, acidificación del suelo y una pérdida de la fertilidad natural. Cinco suelos agrícolas representativos del Uruguay, fueron evaluados durante tres años, mediante el uso de lisímetros. Los tratamientos fueron 1) testigo con lluvia natural, 2) aplicación adicional de 150 mm de riego luego de la siembra, con cuatro repeticiones. La rotación anual de uso del suelo, fue un cultivo de invierno (cebada) y barbecho en verano. Todos los lisímetros fueron fertilizados con 100kg ha⁻¹ de N y de P, a la siembra del cultivo. Luego de cada evento de lluvia, se determinó el total de agua de drenaje y su concentración en Ca, Mg, K y Na. Se observaron diferencias en el total de bases lixiviadas, asociadas al tipo de suelo, material de origen y régimen hídrico. El total lixiviado en los tres años evaluados, varió entre 288 y 617kg ha⁻¹ de bases. Calcio (55-351kg ha⁻¹) y sodio (11-314kg ha⁻¹), fueron los elementos más contrastantes, mostrando una estrecha relación con el tipo de suelo. Para el período estudiado, el lavado de bases no fue de tal magnitud, como para afectar significativamente las cantidades intercambiables en el suelo.

PALABRAS CLAVE: Lixiviación, Bases Intercambiables, Desaturación.

SUMMARY

QUANTIFICATION OF LEACHING OF BASES IN SOILS USING LYSIMETERS UNDER TWO HYDRIC REGIMES

Under the Uruguayan precipitation regime, cations leaching with drainage water could result in increasing soil desaturation, specially in low CEC soils. Ultimately, this process could lead to cations enrichment of underground water, increased soil acidity and loss of soil fertility. During three years, undisturbed cores of five different Uruguayan soils were evaluated in lysimeters. Treatments were 1) natural rain, and 2) 150 mm of irrigation in addition to natural rain, after crop planting, with four replications. Annual crop rotation was winter crop (barley) and summer fallow. All lysimeters received 100kg ha⁻¹ of N and P applied at planting. After each rainfall event, water drainage load and Ca, Mg, K and Na concentration in the drainage water were measured. Differences were found in total cations leaching, related with soil type, parent material and hydric regime. The total three years loss of bases varied between 288 and 617kg ha⁻¹. Calcium (55-351kg ha⁻¹) and Sodium (11-314kg ha⁻¹), were the most contrasting elements, and this difference was related to soil type. At least for the period of study, the amount of cations leached from soil were not enough to significantly affect their exchangeable amount in soil.

KEY WORDS: Leaching, Exchangeable bases, Desaturation.

¹Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Av. Garzón 780. CP 12900. Montevideo, Uruguay.

INTRODUCCIÓN

En las condiciones de clima templado-húmedo del Uruguay, con 1200 mm de precipitación promedio anual y una distribución de lluvias muy errática, pueden lavarse cantidades importantes de cationes con el agua de drenaje, resultando en una paulatina desaturación del suelo. Dada la variabilidad de suelos de nuestro país, con diferente capacidad de intercambio catiónico (CIC) a pH=7, que van desde 4 a 40 meq.100g⁻¹ de suelo, y muy variables contenidos de arcilla, materia orgánica y óxidos, las pérdidas por lavado (lixiviación), podrían afectar especialmente los suelos con baja CIC y/o saturación en bases.

En el Uruguay, el agua superficial continental generalmente contiene bajos niveles de cationes y nitratos (Perdomo *et al.*, 1998). A nivel de aguas subterráneas la variabilidad del contenido de cationes es realmente importante (Carricaburu, 1998). La riqueza en cationes del suelo está directamente relacionada al material madre (Bossi y Navarro, 1988), el cual, a través de su meteorización, explica los contenidos relativos de cationes en el suelo con respecto al de las capas geológicas subyacentes (Duran, 1991). El agua que reingresa al suelo y posteriormente por drenaje recarga las napas profundas, sufre un enriquecimiento en su contenido catiónico. La presencia de formas solubles e intercambiables diferenciales, genera enriquecimientos heterogéneos que explican parcialmente la riqueza catiónica de las aguas profundas (Casanova y Ferrando, 2001). La influencia relativa del lavado de bases a nivel del suelo, cobra mayor importancia en función de la existencia de un equilibrio físico-químico entre las diferentes formas de cationes: en solución, intercambiables y no intercambiables (Martínez y Bocanegra, 1998). En consecuencia el continuo percolado de agua a través del perfil de suelo resulta relevante respecto a las concentraciones finales de cationes en el agua profunda. Trabajos previos (Méndez Domenech, 1977; Marcos y Paz Gonzales, 1994)

han encontrado una alta correlación entre los cationes presentes en el agua de drenaje, con características de suelo y régimen hídrico. La riqueza en bases, manifiesta tenores elevados de sodio, fundamentalmente en zonas adyacentes a la costa del Río de la Plata. En el resto del país también existen acuíferos con elevados niveles de sodio, pero lo más frecuente es encontrar predominancia de calcio (Carricaburu, 1998). Trabajos previos (Vogt *et al.*, 1994; Berkley, 1999) han encontrado que la pérdida de bases por lixiviación, puede explicar una potencial acidificación del suelo.

El objetivo de esta investigación fue cuantificar las pérdidas de bases por lixiviación de las formas intercambiables, así como la incidencia del régimen hídrico del suelo. Para lograr este objetivo, se evaluó el contenido de bases (Ca, Mg, K y Na) en la solución de drenaje, obtenida con lisímetros, de cinco suelos agrícolas representativos del Uruguay, bajo dos regímenes hídricos, durante tres años.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se usaron cinco suelos agrícolas representativos del Uruguay, con propiedades físico-químicas contrastantes (Cuadros 1 y 2). Se extrajeron un total de 40 muestras imperturbadas (monolitos), las cuales fueron colocadas en cilindros de plástico (pvc) de alta densidad (1cm de espesor), con un diámetro interno de 0.5m y 0.9 m de profundidad (Cameron *et al.*, 1990; Bergström, 1990; Bergström y Johansson, 1991; Persson y Bergström, 1991).

Para evitar posibles pérdidas de agua a lo largo de las paredes del lisímetro, éstos fueron acondicionados sellando la interfase suelo-pvc de la siguiente forma:

- de 0 a 20cm con suelo molido
- de 20 a 80cm, con una mezcla de bentonita y arena en una proporción 1:3.
- de 80 a 90cm, fueron rellenados con arena gruesa y un filtro de malla plástica.

Cuadro 1. Clasificación y textura de los suelos estudiados.

Código Suelo	Suelo/Unidad †	Soil Taxonomy	Textura‡
A	Brunosol/Libertad	Typic Argiudoll	Arcillo Limoso
B	Brunosol/Libertad	Typic Argiudoll	Franco Arcillo Limoso
C	Vertisol/Libertad	Typic Hapludert	Arcilloso
D	Argisol/Algorta	Typic Hapludalf	Franco Arenoso
E	Brunosol/Fray Bentos	Typic Argiudoll	Franco Arcilloso

† (MAP. DSF, 1976).

‡ Horizonte Superficial (0-20 cm).

Cuadro 2. Caracterización química de los suelos estudiados.

Suelo	Profundidad cm	pH agua	MO %	P ppm	CIC	Ca	Mg meq.100 g ⁻¹	K	Na
A	0-20	6.9	3.52	4.2	24.37	11.36	4.64	0.60	0.80
	20-40	6.7	2.03	2.6	33.35	18.84	9.16	0.60	1.88
	40-60	6.8	1.44	2.7	33.35	25.68	10.20	0.60	2.56
	60-80	7.4	0.52	3.2	25.22	24.80	9.52	0.60	2.60
B	0-20	6.3	3.62	3.9	24.37	12.96	5.28	0.76	0.88
	20-40	6.9	2.01	2.7	32.92	19.12	7.68	0.60	1.52
	40-60	7.7	1.39	2.4	32.07	20.00	8.60	0.56	2.20
	60-80	8.3	0.74	2.5	31.21	29.16	8.44	0.60	2.48
C	0-20	6.8	3.10	3.5	27.79	19.04	6.40	0.74	0.64
	20-40	6.8	2.06	2.2	36.34	23.88	8.80	0.56	1.00
	40-60	7.8	1.36	2.5	31.21	27.60	9.12	0.52	1.24
	60-80	8.3	0.74	2.6	32.49	30.80	10.36	0.48	2.04
D	0-20	6.3	2.18	1.7	9.83	4.24	1.00	0.24	0.44
	20-40	6.4	1.39	1.3	11.97	6.60	1.04	0.12	0.28
	40-60	6.2	1.61	1.9	23.51	14.16	2.24	0.20	0.28
	60-80	6.2	0.89	1.6	26.51	16.05	2.68	0.20	0.56
E	0-20	7.1	5.53	3.9	38.63	28.44	2.88	0.90	0.32
	20-40	7.3	3.55	3.0	40.19	31.76	1.52	0.48	0.40
	40-60	8.2	2.28	2.5	40.19	35.08	1.20	0.44	0.20
	60-80	8.7	1.71	2.5	44.04	35.60	1.04	0.48	0.48

En la base fue colocada una tapa de fibra de vidrio con varios orificios para la salida libre del agua de drenaje.

Luego de contruidos, los lisímetros fueron colocados en una estructura permanente diseñada a tales efectos, la cual permite la recolección del agua percolada a través de cada uno de ellos en forma individual (Figura1).

Los lisímetros estuvieron expuestos siempre a las condiciones naturales del clima. Se simuló un sistema agrícola consistente en un período con suelo descubierto (barbecho), y un período con cultivo invernal (cebada), sembrado a mediados de julio y fertilizado con el equivalente a 100kg N.ha⁻¹. En cada suelo se aplicaron dos tratamientos, el primero consistió en un testigo con lluvia natural, y el segundo en la aplicación adicional, luego de la siembra, de 150 mm de riego (con agua desionizada), simulando una mayor precipitación. Al comienzo del experimento se aplicó en todos los tratamientos una dosis de fósforo no limitante (100 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Durante 3 años (1995-1998), se evaluó en forma periódica el volumen del agua de drenaje y su contenido de Ca y Mg (por espectrometría de absorción atómica), y K y Na (por espectrometría de emisión). El contenido de cationes del agua de lluvia (recogida en un área igual a la de los lisímetros), fue descontado en cada muestreo.

Al inicio como al final del período, fueron determinados en los suelos, los contenidos de Materia Orgánica (MO) por el método de Walkley-Black (Nelson y Sommers, 1982), pH en agua por el método potenciométrico, con una relación suelo:solución de 1:2.5 (vol/vol), fósforo asimilable por el método de Bray N°1 (Bray y Kurtz, 1945), capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de Acetato de Amonio 1M a pH 7 (Denis y Freitas, 1976), y contenido de Ca, Mg, K y Na, extraídos con Acetato de Amonio 1M a pH 7, determinando Ca y Mg por espectrometría de absorción atómica y K y Na por espectrometría de emisión.

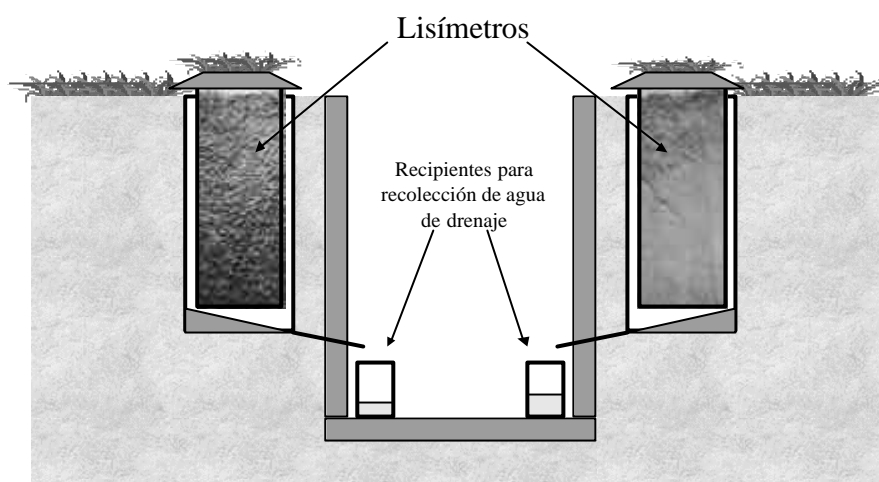


Figura 1. Corte vertical de la estructura permanente de lisímetros, detallando los componentes básicos de la construcción.

Los tratamientos fueron dispuestos al azar y con 4 repeticiones. Para identificar diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizaron los correspondientes análisis de varianza en cada variable estudiada, utilizando el procedimiento GLM (general linear models) del SAS (SAS Institute, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los cuadros 3 y 4, se pueden observar los totales de precipitaciones por semestre y por período evaluado. Los valores mínimos de agua drenada se registraron durante el período estival, comprendido entre los meses de noviembre a marzo. Los valores máximos se observaron durante el período invernal, entre los meses de abril a octubre. La aplicación de riego produjo, en todos los años, un pico de drenaje en el mes inmediatamente posterior a su

aplicación. En ausencia de riego, los volúmenes de drenaje acumulado anual fueron cercanos a un cuarto de las precipitaciones ocurridas en el período, y no difirieron marcadamente entre suelos. El efecto de la aplicación de riego en el volumen anual de drenaje varió con el suelo y el año.

a. Lixiviación de bases y enriquecimiento del agua de drenaje

En la figura 2, se observa la incidencia porcentual de cada catión en la sumatoria de los tres años evaluados.

Las características del suelo son determinantes en los primeros dos años de la evaluación, lo que pondría de manifiesto su incidencia en el proceso de lixiviación. Se observa una clara predominancia de Ca o Na en función del suelo. De acuerdo a los contenidos de cada catión en el suelo, y en función de sus características, se obtuvie-

Cuadro 3. Precipitaciones acumuladas en cada semestre de los años evaluados.

(Fuente: Cátedra de Agrometeorología, Facultad de Agronomía).

Año	Precipitaciones acumuladas (mm)	
	1er Semestre	2º Semestre
1995	563	395
1996	431	452
1997	322	631
1998	630	580

Cuadro 4. Precipitaciones acumuladas en el período evaluado.

(Fuente: Cátedra de Agrometeorología, Facultad de Agronomía).

Período evaluado (julio-junio)	Total de precipitaciones (mm)
95-96	826
96-97	776
97-98	1261

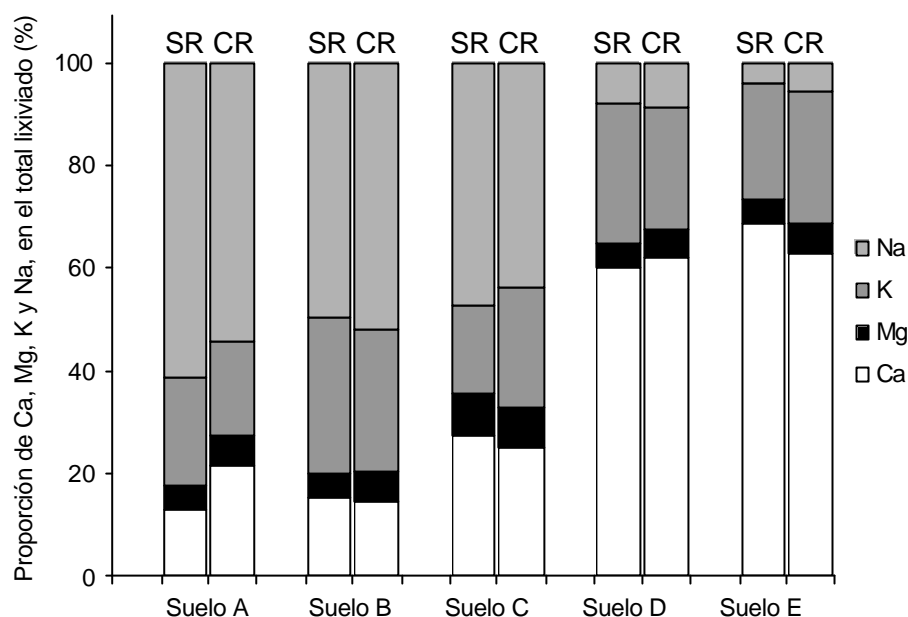


Figura 2. Proporción de Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio, con respecto al total lixiviado en tres años de estas bases. Cada barra representa la distribución promedio de bases lixiviadas en cada combinación de suelo x tratamiento. Los términos SR y CR, ubicados sobre las barras, corresponden respectivamente a los tratamientos sin riego y con agregado adicional de 150mm de agua.

ron valores superiores al 40% de Ca en los suelos A, B y C, y de Na en los dos restantes. Con un régimen hídrico elevado (precipitación más riego), los valores de lixiviación fueron de 505 a 617kg ha⁻¹ de bases en los tres años, lo que demuestra que el proceso estuvo más determinado por este factor.

A partir del análisis del total de bases lixiviadas en función de la CIC del suelo, surge una pobre relación entre las variables, ajustando significativamente el modelo lineal solamente para los tratamientos “con riego” en el primer año ($P \leq 0.06$), “sin riego” al segundo año ($P \leq 0.06$) y “sin riego” en la suma de los 3 años ($P \leq 0.05$). Para el ajuste del modelo, el suelo E fue excluido debido a su apartamiento evidente respecto al comportamiento general, explicado en parte por el elevado contenido de carbonatos de calcio del material madre (Fray Bentos).

Si bien la riqueza en bases del agua de drenaje estaría correlacionada a la CIC del suelo, es más importante el efecto individual de cada catión.

El análisis individual de los diferentes cationes y su presencia en el agua de lavado, demuestra la importancia del contenido de Ca, Mg y Na en el suelo, dejando en evidencia la importancia de las características químicas

del suelo en determinar las cualidades del agua que reingresa al agua profunda.

En las figuras 3 y 4 puede observarse la cantidad total lixiviada de Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio para cada suelo/tratamiento, por año y en todo el período, en función de los contenidos intercambiables de cada catión.

Los resultados de calcio expresados en kg ha⁻¹, muestran un comportamiento diferencial para tipo de suelo y riego. El suelo D, desarrollado sobre areniscas de Cretácico, con baja saturación de calcio respecto a la CIC, presenta un comportamiento que se aparta del resto. Para los 4 suelos restantes se da una elevada asociación entre contenido en el suelo y la riqueza de Ca en el agua de lavado. La inclusión de un régimen hídrico superior genera un efecto similar y de mayor intensidad en los suelos con mayor nivel de Ca intercambiable.

El ajuste del modelo lineal fue muy significativo para todos los años y tratamientos, excepto para “sin riego” en el primer año, en el cual solo se observó una tendencia (probabilidad=11.8%), debido probablemente a la menor magnitud del lixiviado para este caso.

En el análisis anual va perdiendo importancia el factor riego, siendo muy relevante en los dos primeros años, y

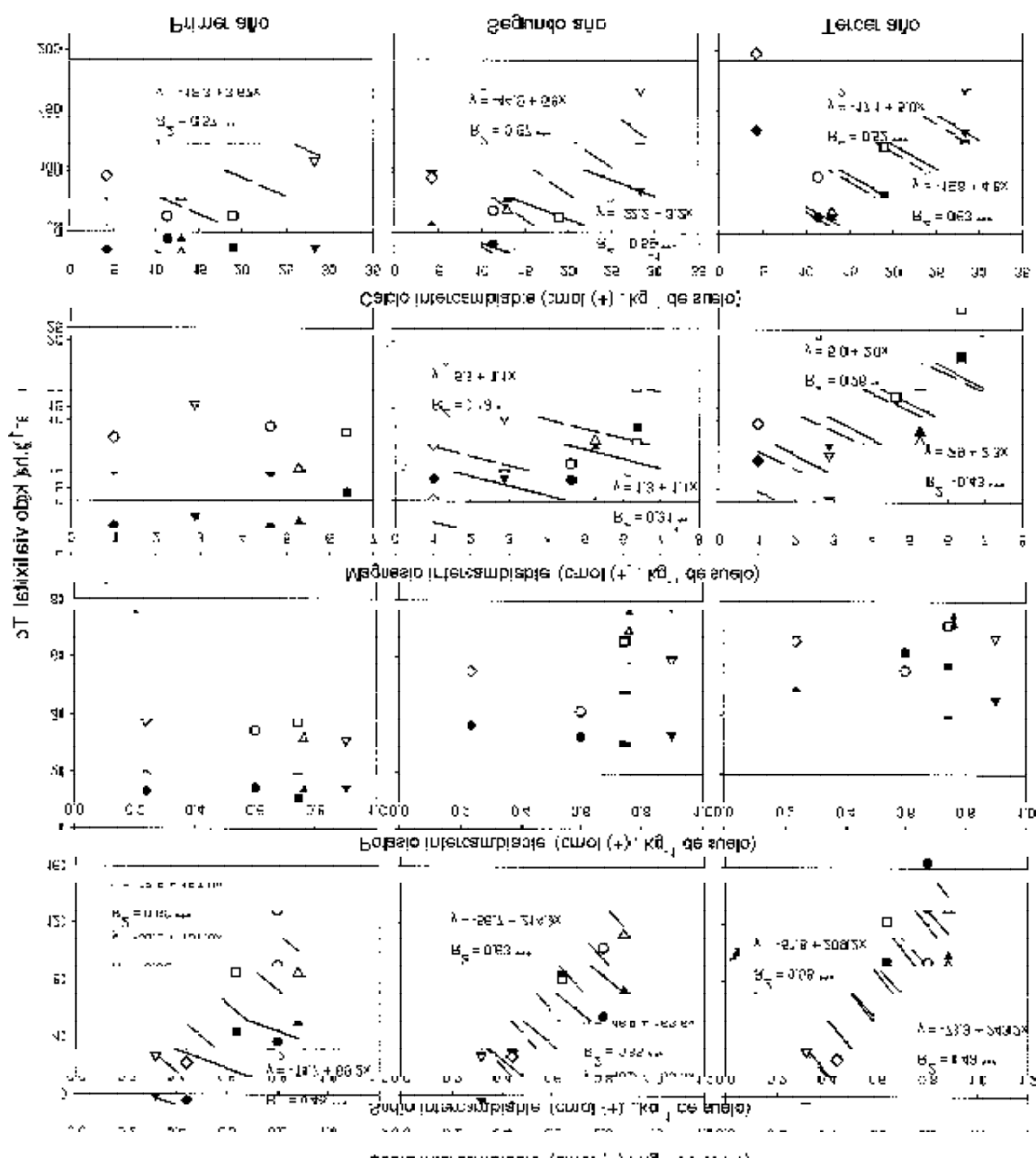


Figura 3. Cantidad total lixiviada de Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio, para cada año evaluado, en función de los contenidos intercambiables. Los puntos representan el promedio de cada combinación suelo x tratamiento. El ajuste del modelo lineal y la significación, fueron calculados utilizando todos los datos. Los símbolos, ●, ▼, ■, ◆ y ▲ representan respectivamente los suelos A, B, C, D y E. Los símbolos en blanco representan los mismos suelos con agregado adicional de 150 mm de agua. Las líneas enteras y cortadas representan las curvas de regresión ajustadas para los tratamientos sin y con agregado adicional de 150 mm de agua.

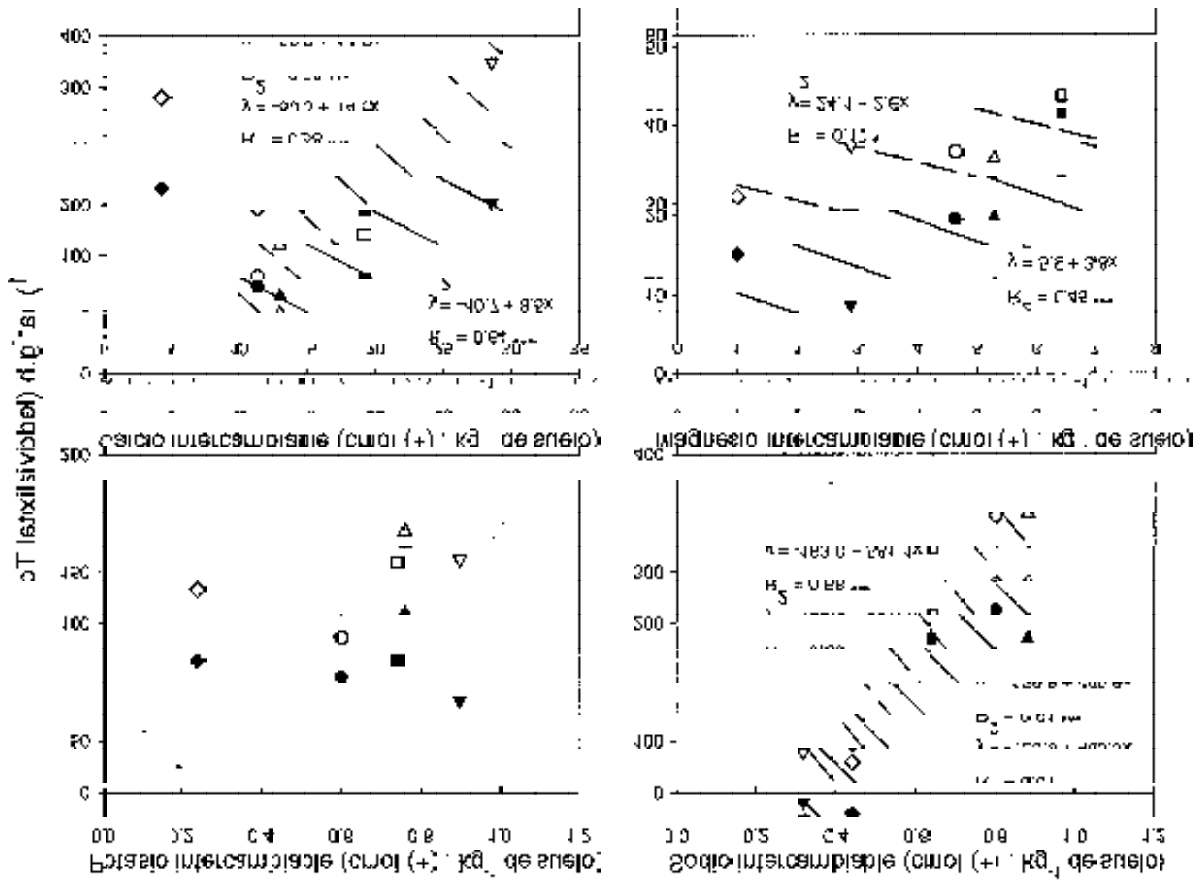


Figura 4. Cantidad total lixiviada de Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio durante tres años, en función de los contenidos intercambiables de cada cation. Los puntos representan el promedio de cada combinación suelo x tratamiento. El ajuste del modelo lineal y la significación, fueron calculados utilizando todos los datos. Los símbolos ◊, ●, ▼, ■, ◆ y ▲ representan respectivamente los suelos A, B, C, D y E. Los símbolos en blanco representan los mismos suelos con agregado adicional de 150 mm de agua. Las líneas enteras y cortadas representan las curvas de regresión ajustadas para los tratamientos sin y con agregado adicional de 150 mm de agua.

de menor magnitud al tercero, como consecuencia de haberse producido abundantes precipitaciones, superiores al promedio histórico de 1200 mm anuales (Cuadros 3 y 4). Las diferencias entre “con” o “sin” riego en el tercer año, resultan poco importantes excepto para el suelo D, siendo esto consecuencia de su textura arenosa, y su baja estabilidad en la retención de cationes bivalentes debido a la pérdida de su materia orgánica.

El alto valor de Ca lixiviado del suelo E, proviene de las propiedades originales de éste, elevada CIC con mayor peso relativo del catión Ca (Cuadro 2).

La movilidad relativa del ion calcio con el agua de drenaje, resultó función del factor tipo de suelo, en referencia

a su textura y/o saturación en calcio. El factor riego fue relevante para los años con bajos niveles de precipitación y al comienzo, cuando partimos de un perfil con baja humedad (desechamiento por manipulación al construir el lisímetro). Independientemente de la fuente de agua (precipitación o riego), existió una incidencia cuantitativa del agua total, sobre la cantidad total de calcio desplazada.

Resulta destacable la poca diferencia en la cantidad de calcio recogida en suelos contrastantes como D y E. Evidentemente, las fracciones de calcio intercambiable y soluble en el suelo, a través de su equilibrio, fueron las determinantes de las diferencias, habiendo existido una menor incidencia directa del material generador del suelo.

Como se observa en las figuras 3 y 4, los tenores de magnesio determinados, son en relación al calcio, menores y menos variables.

Excepto para el suelo E, donde la riqueza relativa en calcio puede explicar el escaso lavado de magnesio, el contenido determinado es función de las características de intercambio de cada suelo y de su material de origen. La tendencia a incrementar las pérdidas en función de las cantidades iniciales en magnesio de los suelos, se ven reflejadas en el segundo y tercer año, en los cuales el modelo lineal presentó un buen ajuste. Al tercer año, no se detectaron diferencias entre “sin” y “con” riego, debido fundamentalmente a la elevada precipitación ocurrida.

El potasio mostró una dependencia elevada al factor riego, y muy baja en relación a los contenidos intercambiables iniciales en el suelo. La diferencia entre suelos, “con” o “sin” riego, no superó el 30%, coincidiendo con lo afirmado por Gerzabek (1995), que no encontró correlación entre el potasio lavado y el tipo de suelo. La dependencia del régimen hídrico pondría en evidencia el lavado continuo y prolongado del potasio, en función de su baja concentración en la solución del suelo. El rango de lixiviación disminuye con el riego, pasando de 65-135 kg ha⁻¹ de K (sin agregado adicional de agua), a un rango más estrecho con riego (110-170 kg ha⁻¹ de K). Evidentemente las diferencias entre suelos y su incidencia en el potasio en solución desaparecen con un régimen pluviométrico elevado. Resultan destacables las cantidades relativas de potasio lixiviado respecto a magnesio, y su consecuencia en el agua profunda.

El sodio resultó ser el elemento con valores más contrastantes de contenidos en el agua de drenaje, mostrando variaciones de 11 a 314 kg ha⁻¹ de Na para el total del período.

El bajo potencial químico y las condiciones agresivas del régimen hídrico, explicarían los valores elevados obtenidos. Características asociadas a la baja riqueza en sodio en los suelos D y E, serían las responsables de su baja lixiviación (Figura 2), aún teniendo características físicas que favorecen este proceso (textura arenosa en D y excelente estructura en E).

El riego, en conjunción con la baja retención del sodio, ayudó a manifestar la diferencia, aún en suelos con limitaciones en su drenaje interno (suelo A). La influencia del material generador común para los suelos A, B y C, reflejado en los valores iniciales de sodio intercambiable, se confirmó en la magnitud del lavado producido.

Para todos los suelos/tratamientos, el ajuste del modelo lineal fue muy significativo, demostrando un mayor lixiviado en función del contenido del Na intercambiable en los suelos, y una interacción positiva con el riego.

b. Evolución de los parámetros del suelo

Los valores finales de los cationes intercambiables, pH y materia orgánica, reflejan cambios importantes para la mayoría de los suelos incluidos, siendo diferente su incidencia sobre los valores característicos de cada suelo (Cuadro 5).

Un cambio similar de los cationes intercambiables resulta de mayor incidencia para un suelo de baja CIC y bases iniciales (suelo D). Esto se refleja en los cambios en los valores de pH, en el impacto de la caída de sus valores y en la relativa importancia del valor final (5.6) para cultivos muy sensibles a la acidez (como alfalfa), lo que implicaría la necesidad de encalar.

Si comparamos la relación entre los cationes bivalentes y monovalentes, al inicio y final del período estudiado, vemos un leve incremento para los suelos D y A, y una disminución para los suelos B y C. Considerando bivalentes sobre Na, cuando existieron variaciones, fueron incrementos relativamente pequeños.

Es de destacar el menor valor de la CIC en todos los suelos al final del período, manteniéndose relativamente constante la suma bases para los suelos A, D y E, disminuyendo en el B y C.

La magnitud del descenso del nivel de materia orgánica en función de mejores condiciones de mineralización refleja igual tendencia. El descenso no es elevado, siendo en función del nivel inicial, de mayor trascendencia para el suelo D (franco arenoso). Los aportes a través de la fertilización (Ca) y la removilización a partir de formas no intercambiables, hicieron sustentable el aporte potencial de los diferentes cationes, haciendo relativamente intrascendente las pérdidas por lixiviación.

En las condiciones templado-húmedas del Uruguay, las pérdidas de bases no reflejan una caída importante de la fertilidad potencial de los suelos estudiados.

La inclusión de un régimen hídrico con riego, no afectó la intensidad de los cambios experimentados por los parámetros edáficos analizados, confirmando un comportamiento más relacionado al tipo de suelo y sus propiedades, que a la intensidad del lavado.

Cuadro 5. Precipitaciones acumuladas en el período evaluado (Fuente: Cátedra de Agrometeorología, Facultad de Agronomía).

Suelo		pH	MO %	CIC -----	Ca meq.100 g ⁻¹	Mg	K	Na -----
A	Valor Inicial	6.9	3.52	24.37	11.36	4.64	0.60	0.80
	Final sin riego	6.3	2.82	21.83	12.40	3.96	0.52	0.56
	Final con riego	6.2	3.17	21.40	12.40	3.96	0.48	0.52
B	Valor Inicial	6.3	3.62	24.37	12.96	5.28	0.76	0.88
	Final sin riego	6.1	3.10	23.97	12.40	3.72	0.64	0.40
	Final con riego	6.2	3.10	22.68	12.40	3.60	0.76	0.40
C	Valor Inicial	6.8	3.10	27.79	19.04	6.40	0.74	0.64
	Final sin riego	6.2	3.09	27.39	16.80	5.20	0.72	0.40
	Final con riego	6.3	3.10	26.11	15.60	4.64	0.60	0.40
D	Valor Inicial	6.3	2.18	9.83	4.24	1.00	0.24	0.44
	Final sin riego	5.7	1.90	8.56	4.40	0.84	0.16	0.28
	Final con riego	5.6	1.98	8.42	4.40	1.00	0.24	0.24
E	Valor Inicial	7.1	5.53	38.63	28.44	2.88	0.90	0.32
	Final sin riego	6.5	5.15	35.95	29.20	2.08	0.88	0.28
	Final con riego	6.5	4.83	37.24	29.20	2.44	0.86	0.32

CONCLUSIONES

Se observaron diferencias en el total de bases lixiviadas, asociadas al tipo de suelo, material de origen y régimen hídrico. El total lixiviado en los tres años evaluados, varió entre 288 y 617 kg ha⁻¹ de bases.

El proceso de lixiviación en el período estudiado, superó (en la mayoría de los casos), lo que promedialmente podría extraer un cultivo extensivo anual como la cebada (para un rendimiento de 2000kg de grano.ha⁻¹, extrae 50 kg de K, 13kg de Ca y 7 kg de Mg, Malavolta, 1976), no incidiendo en forma importante en los valores intercambiables en el suelo.

En función de los valores iniciales, las pérdidas relativas entre suelos serán más relevantes cuando estos presenten valores de CIC, pH y contenido de bases, medios a bajos (suelos desaturados lixiviados).

Desde el punto de vista de los cationes individuales, Calcio y Sodio mostraron las mayores variaciones cuantitativas (de 55 a 351 kg ha⁻¹ y de 11 a 314 kg ha⁻¹ respectivamente).

Las características de las aguas profundas serán el resultado de la capacidad de ésta de lavar cationes en su desplazamiento vertical, y de la oferta de formas catiónicas que identifiquen un sitio dado (suelo, material geológico, régimen hídrico).

BIBLIOGRAFÍA

- BERGSTRÖM, L. 1990. Use of Lysimeters to Estimate Leaching of Pesticides in Agricultural Soils. *Environmental pollution*. 67: 325-347.
- BERGSTRÖM, L. y JOHANSSON, R. 1991. Leaching of Nitrate from Monolith Lysimeters of Different Types of Agricultural Soils. *J. Env. Quality*. 20: 801-807.
- BERKLEY, L. 1999. Water and Soil Chemistry of the Smith Experimental Forest, West Whately, MA. <http://keck.carleton.edu/symposium/99/LynnBerkley.html>
- BOSSI, J. y NAVARRO, R. 1988. Geología del Uruguay. Universidad de la República. Departamento de Publicaciones. Montevideo Uruguay. 970 p.

- BRAY, R.H. y KURTZ, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.*, Baltimore, v.59, p.39-45.
- CAMERON, K.C.; HARRISON, D.F.; SMITH, N.P. y McLAY, C.D.A. 1990. A method to prevent edge-flow in undisturbed soil cores and lysimeters. *Aust. J. Soil Res.*, 28: 879-86.
- CARRICABURU, J. Calidad de agua para riego. En: Congreso latinoamericano de hidrología subterránea (4º, 1998, Montevideo, Uruguay), 1998. 3: 1107-1122.
- CASANOVA O. y FERRANDO M. Contenido diferencial de Ca, Mg, K y Na en el agua de drenaje determinada mediante lisímetros. En: Encuentro de las Aguas (III, 2001, Santiago, Chile), 2001. p60.
- DENIS, J. y FREITAS, F. 1976. *Physical and Chemical Methods of soil and water analysis*. Roma, FAO. 275p. Soil Bulletin 10.
- DURÁN, A. 1991. Los suelos del Uruguay. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 399p.
- GERZABEK, M.H. 1995. Leaching of Potassium in a Lysimeter Experiment. *Potash Review*. International Potash Institute. N°2.
- MALAVOLTA, E. 1976. *Manual de Química Agrícola, Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solos*. Ed. Agronómica Ceres. San Pablo Brasil. 528 p.
- MARCOS, M^a. L.F. y PAZ GONZÁLEZ, A. 1994. Cation leaching from two soils located in lysimeters since 1988 to 1990 in a long-term experiment. *Arochimica*, Vol. XXXVIII - N°5-6: 341-354.
- MARTÍNEZ, D.E. y BOCANEGRA, E.M. Procesos de intercambio catiónico en el acuífero de Mar del Plata, Argentina. En: Congreso latinoamericano de hidrología subterránea (4º, 1998, Montevideo, Uruguay), 1998. 3: 1385-1399.
- MÉNDEZ DOMENECH, E. 1977. Estudio lisimétrico del lavado de cationes en dos suelos de la provincia de Lugo. *Trabajos Compostelanos de Biología*. 6, 57.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo, Uruguay. v1 y v2.
- NELSON, D.W. y SOMMERS, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: PAGE, A.L., ed. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Madison. American Society of Agronomy, p. 539-579. *Agronomy Monograph* N° 9.
- PERDOMO, C.H.; CASANOVA, O.N. y CIGANDA, V.S. Relevamiento de contaminación de aguas con NO₃- en distintas zonas del Uruguay. En: Congreso latinoamericano de hidrología subterránea (4º, 1998, Montevideo, Uruguay), 1998. 2: 962-971.
- PERSSON, L. y BERGSTRÖM, L. 1991. Drilling method for collection of undisturbed soil monoliths. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 285-287.
- VOGT, R. D.; SEIP, H. M.; PAW_LOWSKI, L.; KOTOWSKI, ØDEGÅRD, M. S.; HORVÁTH, A. y ANDERSEN, S. 1994. Potential acidification of soil and soil water: A monitoring study in the Janow Forest, southeastern Poland. *Ecological Engineering*, 3, 255-266.
- SAS INSTITUTE. 1985. *SAS/STAT Guide for Personal Computer*. Version 6 Edition. SAS Inst., Cary, NC.