

EFECTO DE LA CORRIENTE ELECTRICA CONTINUA EN EL MEJORAMIENTO DE UN SUELO SODICO DEL VALLE DEL CAUCA EN CONDICIONES DE CAMPO

José Joimer Tovar S.*

Adel E. González M.**

COMPENDIO

En el presente trabajo se evaluaron la influencia de la corriente eléctrica continua en el mejoramiento de un suelo sódico a nivel de campo (parcelas comerciales) y el rendimiento en el cultivo de pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) inmediatamente después del respectivo tratamiento. El tratamiento A correspondió a la aplicación de corriente eléctrica continua de 100 mA por electrodo (varilla) para un total de 4 A por tratamiento por espacio de 360 horas (15 días); en el tratamiento B el orden fue el mismo que para el tratamiento A pero por espacio de 240 horas (10 días); el Tratamiento C fue un testigo con drenaje sub-superficial y el tratamiento D correspondió al testigo absoluto. Con la efectividad de los tratamientos A y B se logró un mejoramiento de los suelos tanto en desalinización como desodificación disminuyendo la relación Ca/Mg, modificaciones en las bases intercambiables tanto en la suma como en la proporción en que se encuentra cada uno de ellos, sucediendo todo lo contrario para los testigos.

ABSTRACT

Two main points were examined in this work; the influence of a direct electric current in the melioration of a sodic soil under field conditions (Comercial plots), and the yield of the estrella grass (*Cynodon plectostachyus*) immediately after treatment. The A treatment corresponded to an application of direct electric current of 100 mA using a bar electrodo to complete 4 A per treatment during 360 hours (15 days); B treatment was as treatment A but for 240 hours (10 days); C treatment was for a control check having a sub-surface shallow drainage and D treatment corresponded to the absolute control check. With the effectiveness of A and B treatments a soil reclamation was obtained with desalinization and desodification decreasing the Ca/Mg ratio changing the exchangeable bases either for total sum of cations as for the proportion of each one of them; contrary effects occurred for the control check.

* Estudiante de Post-grado . Universidad Nacional de Colombia . A . A . 237 , Palmira

** Profesor Titular . Universidad Nacional de Colombia -Palmira .

1. INTRODUCCION

Entre los métodos más comunes para recuperar suelos con problemas de sales se encuentran los físicos, los biológicos, los eléctricos, los químicos y los hidrotérmicos. Generalmente, la recuperación de estos suelos se ha llevado a cabo con lavados y/o aplicaciones de correctivos químicos, presentando como inconvenientes el aporte de material nocivo (p. ej., sulfato de aluminio) para el desarrollo de las plantas. La electrólisis presenta las ventajas de rápido desplazamiento de las sales, uso de menor cantidad de agua en la recuperación, no aporte de residuos perjudiciales, mejoramiento de la estructura del suelo.

A continuación se mencionan algunos experimentos de remoción de cationes mediante la acción de una corriente eléctrica. Puri (1949), en ensayos de laboratorio y de campo, logró incrementos en la tasa de percolación y cambios químicos importantes en el complejo de cambio de los suelos, cuando se les aplicó una corriente eléctrica continua en condiciones de sobre-saturación. Vadyunia (1968), en un experimento con columnas de suelo de 15 x 15 x 100 cm, registró que la corriente eléctrica aceleró el lavado de sales debido a un movimiento dirigido de iones (electrólisis) y de la solución del suelo (electroósmosis) hacia el cátodo-dren. La corriente influyó sustancialmente en el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo; disminuyó el contenido de agregados finos y aumentó la conductividad del agua en el suelo, facilitando el lavado de los suelos impermeables. El efecto de mejoramiento fue casi proporcional a la cantidad de la electricidad pasada a través del suelo.

Berenzin (1968) realizó un experimento de campo en una parcela de cuatro hectáreas, con suelos que tenían hasta 60 o/o de sodio absorbido. La energía consumida durante 650 horas, se contabilizó alrededor de mil kilovatios-hora por hectárea. El contenido de sodio disminuyó en 12-20 o/o con el tratamiento de lavado sin corriente eléctrica y en 20-25 o/o con el de lavado y corriente eléctrica.

El-Sawaby (1977) al aplicar una corriente eléctrica (0.1 a 0.2 mA/cm²) redujo el pH, el Na⁺, CO₃²⁻, HCO₃⁻ intercambiables y aumentó el Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ intercambiables especialmente con el uso de la corriente de mas alta densidad.

Buronskii (1978), en un experimento de campo encontró que la desalinización eléctrica fue posible en suelos con cloruros y sulfatos, con un contenido inicial de 0.25 a 0.30 o/o de ión cloruro a una profundidad de un metro y propiedades de filtración satisfactorias, consumiendo de 6000 a 10000 kw-ha durante un período de 1.0 a 1.5 meses.

La electrólisis es un método relativamente novedoso del cual poco se conoce en nuestro país; además, su aplicación permitiría incorporar a la explotación agropecuaria aquellos suelos que están afectados por salinidad y/o alcalinidad. Teniendo en cuenta los planteamientos anteriores, en esta investigación, se pretende evaluar la influencia de la corriente eléctrica continua en el mejoramiento de un suelo sódico, a nivel de campo (parcelas comerciales) y evaluar el rendimiento del pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*), cultivado después del tratamiento.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.2. Generalidades

El área de estudio se localizó en la parcelación 1 y 2 de "El Diamante", propiedades del Instituto Colombiano de la Reforma Agraria - INCORA, ubicada en el Distrito de Riego de Roldanillo - La Unión - Toro (R U T), al noroeste del Departamento del Valle del Cauca, enmarcado por la margen izquierda del río Cauca y las estribaciones de la Cordillera Occidental. La unidad del paisaje se denominó llanura de desborde del río Cauca.

El experimento se realizó en un suelo perteneciente a la serie Canela (Cla) arcilloso, montmorillonítico Isohipertérmico, Vertic-Ustropept (Inceptisol) en una extensión de

10.000 metros cuadrados (una hectárea), para un área útil de 8.598 metros cuadrados. La condición sodica del suelo limitaba el desarrollo del pasto argentina (*Cynodon dactylon*) y la germinación no ocurría en algunos sitios.

Se usó un generador portátil de corriente alterna de cuatro tiempos, movido por gasolina con una capacidad de 6.5 litros para 4.5 horas de funcionamiento, con una potencia de 120 w.

2.2. Metodología

2.2.1. Preparación del suelo

Para la preparación del suelo se requirió de una arada con discos a una profundidad de 0.30 metros: seis pases de rastrillo en cruz y una micronivelación; después de esto fue necesario conformar caballones demarcando las parcelas y a su vez conformando pequeñas piscinas con el fin de poder conservar la lámina de agua que se requería (500 - 600 metros cúbicos por hectárea). La red de drenajes entubados sub-superficiales se colocaron a una distancia de 10 metros y se enterraron a 0.30 m, con una longitud promedio de 60 m.

El área experimental se dividió en cuatro parcelas de 1600 metros cuadrados, donde se efectuaron los tratamientos con corriente eléctrica continua, y una parcela de 2197 m² como testigo, que a su vez se subdividió en dos, una como testigo con drenaje entubado sub-superficial (1.477 m²) y la otra como testigo absoluto.

2.2.2. Trazado del área experimental

Debido a las características del ensayo (ensayo de tamaño comercial) cada parcela se subdividió en cuatro parcelas de muestreo y de cada una se tomaron tres submuestras (0 - 20 cm), división ésta más hipotética que física, en las cuales se realizaron los correspondientes análisis químicos antes y después de aplicado cada uno de los tratamientos.

Los resultados químicos que se obtuvieron para cada una de las subparcelas se procesaron por parcela (replicación) y posteriormente por tratamiento.

2.2.3. Tratamientos

Se construyó una resistencia eléctrica en cada parcela experimental con 40 varillas de cobre de 3/8 de pulgada de diámetro y 40 cm de longitud, colocadas en posición vertical distribuidas en tres hileras distanciadas cinco metros entre hileras y cinco metros entre varillas. Se enterraron a 0.30 metros y se unieron por medio de un circuito paralelo con alambre de cobre calibre 16, que al final se unió al polo positivo de la fuente. En P₁ se aplicó una lámina constante de agua de 500-600 m³ por hectárea sobre la superficie del suelo, se aplicó una intensidad de corriente continua de 100 miliamperios por electrodo (varilla) para un total de cuatro amperios por parcela y por espacio de 360 horas (15 días) continuas. Este tratamiento se repitió en P₃.

En P₂ se aplicó la corriente por espacio de 240 horas (10 días) continuos. Este tratamiento se repitió en la parcela experimental P₄.

La parcela testigo se dividió en dos subparcelas: la primera (P₅) con tubos de drenaje sub-superficial y la segunda (P₆) con condiciones naturales (testigo absoluto) se le aplicó una lámina constante de agua de 500-600 m³ /ha sobre la superficie durante quince días consecutivos.

Las repeticiones de los tratamientos con corriente se iniciaron un día después de finalizados los tratamientos en las parcelas experimentales P₁ y P₂.

Por lo anterior los tratamientos se discriminaron de la siguiente manera:

$$A = \frac{P_1 + P_3}{2}, \quad B = \frac{P_2 + P_4}{2}$$

$$C = P_5$$

$$D = P_6$$

2.2.4. Análisis químico

En 50 muestras de suelo se determinaron el pH (1:1), cationes intercambiables (Ca, Mg, Na, K), porcentaje de materia orgánica, fósforo asimilable, pH del extracto de saturación, conductividad eléctrica del extracto de saturación y además cationes y aniones solubles Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , CO_3^{--} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{--} .

En 33 muestras de agua drenada del área experimental y tres (3) del agua utilizada para riego o lavado, tomadas cada 5 días, se determinaron la C E (mmhos/cm - 25° C), pH, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , CO_3^{--} , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{--} .

2.2.5. Siembra del pasto estrella

El pasto estrella se plantó una vez terminados los tratamientos y drenadas las parcelas. Se esperó durante 3 meses el establecimiento del mismo. Se seleccionó esta especie vegetal por cuanto su sistema radical se adaptaba a la profundidad en proceso de recuperación como también por la capacidad de resistencia a condiciones relativamente adversas de contenidos de sales y/o sodio. Los cortes se hicieron a los tres y cuatro meses.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Análisis de suelos

Según el análisis químico de las condiciones iniciales (Cuadro 1), el suelo se caracterizó como sódico, con buen contenido de calcio, magnesio y potasio; relación calcio a magnesio entre 1.6 y 2.93. Los porcentajes reales de saturación de sodio, calculados en relación con la sumatoria de bases, fueron de 35.92 o/o para el tratamiento A, 42.16 o/o para el tratamiento B, 29.38 o/o para el tratamiento C y de 5.49 o/o para el tratamiento D. En cuanto a los iones solubles dominaban el sodio y los sulfatos. La relación de adsorción de sodio (RAS) varió entre 1.26 (tratamiento D) y 8.57 (Tratamiento C).

La relación de adsorción de sodio (RAS) se incrementó al aplicar la corriente eléctrica (Cuadro 2) pasando de 5.8 a 7.6 en el tratamiento A y de 6.1 a 9.4 en el tratamiento B, debido al aumento de sodio en la fase soluble. Es decir, que las parcelas tratadas con corriente tuvieron cambios químicos favorables al reducirse los porcentajes reales de saturación de sodio a 32.85 (A) y 34.86 (B). Aunque en el tratamiento C la disminución no fue significativa (0.6 me Na/100 gramos), en el tratamiento D ocurrió un ligero incremento pasando a 5.80 o/o.

La disminución de sodio real del complejo de cambio fue del orden de 2.5 (A) y 3.4 me/100 g de suelo (B), lo cual significa que suponiendo el peso de una hectárea a 20 cm de profundidad en 2.800 toneladas, esos desplazamientos serían equivalentes a 5.07 y 8.18 toneladas de yeso, pero además del tiempo requerido para su reacción química.

En las figuras 1 y 2 se aprecian los cambios en algunas determinaciones para los diferentes tratamientos. El pH presentó cierto incremento probablemente a raíz del aumento del Mg en el complejo real de intercambio, excepto para el tratamiento A. Aunque en este tratamiento el sodio en la fase soluble varió de 3.9 a 5.4 y en el tratamiento B de 3.6 a 6.2, comportamiento que refleja la influencia del tratamiento con corriente eléctrica continua. En cuanto a la salinidad se produjo mejoramiento de los suelos en todos los tratamientos se registró también ligero incremento para el potasio y decremento en los porcentajes reales de saturación de sodio, excepto para el tratamiento C o testigo absoluto. El calcio intercambiable sufrió variación inversa a la del sodio, es decir aumentó su concentración en el complejo de intercambio, siendo mayor su aumento porcentual en los tratamientos A y B.

El mayor desplazamiento de Na en los tratamientos con corriente eléctrica en comparación con el K, Ca y Mg, puede explicarse por el mayor radio iónico hidratado del Mg respecto al Ca y del Na respecto al K; así, a mayor

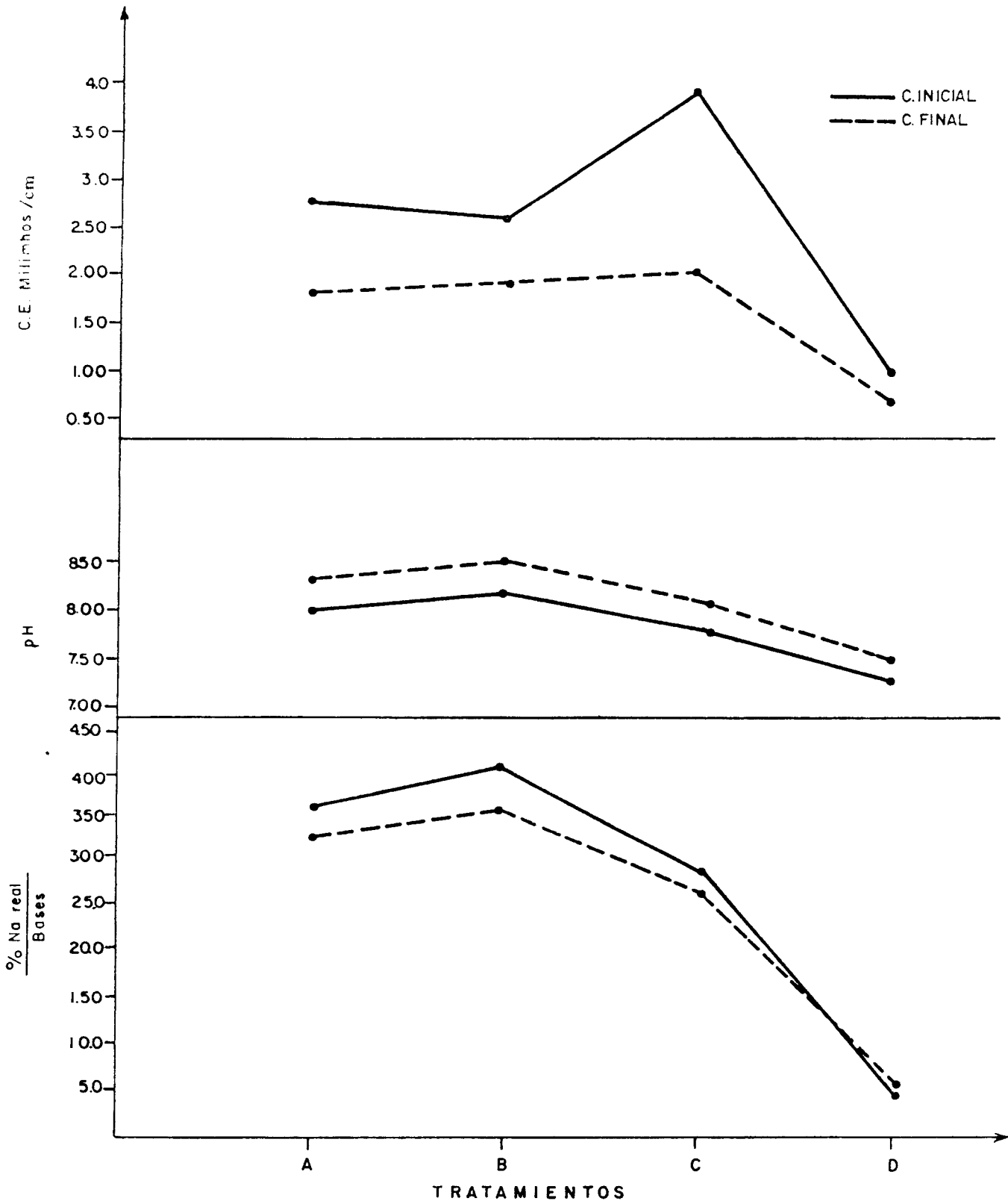


FIG. I. -Variación de la C.E., pH y Na. real (%) por tratamiento.

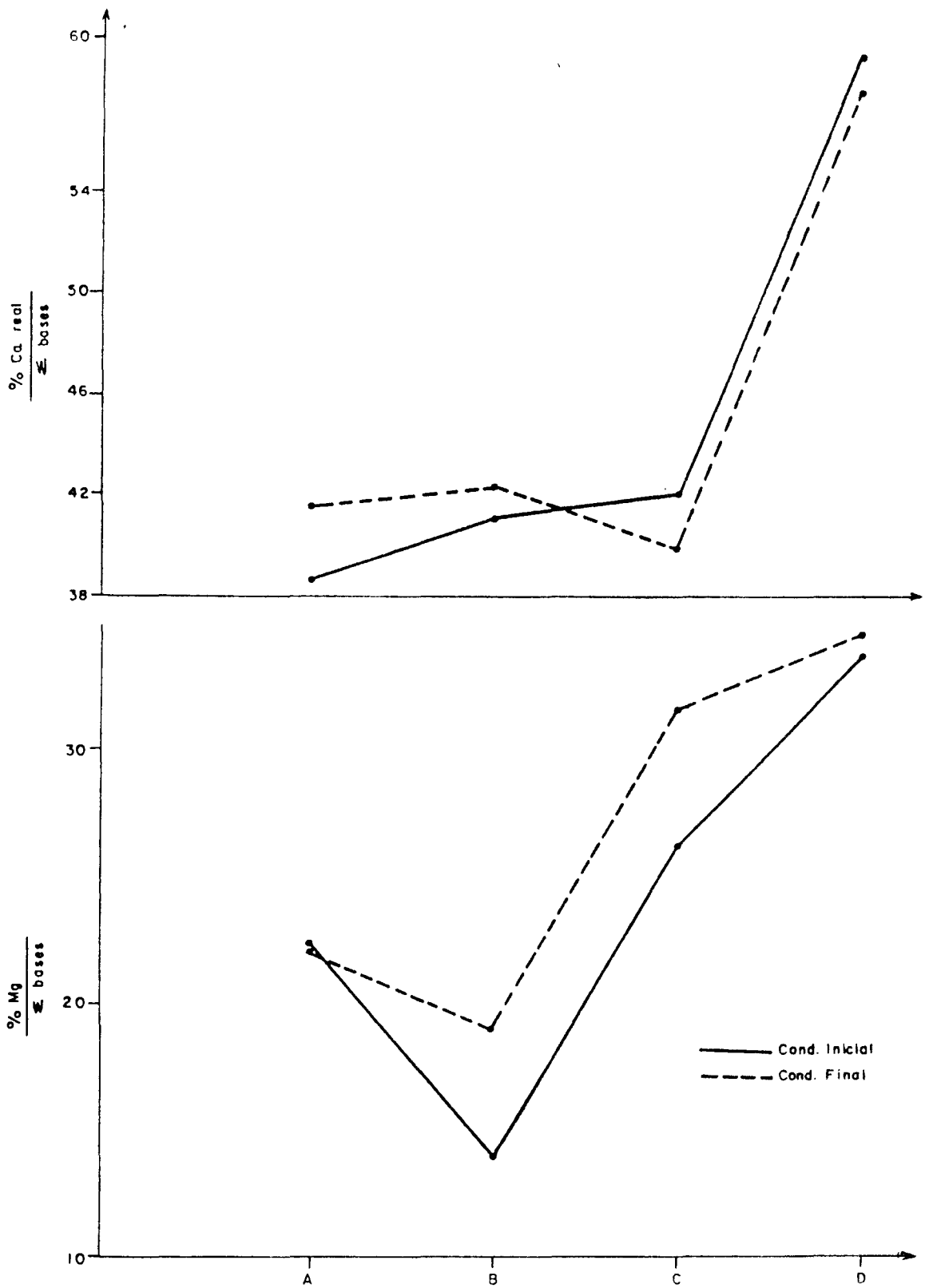


FIG. 2. — Variaciones de los porcentajes de calcio y magnesio reales por tratamiento.

Cuadro 1

Análisis químicos de las condiciones iniciales promedias por tratamiento, presentadas como intercambiables reales y solubles, expresados como me/ 100 gramos de suelo

Tratamientos	Intercambiables reales				Solubles			
	A	B	C	D	A	B	C	D
pH Suelo	8.0	8.2	7.8	7.3	8.02	8.08	7.9	7.75
Ca ⁺⁺	14.4	14.4	14.9	22.6	0.7	0.5	0.7	0.6
Mg ⁺⁺	8.3	4.9	9.3	12.9	0.2	0.2	0.1	0.2
K ⁺	1.2	1.0	0.8	0.6	0.05	0.05	0.04	0.02
Na ⁺	13.4	14.8	10.4	2.1	3.9	3.6	5.4	0.8
CO ₃ ⁻					0.7	0.6	0.5	0.2
HCO ₃ ⁻					1.4	1.8	1.3	0.4
Cl ⁻					0.4	0.5	0.3	0.08
SO ₄ ⁻					2.9	3.3	3.7	0.6
CE milimhos/cm					2.8	2.6	3.9	1.0

Cuadro 2

Análisis químico de las condiciones finales promedios por tratamiento, presentadas como intercambiables reales y solubles, expresados como me/100 gramos de suelo

Tratamientos	Intercambiables reales				Solubles			
	A	B	C	D	A	B	C	D
pH Suelo	8.3	8.5	8.1	7.5	Extr. 8.1	8.3	8.0	8.0
Ca ⁺⁺	14.3	13.8	15.2	21.9	0.5	0.6	0.6	0.3
Mg ⁺⁺	7.6	6.2	12.1	13.1	0.5	0.2	0.2	0.2
K ⁺	1.2	1.3	1.2	0.7	0.08	0.1	0.06	0.03
Na ⁺	11.3	11.4	9.8	2.2	5.4	6.2	3.0	0.6
CO ₃ ⁻					0.8	1.0	0.6	0.3
HCO ₃ ⁻					2.4	2.3	1.1	0.3
Cl ⁻					0.6	0.6	0.2	0.1
SO ₄ ⁻					3.2	3.4	0.9	0.08
CE milimhos/cm					1.8	1.9	2.0	0.7

Cuadro 3

Análisis de agua. Índices de clasificación tratamiento A (aplicación de corriente eléctrica continua durante 15 días) Palmira, 1987

Concepto	Sin corriente	Con corriente eléctrica		
		5 días	10 días	15 días
Clasificación	C ₃ S ₁	C ₂ S ₁	C ₂ S ₁	C ₃ S ₃
C E x 10 ⁶ a 25°C	840.00	630.00	481.00	1815.00
pH	7.30	7.30	7.50	7.40
Ca, en m e/l	1.60	2.30	1.60	1.90
Mg, en m e/l	2.60	1.30	2.10	2.40
Na, en m e/l	6.70	5.10	3.90	17.60
K, en m e/l	0.17	0.10	0.10	0.18
Σ de cationes en m e/l	11.03	8.82	7.72	22.07
CO ₃ , en m e/l	1.10	1.10	1.00	5.20
HCO ₃ , en m e/l	3.70	3.80	2.70	8.80
Cl, en m e/l	1.10	0.67	0.70	1.20
SO ₄ , en m e/l	3.60	1.90	1.40	2.50
Σ de aniones, m e/l	9.60	7.50	5.80	17.80

Cuadro 4

Análisis de aguas. Índices de clasificación tratamiento B (aplicación de corriente eléctrica continua durante 10 días) Palmira, 1987

Concepto	Sin corriente	Con corriente	
		5 días	10 días
Clasificación	C ₂ S ₁	C ₃ S ₁	C ₂ S ₁
C E x 10 ⁶ a 25°C	415.00	770.00	695.00
pH	7.20	7.10	7.00
Ca, en m e/l	2.20	2.60	2.30
Mg, en m e/l	0.50	1.30	3.30
Na, en m e/l	3.00	5.20	3.60
K, en m e/l	0.12	0.15	0.15
Σ de cationes en m e/l	5.82	9.30	9.35
CO ₃ , en m e/l	0.80	1.10	1.10
HCO ₃ , en m e/l	1.75	4.95	1.95
Cl, en m e/l	0.70	0.67	0.75
SO ₄ , en m e/l	2.00	1.85	2.55
Σ de aniones, m e/l	5.24	8.60	6.35

Cuadro 5

Análisis de agua. Índices de clasificación tratamiento C (Testigo con drenaje subsuperficial) Palmira, 1987

Concepto	Sin corriente	Sin corriente		
		5 días	10 días	15 días
Clasificación	C ₂ S ₁	C ₂ S ₁	C ₂ S ₁	C ₂ S ₁
C E x 10 ⁶ a 25° C	320.00	657.00	640.00	480.00
pH	7.10	7.00	7.00	7.10
Ca, en me/l	2.20	2.20	2.20	2.60
Mg, en me/l	0.00	0.80	0.40	0.00
Na, en me/l	2.25	4.70	5.76	3.92
K, en me/l	0.10	0.15	0.17	0.12
Σ de cationes en me/l	4.55	7.85	8.53	6.64
CO ₃ , en me/l	0.40	0.80	2.00	1.40
HCO ₃ en me/l	1.40	4.20	4.10	2.80
Cl, en me/l	0.70	0.70	0.75	0.55
SO ₄ en me/l	1.69	1.64	1.00	1.43
Σ de aniones, me/l	4.19	7.34	7.85	6.18

Cuadro 6

Análisis de agua. Índices de clasificación tratamiento D (Testigo absoluto) Palmira, 1987

Concepto	Sin corriente	Sin corriente	
		5 días	10 días
Clasificación	C ₁ S ₁	C ₂ S ₁	C ₁ S ₁
C E x 10 ⁶ a 25° C	242.00	390.00	240.00
pH	7.00	7.00	7.10
Ca, en me/l	1.60	1.40	1.80
Mg, en me/l	2.20	0.40	0.20
Na, en me/l	1.30	2.40	1.20
K, en me/l	0.10	0.12	0.08
Σ de cationes en me/l	5.20	4.32	3.28
CO ₃ en me/l	0.00	1.20	0.40
HCO ₃ en me/l	1.80	1.20	1.70
Cl, en me/l	0.65	0.55	0.60
SO ₄ en me/l	1.12	1.47	0.61
Σ de aniones en me/l	3.57	4.42	3.31

Cuadro 7

Peso promedio de pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) por tratamiento para primero y segundo corte después del establecimiento

Tratamiento	Corte (kg/parcela)	
	1er.	2o.
A	1536.0	2284.0
B	1550.0	2364.0
C	806.5	677.2
D	437.6	205.1

Nota: En el peso del pasto verde no se incluyó el correspondiente a otras plantas (malezas) diferencia entre corte: 30 días.

radio hidratado, habrá mayor separación entre el catión y las micelas con carga negativa, por lo que resulta menor la fuerza de retención.

3.2. Análisis de aguas de drenajes

En los análisis químicos de las aguas de drenaje se notó fuerte incremento entre los 10 y los 15 días para el tratamiento A, en comparación con los tratamientos C y D. (Cuadros 3, 4, 5 y 6; Fig. 3); tal vez en el tratamiento B no se encontró mayor variación por cuanto solo se estudiaron dos fechas (5 y 10 días), pero sus concentraciones tanto de sales como de sodio fueron ligeramente superiores a los tratamientos C y D.

3.3. Producción de pasto estrella

En la producción del pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*), sin incluir el peso de malezas desarrolladas, se lograron incrementos entre los cortes de 48.69 (A) y 52.51 o/o, (B); mientras para los tratamientos C y D las producciones disminuyeron 16.03 y 53.13 o/o (Cuadro 7).

4. CONCLUSIONES

4.1. La corriente eléctrica continua intensificó la desalinización desplazando las sales hacia el cátodo-dren.

4.2. Los tratamientos con corriente eléctrica continua proyeron en el suelo un mejoramiento en sus primeros 20 cm de profundidad, desplazando el sodio intercambiable.

4.3. El tratamiento B fue mas efectivo que el tratamiento A, en cuanto al contenido real de sodio intercambiable.

4.4. El mayor incremento del sodio evacuado en las aguas de drenaje se presentó en el tratamiento A a los 15 días de aplicada la corriente continua.

4.5. Los desplazamientos de sodio por la corriente eléctrica continua fueron equivalentes, teóricamente, a 5.07 y 8.18 toneladas de yeso por hectárea arable.

4.6. El mayor rendimiento del pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) se alcanzó con el tratamiento B, con un incremento de 48.69 o/o, siguiéndole el tratamiento A con 52.51 o/o entre el primero y el segundo corte. Para los tratamientos C y D los rendimientos disminuyeron 16.03 y 53.13 o/o, respectivamente.

5. BIBLIOGRAFIA

1. BERENZIN, P. N. A field experiment on the electrical melioration of saline (sodium-carbonate-sulfate) solonetzic soils of the karabakh plain of Azarbaijan S.S.R. Soviet soil Science (U.R.S.S.S.) (B): 1957 - 1962. 1.968.
2. BUROMSKII, V. I. Electric desalination and effective means of soil improvement. Nauehno, Tech. Byull Elek S-Kh VII, 1 (34): 54 - 56. 1978.
3. EI - LAKANI, A. A. Influence of electrode materials and use of alternative polarity on the effectiveness of electric reclamation of solonetz. Mosc. Univ. Soil SRI Buit. 32: 30 - 55. 1977.
4. PURI, AN. Soils: their physics and chemistry. New York, Reinhold, 1949. 550 p.
5. VADYUNINA, A. E. Meliorative effect of direct electric current on teaching solonchakous solonetz. In: International Congress of Soil Science, 9th, Adelaide, Australia. Transactions, New York, Elsevier, 1968. v. 1. p. 455-463.