

## SALINIDAD Y ALCALINIDAD EN SUELOS DE LAS ZONAS ARIDAS DE TENERIFE (ISLAS CANARIAS)

C.D. ARBELO, J.L. MORA, A. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, J.A. GUERRA y C.M. ARMAS

Dpto. Edafología y Geología, Facultad de Biología, Universidad de La Laguna, Avda. Astrofísico Francisco Sánchez s/n, 38204, La Laguna, Tenerife (Islas Canarias)  
antororo@ull.es

**Abstract.** Salin-sodic soils in the low-lying areas of the Canary Islands have limited productivity. This work is intended to further knowledge of the origin and nature of the salinity-sodicity that affects the soils quality in an arid zone of the Tenerife Island. The surface horizon of non-cultivated soils was sampled, and properties related to the saline-sodic state of the soils were analysed and their relationship with diverse environmental factors: proximity to the sea, altitude, topographic position, past land use, geological formations were recorded. The results show that salinity-sodicity is related to sea-born salts, and sodicity-alkalinity derived from the presence of phonolitic ash (pumice) as the material of origin (only when salinity is low). Salinity-sodicity appears to have influenced by the abandonment of the farmland by cultivation. Sodic-alkaline soils have also low-fertility problem.

**Key words:** Salinity, sodicity, alkalinity, abandoned farmland, Canary Islands

**Resúmen.** Las áreas costeras de las Islas Canarias se caracterizan por la existencia de suelos salino-sódicos con muy baja productividad. Con este trabajo se pretende contribuir a conocer el origen y la naturaleza de la salinidad-sodicidad que afecta a los suelos de las zonas áridas de la isla de Tenerife. Se muestreó el horizonte superficial de suelos naturales (no cultivados) analizándose todas aquellas propiedades relacionadas con el estado salino sódico de los mismos y las características ambientales más importantes: proximidad al mar, altitud, posición topográfica, usos históricos del suelo y materiales geológicos. Los resultados muestran que la salinidad-sodicidad está relacionada a la existencia de sales de origen marino aportadas por la maresía y la sodicidad-alkalinidad se deriva, en la mayoría de los casos, de la presencia de cenizas fonolíticas (pumitas) como material de origen (sólo cuando la salinidad es baja). La salinidad-sodicidad de los suelos parece ser una de las principales causas del abandono de los cultivos. Los suelos sódico-alkalinos tienen también problemas de baja fertilidad.

**Palabras clave:** Salinidad, sodicidad, alcalinidad, terrenos abandonados, Islas Canarias

### INTRODUCCIÓN

Los problemas de salinidad y sodicidad son frecuentes en los suelos de regiones áridas, limitando su fertilidad química y confiriéndoles unas propiedades físicas desfavorables (dete-

rioro de la estructura, formación de costras y sellado superficial y baja capacidad de infiltración de agua) que facilitan la incidencia de los procesos de desertificación. Las fuentes más comunes de sales son los materiales geológicos, la atmósfera, las aguas de escorrentía, las

aguas subterráneas y los residuos vegetales. Otros factores tales como la topografía, las características edáficas o las actividades humanas (deforestación, agricultura) pueden favorecer la acumulación de sales solubles y/o sodio en el suelo (Dregne, 1976; Knight, 1991).

En las Islas Canarias importantes zonas en las regiones costeras están afectadas de manera natural por procesos de salinidad y sodicidad en los suelos. Estas áreas se caracterizan por lluvias escasas e irregularmente repartidas en el tiempo y una elevada exposición a los vientos oceánicos. En estas áreas la principal fuente de sodio y otros iones a los suelos está relacionada con la influencia marina y la salinidad y sodicidad se ve favorecida por el clima árido y la baja permeabilidad de los mismos (González Soto *et al.*, 1991; Rodríguez Rodríguez *et al.*, 1998). El problema se agudiza en

los terrenos de cultivo debido a la utilización de sistemas de riego localizado con aguas de elevada salinidad y el uso masivo de fertilizantes inorgánicos (Vargas Chávez, 2001)

El objetivo principal de este trabajo fue el de evaluar el estado salino-sódico de los suelos naturales de una zona árida de la isla de Tenerife y establecer relaciones con diversos factores ambientales tales como la naturaleza del material geológico, la altitud y distancia al mar, textura y uso de los suelos.

### AREA DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en la vertiente sudeste isla de Tenerife (Islas Canarias), a altitudes comprendidas entre el nivel del mar y 400 m.s.n.m (Figura 1).

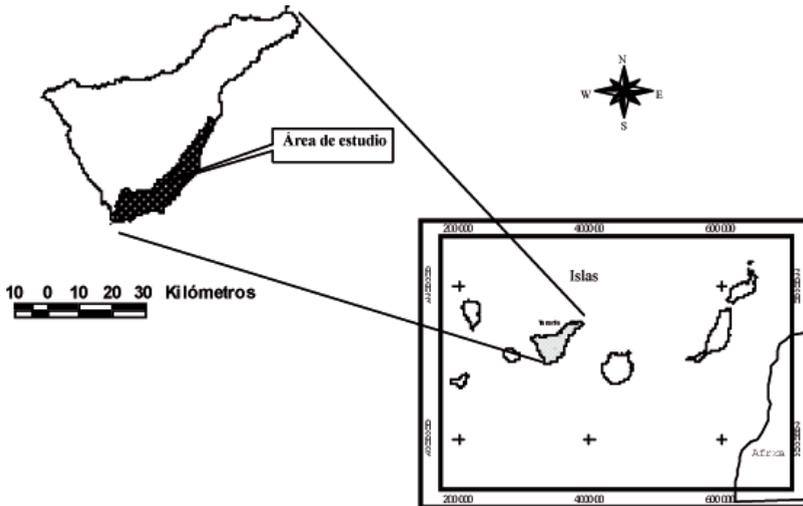


FIGURA 1.- Localización del área de estudio

La geología de la zona es compleja y está constituida por un mosaico de acumulaciones de cenizas fonolíticas (pumitas), intercaladas con coladas de lavas basálticas de edades variadas y varios enclaves de fonolitas máficas y traquibasaltos (Carracedo, 1985). El edafoclima es árido y térmico. Los suelos predominantes en la zona son Leptosoles, Regosoles,

Cambisoles éutricos, Calcisoles lúvicos y Calcisoles pétricos (Rodríguez Rodríguez y Mora, 2000)

El bioclima dominante en el área es Inframediterráneo árido, desértico. La vegetación natural, aunque muy degradada, todavía es posible encontrarla en estas zonas y es una vegetación dispersa, xerofítica y dominada por

*Euphorbia balsamifera* Aiton, *E. obtusifolia* Poir. and *Launaea arborescens* (Batt.) Murb., entre otras. Los suelos de estas zonas se han dedicado tradicionalmente a la agricultura de secano y más recientemente a la agricultura intensiva de regadío. Los cambios sociales y económicos de la segunda mitad del siglo XX, llevaron al abandono de una parte significativa de estos terrenos, quedando los suelos a merced de procesos de salinización y degradación.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se estudiaron un total de 155 puntos de muestreo en parcelas actualmente no cultivadas, con diferentes grados de colonización vegetal e influencia antrópica, litología y topografía. En cada caso se hizo una descripción de las características del terreno, incluyendo altitud, distancia al mar, posición topográfica, naturaleza y edad de los materiales geológicos y usos históricos del suelo. El tiempo transcurrido desde el abandono del cultivo agrícola en los suelos salinos se estimó mediante entrevistas y encuestas con los agricultores locales. Se muestreó el horizonte superficial del suelo (0-30 cms).

En el laboratorio se analizaron las siguientes propiedades relacionadas con el estado salino-sódico de los suelos: pH en agua (1:2.5); conductividad eléctrica (CE) en extractos 1:1 luego de 30 minutos de agitación y cuatro horas de tiempo de contacto; cationes y aniones solubles en el extracto 1:1:  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  por fotometría de llama,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  por espectrometría de absorción atómica,  $\text{HCO}_3^-$  por valoración automática con  $\text{HCl}$  0.1N,  $\text{Cl}^-$  por el método de Mohr (valoración con  $\text{AgNO}_3$ ),  $\text{NO}_3^-$  por el método de la brucina y  $\text{SO}_4^{2-}$  por el método turbidimétrico de Bower *et al.* (1965); los cationes cambiabiles se determinaron usando el método de Bower *et al.* (1952); carbonato cálcico equivalente por medio del calcímetro de Bernard (MAPA, 1974); granulometría por el método del densímetro, por dispersión con hexameta-

fosfato sódico y tamizado de las fracciones de arena.

Debido a la elevada saturación del complejo de cambio y a los problemas derivados de la abundancia de sales solubles, la sodicidad se estimó como el porcentaje de sodio cambiabiles con respecto al total de cationes cambiabiles. Los rangos de sodicidad considerados de acuerdo con este criterio fueron los siguientes: no sódico < 12%, ligeramente sódico = 12-18%, fuertemente sódico = 18-25%, extremadamente sódico > 25%. Los rangos de salinidad y alcalinidad que se consideraron fueron respectivamente, los de Dahnke y Whitney (1988) y el SSSA (1951).

Las correlaciones entre los parámetros medidos se establecieron usando un Análisis de Componentes Principales (PCA). Las variables que se usaron en este análisis fueron, el contenido de cationes cambiabiles, cationes y aniones solubles, carbonato cálcico activo y pH. El PCA es un método que permite reducir la variación a unos pocos factores con una mínima pérdida de información (Tabachnick and Fidell, 1989)

Se estudió también la relación entre los suelos salino-sódicos y diferentes variables ambientales. La influencia del material geológico, la posición topográfica, los usos históricos del suelo y la edad de abandono se analizaron mediante el test de la U de Mann-Whitney. La correlación bivalente de Pearson se utilizó para establecer la relación de la salinidad-sodicidad con la altitud, distancia al mar y granulometría. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa SPSS (Anon, 1990).

## RESULTADOS

La salinidad-sodicidad de los suelos estudiados es alta por lo general y aproximadamente un 77% de los suelos analizados son sódicos y un 43% tienen reacción alcalina, mientras que aquellos suelos afectados por la salinidad constituyen un 43% del total de los

estudiados en el área. Desde el punto de vista de los cationes presentes, la salinidad es sobre todo sódica, seguida por los suelos que presentan una solución edáfica magnésica-sódica y cálcica-sódica (Szabolcs, 1989) siendo los aniones más abundantes los cloruros y sulfatos (Figura 2).

El Análisis de Componentes Principales (PCA) (Figura 3) muestra la salinidad y la alcalinidad como fenómenos separados y hasta cierto punto opuestos. Cerca del 34% de la varianza observada se asocia con la salinidad y está correlacionada positivamente con la concentración de todos los cationes y aniones solubles con la excepción del bicarbonato. En consecuencia las parcelas afectadas por salinidad se distribuyen a lo largo del semieje positivo, mientras que aquellas con suelos no salinos se agrupan alrededor del semieje negativo.

El segundo componente principal con una varianza del 20% se asocia con la alcalinidad y se correlaciona positivamente con el pH, el sodio cambiante, la concentración de bicarbonatos y el contenido de carbonato cálcico. Los suelos más alcalinos se distribuyen a lo largo del semieje positivo de este componente y se caracterizan por una baja salinidad. La so-

dicidad muestra una clara relación con el segundo componente principal y una correspondencia menos definida con el primero. Todos los suelos que tienen una reacción alcalina y una parte de los suelos salinos son de naturaleza sódica, mientras que los suelos no sódicos tampoco son salinos ni alcalinos y se concentran en un sector delimitado por el semieje negativo de los dos primeros componentes. El resto de componentes explican apenas el 9% y el 7% de la varianza (para el tercero y cuarto componente, respectivamente).

En la Tabla 1 aparecen los valores medios de las propiedades analizadas en relación con el tipo y edad del material de origen, usos del suelo y topografía. La naturaleza del material geológico muestra una estrecha relación con la salinidad-sodicidad. Los suelos desarrollados sobre pumitas son sódicos y alcalinos y su contenido en bicarbonatos y carbonato cálcico es más alto que en los suelos desarrollados a partir de basaltos o traquibasaltos. Así, los suelos sódico-alcalinos se desarrollan fundamentalmente a partir de pumitas, mientras que los suelos salino-sódicos no parecen estar asociados a ninguna litología específica (Figura 4).

### Tipo de salinización según los cationes

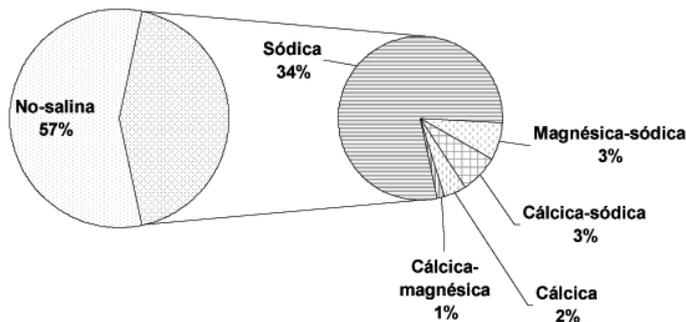


FIGURA 2.- Tipos de salinidad según las especies iónicas del sistema.

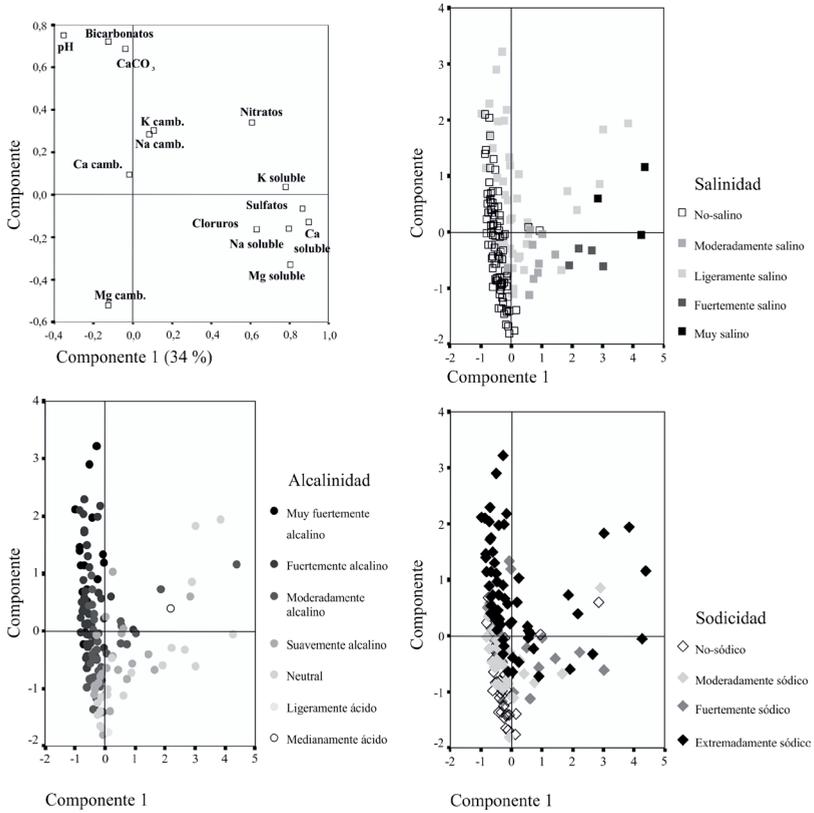


FIGURA 3.- Resultados del Análisis de Componentes Principales y clases de salinidad, sodicidad y alcalinidad en los suelos estudiados.

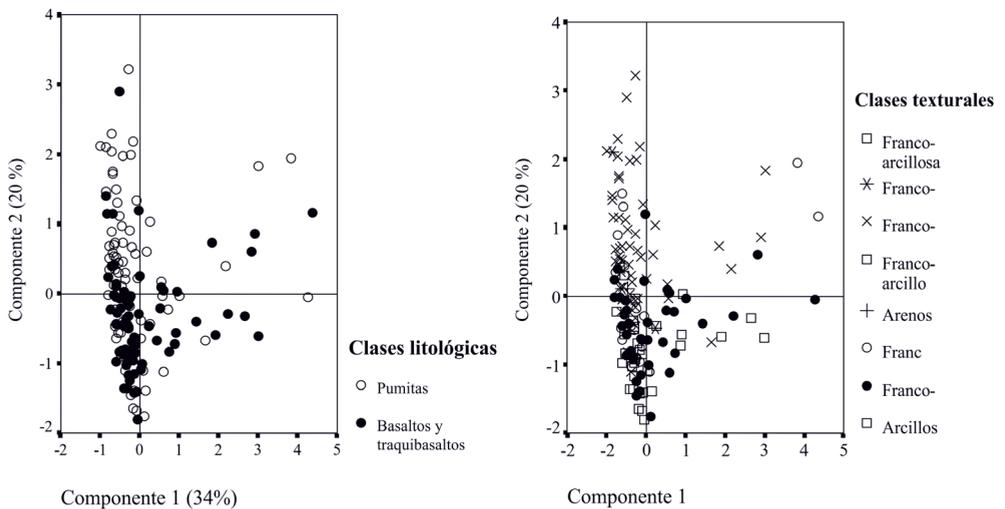


FIGURA 4.- Análisis de Componentes Principales en términos de clases litológicas y texturales

TABLA 1.- Características salino-sódicas en relación con algunos factores ambientales

	Material geológico		Usos del suelo		Edad de abandono		Topografía	
	Basaltos	Pumitas	Vegetación natural	Parcelas abandonadas	Reciente (<20 años)	Antiguo (>20 años)	Laderas y pendientes	Llanuras y valles
Número de muestras (n)	88	67	60	95	15	19	99	56
pH (H <sub>2</sub> O)	8.1*	8.3*	8.2	8.2	7.3*	8.4*	8.1*	8.3*
C.E. <sub>1:1</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	2.42	1.98	2.68	1.94	2.29	1.72	2.20	2.29
Iones solubles (cmol.kg <sup>-1</sup> )								
Ca <sup>2+</sup>	0.44	0.35	0.37*	0.42*	0.53	0.35	0.39	0.42
Mg <sup>2+</sup>	0.49	0.42	0.49	0.44	0.90*	0.21*	0.48	0.41
Na <sup>+</sup>	2.17	1.59	2.67	1.44	1.53	0.99	1.91	1.93
K <sup>+</sup>	0.11	0.09	0.09	0.11	0.07	0.10	0.10	0.11
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.13	0.06	0.05*	0.13*	0.36	0.11	0.11	0.08
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.76	0.67	0.49	0.87	1.36*	0.61*	0.71	0.74
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.21*	0.29*	0.26	0.23	0.06*	0.16*	0.22*	0.29*
Cl <sup>-</sup>	2.37	1.29	3.47*	0.92*	1.27*	0.55*	1.78	2.13
Cationes cambiables (cmol.kg <sup>-1</sup> )								
Ca <sup>2+</sup>	17.4	16.5	16.5	17.3	12.1*	20.5*	17.2	16.6
Mg <sup>2+</sup>	10.1*	7.3*	8.6	9.1	11.3	10.2	9.5*	7.7*
Na <sup>+</sup>	9.6*	23.8*	14.7	16.3	5.0	9.5	14.4	17.9
K <sup>+</sup>	8.9*	20.0*	13.1	15.4	7.1*	15.6*	13.5*	16.2*
Na <sup>+</sup> /T (%)	18.6*	30.2*	12.8	10.2	7.4	8.2	11.5	10.8
CaCO <sub>3</sub> (g.kg <sup>-1</sup> )	3.9*	11.3*	6.6	7.5	0.3*	9.1*	6.1	9.0

\*Diferencias significativas (Test de la U de Mann-Whitney, p&lt;0.05)

Los suelos que han sido cultivados en el pasado (Tabla 1) muestran unos contenidos ligeramente más bajos de cloruros y más altos de nitratos que aquellos que han mantenido la vegetación natural original a lo largo del tiempo. Por otra parte, las parcelas abandonadas en diferentes épocas presentan diferencias muy marcadas: parcelas abandonadas recientemente presentan suelos mucho más salinos que aquellas de abandono más antiguo, las cuales son más alcalinas y carbonatadas.

La topografía no parece ser un factor determinante, aunque aquellos suelos situados en fondos de valle o llanuras (lugares de deposición de material edáfico) presentan una alcalinidad ligeramente mayor que aquellos desarrollados en pendientes y lomas (sitios de

movilización de material).

En la Tabla 2 se muestran las correlaciones existentes entre las propiedades estudiadas y la altitud, la distancia al mar y el contenido de arcilla. La altitud y en menor grado la distancia al mar están asociadas negativamente con la salinidad y la sodicidad, de tal modo que los suelos salino-sódicos se concentran en las partes bajas costeras. El contenido de arcilla muestra una correlación positiva con la salinidad y negativa con la alcalinidad y el contenido de carbonatos. Consecuentemente la alcalinidad aparece de manera preferente en suelos con texturas franco arenosas y es poco frecuente en suelos arcillosos o franco arcillosos (Figura 4).

	Arcilla	Altitud	Distancia al mar
pH	-0.399*	-0.081	-0.179
C.E. <sub>1:1</sub>	0.201*	-0.205*	-0.161*
Iones solubles			
Ca <sup>2+</sup>	0.146	-0.207*	-0.180*
Mg <sup>2+</sup>	0.163*	-0.174*	-0.146
Na <sup>+</sup>	0.217*	-0.196*	-0.128
K <sup>+</sup>	0.118	-0.150	-0.029
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.089	-0.131	-0.104
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.102	-0.205*	-0.144
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.444*	-0.020	-0.155
Cl <sup>-</sup>	0.152	-0.158*	-0.129
Cationes cambiables			
Ca <sup>2+</sup>	-0.021	0.109	-0.057
Mg <sup>2+</sup>	0.622*	0.262*	0.219
Na <sup>+</sup>	-0.381*	-0.129	-0.186*
K <sup>+</sup>	-0.595*	-0.088	-0.252*
Na <sup>+</sup> /T	-0.411*	-0.272*	-0.296
CaCO <sub>3</sub>	-0.262*	-0.042	-0.219

\*Correlaciones significativas (P=0.05)

TABLA 2.- Correlaciones entre propiedades de salinidad y sodicidad y algunos factores ambientales.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como se deduce de la composición de la solución edáfica y de la variación de la salinidad con la altitud, la principal fuente de sales en la zona estudiada es el mar y la mayor o menor influencia del mismo está más en relación con la altitud que con la proximidad a la costa. Este fenómeno ya había sido descrito por González Soto *et al.*, (1992) y puede atribuirse a la variabilidad de la orografía de la costa, de manera que parcelas situadas a la misma distancia de la costa pueden estar influenciadas con diferente intensidad por la maresía (spray marino).

La sodicidad está básicamente relacionada con la influencia del mar y la naturaleza del material geológico. Los suelos más directamente afectados por la proximidad al mar tienen un mayor contenido de sodio como consecuencia de la adición de sales de origen marino. Por otra parte, la presencia de suelos sódicos, no salinos a cierta distancia del mar y desarrollados a partir de pumitas, sugieren una alta contribución del sodio de este material geológico al complejo de cambio de los suelos. Estudios experimentales de la alteración de materiales volcánicos (Vera Gómez, 1985; García Hernández y Rodríguez Rodríguez, 1990) señalan que la alteración de las pumitas libera una mayor cantidad de cationes básicos que la de las cenizas de composición basáltica, resultando soluciones de alteración con una mayor concentración iónica en el primer caso.

La liberación de sodio de las pumitas confiere un marcado carácter sódico a los suelos de la zona de estudio. Cuando la salinidad es alta, la fuerza iónica de la solución edáfica mantiene el sodio adsorbido en el complejo de cambio, mientras que cuando aquella es baja, es posible la hidrólisis del sodio cambiante y como consecuencia se incrementa mucho el pH de la solución. Bajo estas condiciones el CO<sub>2</sub> se incorpora a la solución edáfica en forma de bicarbonatos que reaccionan con el calcio di-

suelto y precipitan en forma de carbonato cálcico.

Por otro lado, los suelos originados a partir de las pumitas son siempre de textura gruesa. Las cenizas pumíticas presentan una microestructura muy porosa (Vera Gómez, 1985), de modo que la alteración de las mismas da lugar a suelos con textura franco arenosa, al contrario que los desarrollados sobre materiales basálticos, con microestructura más compacta, que dan lugar a suelos arcillosos. La textura gruesa de los suelos pumíticos favorece la infiltración y la lixiviación, mientras que la textura más fina de los suelos desarrollados sobre basaltos facilita la salinización.

El manejo de los suelos en el pasado muestra un modelo claro. Los suelos con una mayor influencia marina, tradicionalmente han sido rechazados para las actividades agrícolas. De aquellas parcelas que si fueron cultivadas en algún momento, las que presentaban suelos alcalinos fueron abandonadas hace más de veinte años, mientras que las que tienen suelos salinos no han sido abandonadas hasta fechas más recientes (menos de veinte años). Los problemas de fertilidad derivados de la alcalinidad parecen ser la razón que llevaron al abandono de estos suelos para el cultivo, en tanto que la salinidad no restringió el uso agrícola de los suelos y el abandono de esta actividad en estos terrenos sólo se ha producido más recientemente.

El contenido de nitratos también se ha relacionado con el uso agrícola de los suelos en el pasado y es típicamente bajo en aquellos suelos que han mantenido la vegetación natural original de la zona, probablemente debido a la ausencia de fertilización nitrogenada.

En síntesis los resultados parecen demostrar la existencia de tres condiciones diferentes con respecto al estado salino-sódico de los suelos, en estas zonas de la isla de Tenerife:

\*) Los suelos de las áreas más próximas al mar son salino-sódicos, debido a la contribución de las sales marinas con alto contenido

de sodio, ión que también se produce en la alteración de las tobas pumíticas. La sodicidad sin embargo no produce alcalinidad a causa de la fuerza iónica de la solución edáfica que mantiene al sodio adsorbido en las posiciones de cambio

\*) Los suelos desarrollados sobre pumitas en áreas alejadas del mar son sódico-alcalinos. La sodicidad de estos suelos se debe casi exclusivamente a la adsorción del sodio liberado por la alteración de las pumitas. La menor salinidad facilita el intercambio del sodio y acelera los procesos de alcalinización y carbonatación.

\*) Sólo una pequeña proporción de los suelos del área estudiada no está afectados por procesos de salinización-sodificación y son aquellos más alejados de la influencia marina y desarrollados sobre coladas basálticas y traqui-basálticas.

## REFERENCIAS

- Anon (1990): SPSS/PC+ V.6.0. Base manual. SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA.
- Bower, C.A., Reitemeier, F.F. and Fireman M. (1952): Exchangeable cation analysis of alkaline and saline soils. *Journal of Soil Science* 73: 251-261.
- Bower, C.A. and Wilcox, L.V. (1965): Soluble salts, pp. 933-951, in C.A. Black et al. (Editors.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Monograph No. 9, ASA, Madison, WI.
- Carracedo, J. C. (1985): Tenerife. Geografía física y humana. El edificio insular. In: L. Afonso (Ed.) *Geografía de Canarias. 5. Geografía comarcal: Tenerife, Gran Canaria*. Editorial Interinsular Canaria, Santa Cruz de Tenerife, Spain. pp. 10-40.
- Dahnke, W.C. and Whitney, D.A. (1988): Measurement of soil salinity. In: *Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region*. North Dakota Agric. Exp. Stn. Bull. 499. Fargo, North Dakota, USA.
- Dregne, H.E. (1976). *Soils of arid regions*. Elsevier Publishing, Amsterdam, The Netherlands.
- García Hernández, J.E. and Rodríguez Rodríguez, A. (1990): *Altération expérimentale des cendres basaltiques dans l'oxalate d'ammonium 10-4M*. *Science du Sol* 28: 193-201.
- González Soto, M.C., Hernández, L.A., Jiménez Mendoza, C.C., Ortega González, M.J., Padrón Padrón, P.A., Rodríguez Rodríguez, A. Torres Cabrera, J.M. and Vargas, G.E. (1991): Primeros resultados sobre salinidad de suelos en Canarias. XVIII Reunión Nacional de Suelos. Comunicaciones. Dpto. de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna, Tenerife, Spain. pp. 425-440.
- González Soto, M.C., Hernández, L.A., Torres Cabrera, J.M. and Vargas Chávez, G.E. (1992): Análisis de la conductividad eléctrica en los suelos de Canarias. Su relación con algunos factores edáficos y ambientales. III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Conferencias Plenarias y Comunicaciones. Dpto. de Edafología, Universidad de Navarra, Pamplona, Spain. pp. 104-109.
- Knight, G.W. (1991): Chemistry of arid region soils. In: J. Skujiņš (Editor), *Semiarid lands and deserts. Soil resource and reclamation*. Marcel Dekker Inc., New York, USA. pp. 111-171.
- MAPA. (1974): Caracterización de la capacidad agrológica de los suelos de España. Metodología y Normas. Dirección General de la Producción Agraria, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), Madrid, Spain.

- Rodríguez Rodríguez, A., Jiménez, C.C. and Tejedor, M.L. (1998): Soil degradation and desertification in the Canary Islands. In: A. Rodríguez Rodríguez et al. (Eds.), *The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation*. Geoforma Ediciones, Logroño, Spain. pp. 13-22.
- Rodríguez Rodríguez, A. and Mora Hernández, J.L. (2000): Los suelos. In: G. Morales Matos & R. Pérez González (Eds.) *Gran Atlas Temático de Canarias*. Editorial Interinsular Canaria, Santa Cruz de Tenerife, Spain. pp. 107-120.
- Rodríguez Rodríguez, A., Mora Hernández, J.L. and Arbelo Rodríguez, C. D. (2002): Variation of soil quality in plant succession of the coastal scrub of Tenerife (Canary Islands, Spain). In: J.L. Rubio et al. (Editors.), *Proceedings of the Third International Congress Man and Soil at the Third Millenium*. Geoforma Ediciones, Logroño, Spain. pp.1185-1198.
- Szabolcs, I. (1989): *Salt-affected soils*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- SSSA (1951): *Soil Survey Staff*. U.S. Dept. Agriculture Handbook No.18, United States Department of Agriculture, Washington D.C., USA.
- Tabachnick, B.G. and Fidell, L.S. (1989): *Using multivariate statistics*. Harper & Publishers, New York, USA.
- Vargas Chávez, G.E. (2001): *Salinización inducida en los suelos agrícolas de Canarias: caracterización y prognosis*. Tesis Doctoral. Dpto. de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna, Tenerife, Spain.
- Vera Gómez, M.P. (1985): *Alteración experimental de cenizas basálticas y fonolíticas en medio acuoso y acuo-orgánico*. Tesis de Licenciatura. Dpto. de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna, Tenerife,

Spain.