

CALIDAD DEL SUELO Y SUCESIÓN VEGETAL EN ANDOSOLES FORESTALES DE LAS ISLAS CANARIAS

C.D. ARBELO, A. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, J.A. GUERRA, J.L. MORA

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. Soil quality is closely related to processes of ecological succession. The degradation of an ecosystem causes a decrease in soil quality and a simultaneous regression in plant succession. The aim of this work is to study regeneration processes of the vegetation on forest andosols in an area within the Garajonay National Park (island of La Gomera, Canary Islands) and determine the variations in the soil quality associated with plant succession. The results obtained show that the plant formations with a lesser degree of regeneration are associated with processes of leptosolization, erosion, compactation and mineralization of organic matter, while the communities closer to the climax present important improvements in soil quality, tending towards andosolization.

Key words: Andosols, Soil quality, Plant succession, Laurel forest, Leptosolisation, Andosolisation, Canary Islands

Resumen. La calidad de los suelos está estrechamente relacionada con los procesos de sucesión ecológica. La degradación de los ecosistemas por regla general trae consigo una disminución en la calidad de los suelos y una regresión en la sucesión vegetal. El objetivo del presente trabajo es estudiar los procesos de regeneración de la vegetación en los andosoles de un área fuertemente perturbada situada en el Parque Nacional de Garajonay y comprobar las variaciones en la calidad del suelo asociadas a dicha recuperación. Los resultados obtenidos señalan que las comunidades vegetales con un menor grado de regeneración se asocian siempre a procesos de leptosolización, erosión, compactación de la superficie del suelo y mineralización de la materia orgánica, mientras que aquellas comunidades más próximas a la climax presentan sustanciales mejoras en la calidad de los suelos que tienden hacia la andosolización.

Palabras clave: Andosoles, Calidad del suelo, Sucesión vegetal, Laurisilva, Leptosolización, Andosolización, Islas Canarias

INTRODUCCIÓN

El término sucesión se aplica a los cambios secuenciales que ocurren a lo largo del tiempo, en la abundancia de las especies de un ecosistema. En los ecosistemas forestales, la sucesión lleva en sus estadios finales a una

vegetación arbórea estable, en equilibrio con las condiciones ambientales. Los suelos que se desarrollan bajo una vegetación madura, climática presentan una alta calidad ambiental y funcionan como sistemas en equilibrio, activos y estables (Fisher and Binkley, 2000; Doran and Parkin, 1996). La sucesión vegetal

es así, un proceso dinámico progresivo-regresivo asociado a variaciones en las características del suelo, de tal modo que la evolución de un ecosistema degradado hacia las condiciones climáticas ha de hacerse a través de un proceso de regeneración de la calidad del suelo (Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2001a, 2002a,b).

Los andosoles con vegetación forestal en las Islas Canarias son suelos con una elevada calidad ambiental que juegan un importante papel en la regulación del ciclo hidrológico y en el mantenimiento de un ecosistema relicto único, como es la laurisilva, a su vez hábitat de numerosas especies exclusivas y amenazadas de extinción. Las manifestaciones más extensas y diversas y mejor conservadas de estas formaciones boscosas, se encuentran en el Parque Nacional de Garajonay (La Gomera), donde se ha realizado este trabajo, catalogado desde 1986 por la UNESCO como Bien Natural Patrimonio de la Humanidad.

El objeto del presente trabajo es pues, analizar la variación en la calidad del suelo asociada con la regeneración de la vegetación en un área de laurisilva, profundamente transformada por intervenciones antrópicas durante siglos.

AREA DE ESTUDIO

La zona más alterada y antropizada del Parque Nacional de Garajonay, ocupa una superficie de 525 has. (13% de la superficie total del Parque) al Sureste del mismo entre 1100 y 1435 m de altitud sobre el nivel del mar. Es una zona localizada en la vertiente Sur de la isla de La Gomera, a sotavento de los vientos alisios, pero bajo la influencia permanente de las nieblas que tienen su origen en el "mar de nubes" (Arozena, 1990). El edafoclima en la zona es "údic" con tendencia a "ústico" y los suelos predominantes son Andosoles háplicos, Umbrisoles húmicos y Cambisoles ándicos con áreas de Andosoles

lépticos y Leptosoles úmbricos y líticos (Jiménez *et al.*, 1990, Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2001a).

Como hemos dicho, esta zona ha estado sometida durante más de cuatro siglos a una intensa presión antrópica, principalmente por el pastoreo extensivo y los aprovechamientos forestales, lo que ha llevado a la sustitución del bosque original por matorrales de brezos (Ericáceas) y codesos (Leguminosas). En los años 60 se realizaron además, plantaciones de pinos y otras coníferas, lo que trajo consigo la frecuente aparición de incendios forestales en la zona. En los últimos años, la administración del Parque ha implementado un plan para la eliminación selectiva de las plantaciones de coníferas y la restauración progresiva del bosque original (Arco, *et al.*, 1990; Fernández, 1990).

MATERIAL Y MÉTODOS

El muestreo se llevó a cabo en 73 parcelas integradas en la Red de Seguimiento Ecológico del Parque Nacional de Garajonay situadas a intervalos regulares de 250 m por toda el área estudiada. Se realizó una descripción morfológica completa del suelo y del entorno ambiental en cada punto de muestreo (parcela) y se tomó una muestra completa de tres réplicas, en los primeros 30-35 cm del suelo, que son los más sensibles a las variaciones de la calidad del suelo.

En el laboratorio se analizaron diversas propiedades físico-químicas relacionadas con el carácter ándico de los suelos, su capacidad para sustentar la productividad vegetal, funcionamiento hídrico, incidencia de procesos de degradación y su sensibilidad a éstos, hasta un total de 48 determinaciones analíticas por muestreo. A saber: estado de humedad, densidad aparente a 33 kPa, granulometría y textura, capacidad de retención de agua a 33 y 1500 kPa, estabilidad de agregados (impacto de gota y tamizado en húmedo), pH en agua, KCl y NaF, conductividad eléctrica,

caciones cambiables, fósforo asimilable, micronutrientes biodisponibles, retención de fosfato, Fe, Al, Si extraíbles con ácido oxálico-oxalato amónico y con pirofosfato sódico, ácidos húmicos y fúlvicos, índice melánico, carbono orgánico total y extraíble con pirofosfato sódico, nitrógeno total. Muchas de estas propiedades son ampliamente reconocidas como indicadoras de calidad de suelos forestales (Schoenholtz *et al.*,2000).

Con el fin de delimitar las principales comunidades vegetales presentes en la zona se realizó una matriz de abundancia de las diferentes especies, que fue posteriormente analizada mediante técnicas estadísticas de análisis multivariante: un Sistema de Clasificación Jerárquica Divisivo mediante TWINSpan (Hill,1979) y un Sistema de Ordenación mediante un Análisis de Correspondencia Corregido (DCA) (Hill y Gauch,1980).

Una vez establecidas las principales comunidades vegetales, se analizaron las características de los suelos asociados a cada comunidad por medio de las pruebas ANOVA y Tukey para el caso de las variables paramétricas y las de Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney en el caso de aquellas no paramétricas. Las relaciones existentes entre la composición florística de las comunidades vegetales y las propiedades del suelo se estableció mediante un Análisis Canónico de Correspondencia (CCA)(Ter Braak, 1986).

RESULTADOS

El análisis de la vegetación por medio de TWINSpan y DCA, permite diferenciar en la zona estudiada, al menos cuatro comunidades vegetales naturales (Figura 1).

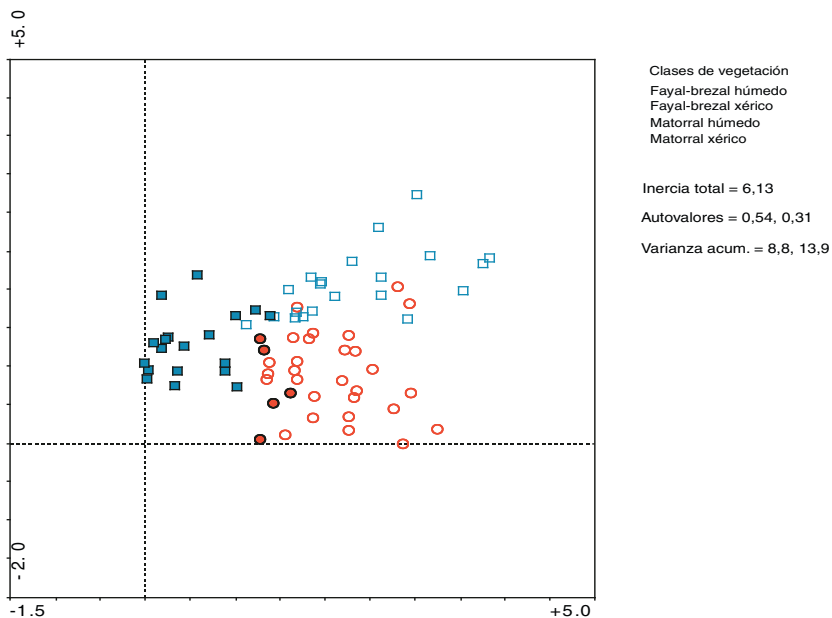


FIGURA 1.-Análisis de la vegetación mediante TWINSpan y DCA

Valores del DCA: Inercia total: 6,137, Autovalores: 0,538, 0,313, Varianza acumulativa (%): 8,8;13,9

caciones cambiables, fósforo asimilable, micronutrientes biodisponibles, retención de fosfato, Fe, Al, Si extraíbles con ácido oxálico-oxalato amónico y con pirofosfato sódico, ácidos húmicos y fúlvicos, índice melánico, carbono orgánico total y extraíble con pirofosfato sódico, nitrógeno total. Muchas de estas propiedades son ampliamente reconocidas como indicadores de calidad de suelos forestales (Schoenholtz *et al.*,2000).

Con el fin de delimitar las principales comunidades vegetales presentes en la zona se realizó una matriz de abundancia de las diferentes especies, que fue posteriormente analizada mediante técnicas estadísticas de análisis multivariante: un Sistema de Clasificación Jerárquica Divisivo mediante TWINSpan (Hill,1979) y un Sistema de Ordenación mediante un Análisis de Correspondencia Corregido (DCA) (Hill y Gauch,1980).

Una vez establecidas las principales comunidades vegetales, se analizaron las características de los suelos asociados a cada comunidad por medio de las pruebas ANOVA y Tukey para el caso de las variables paramétricas y las de Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney en el caso de aquellas no paramétricas. Las relaciones existentes entre la composición florística de las comunidades vegetales y las propiedades del suelo se estableció mediante un Análisis Canónico de Correspondencia (CCA)(Ter Braak, 1986).

RESULTADOS

El análisis de la vegetación por medio de TWINSpan y DCA, permite diferenciar en la zona estudiada, al menos cuatro comunidades vegetales naturales (Figura 1).

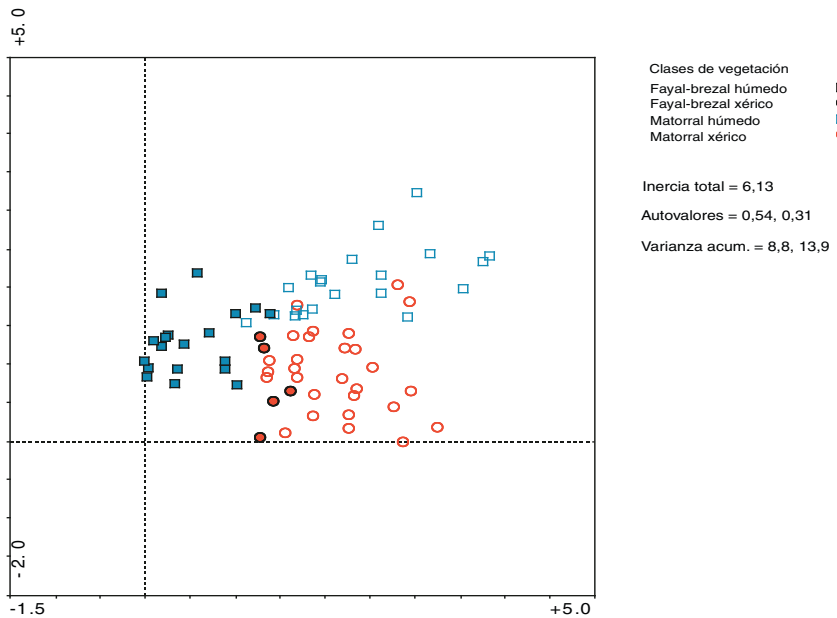


FIGURA 1.-Análisis de la vegetación mediante TWINSpan y DCA

Valores del DCA: Inercia total: 6,137, Autovalores: 0,538, 0,313, Varianza acumulativa (%): 8,8;13,9

Fayal-Brezal húmedo: Caracterizado por la presencia de especies arbóreas (*Erica arborea*, *Myrica faya*, *Laurus azorica*) y por plantas con preferencia por los ambientes húmedos y sombreados (*Viola riviniana*).

Fayal-Brezal xérico: en este caso las especies arbóreas características (*E. arborea*, *M. faya*, *L. azorica*) están acompañadas por un sotobosque típico de sitios secos y soleados (*Chamaecytisus proliferus*).

Matorral húmedo: comunidad vegetal de escaso porte en la que abundan las especies más características de ambientes húmedos, tales como el *Pteridium aquilinum*.

Matorral xérico: formación de matorral caracterizada por la presencia de especies fotófilas tales como el *Ch. proliferus*.

El análisis CCA nos indica cuales son las propiedades ambientales y edáficas más relevantes a la hora de explicar la vegetación de las diferentes parcelas (Figura 2)

Los resultados de la comparación de las propiedades del suelo entre las diferentes comunidades vegetales, aparecen en la Tabla 1.

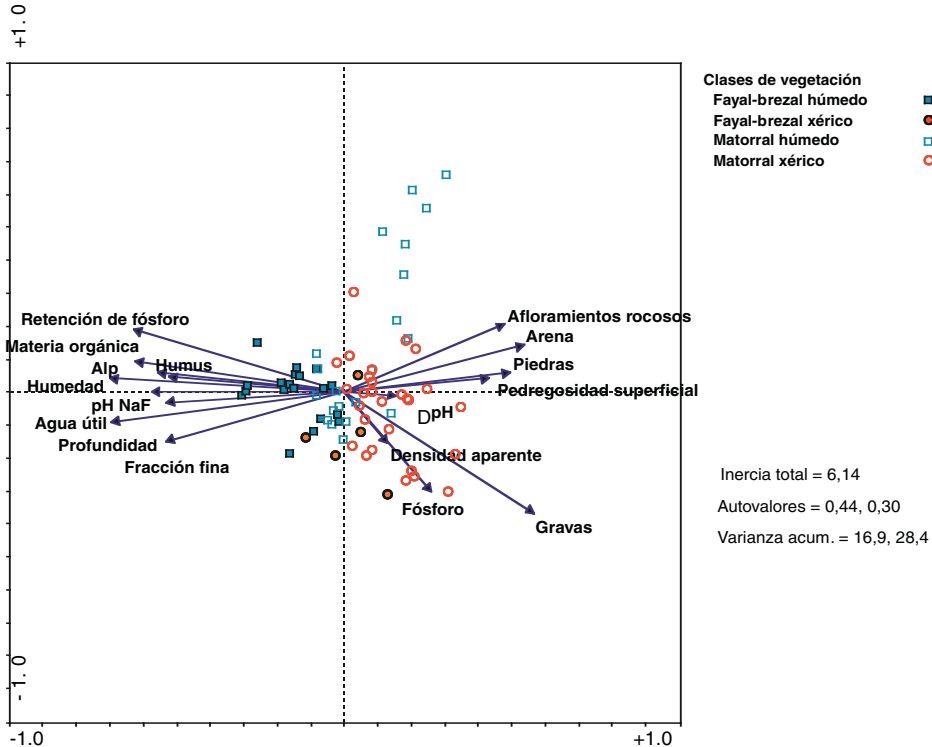


FIGURA 2.-Análisis de suelos y vegetación mediante CCA

Valores del CCA: Inercia total: 6,137; Autovalores: 0,438, 0,301; Varianza acumulativa (%): 16,9;28,4

TABLA 1.- Propiedades edáficas que muestran diferencias significativas entre las distintas comunidades vegetales ($p < 0.05$).

	Fayal-brezal húmedo	Fayal-brezal xérico	Matorral húmedo	Matorral xérico
Humedad superf. (%)	18,9 a	12,2 a	12,1 b	9,8 b
Humedad 30cm prof. (%)	25,2 a	18,4 bc	19 b	14 c
Densidad aparente (MgM ⁻³)	0,47 a	0,42 a	0,6 ab	0,63 b
Limo (%)	50,5 a	49,3 ab	43 bc	42,3 c
Fracción fina (%)	67,5 a	61,8 ab	61,5 ab	56,9 b
Arena fina (%)	13,1 a	15,6 ab	15,6 ab	16,6 b
Arena gruesa (%)	20,1 a	22,6 ab	22,9 ab	26,5 b
Arena (%)	33,1 a	38,2 ab	38,5 ab	43,1 b
Retención de agua pF1/3 (%)	53,9 a	50,4 ab	46,6 b	43,9 b
Retención de agua pF15 (%)	34,6 a	31,5 ab	30,6 ab	29 b
Agua útil (%)	19,3 a	18,8 ab	16 b	14,9 b
P- Olsen (mg/kg)	11,6 ab	21,4 a	10,8 b	16,8 a
Materia orgánica total (%)	18,9 a	18 ab	12,7 b	13,6 ab
Materia orgánica humificada (%)	6,5 a	6,7 ab	4,6 b	5 ab
Ácidos húmicos (%)	2,1 a	2,3 ab	1,4 b	1,6 ab
C-Na ₄ P ₂ O ₇ extr. (%)	4,1 a	3,8 ab	2,9 bc	2,7 c
Al -Na ₄ P ₂ O ₇ extr. (mg/kg)	1,05 a	0,77 ab	0,96 b	0,61 b
Fe -Na ₄ P ₂ O ₇ extr. (mg/kg)	0,31 a	0,22 ab	0,28 a	0,17 b
Si -Na ₄ P ₂ O ₇ extr. (mg/kg)	0,28 a	0,18 bc	0,32 ab	0,19 c
pH (NaF, 2')	10,6 a	10,5 ab	10,2 ab	10 b
Retención de fósforo (%)	84 a	80 ab	76 b	72 b
Zn -EDTA (mg/kg)	1,18 a	1,17 a	1,01 b	0,97 a
Co -EDTA (mg/kg)	0,19 a	0,65 ab	1,86 b	1,31 b
B (mg/kg)	1,2 a	1 ab	0,78 b	0,98 ab
Profundidad (cm)	110 a	105 ab	70 bc	65 c
Pedregosidad superficial (%)	4 a	35 bc	8 ab	9 c
Afloramientos rocosos (%)	5 a	15 ab	14 b	9 b
Suelo desnudo (%)	2 a	0 a	8 b	18 ab
Gravas (%)	23 a	34 ab	32 a	45 b
Piedras (%)	23 a	43 b	39 ab	36 b

Los valores seguidos por la misma letra indican ausencia de diferencias significativas entre esos grupos (tests ANOVA/Tukey y Kruskal-Wallis/U de Mann-Whitney, $p \leq 0,05$)

Las formaciones xéricas, en base a su composición florística, presentan diferencias significativas con respecto a las formaciones húmedas en cuanto al estado de humedad del suelo en profundidad, en algunas propiedades ándicas y en la disponibilidad de fósforo. Las comunidades arbóreas se han desarrollado sobre suelos más profundos y menos pedregosos que en el caso del matorral y además tienen valores significativamente más altos de materia orgánica (total y humificada), de metales complejados con la materia orgánica,

de capacidad de retención de agua, de retención de fosfato y de fracción fina.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los datos analíticos señalan que la regeneración de la vegetación natural en estas áreas degradadas, viene determinada en primer lugar por el edafoclima y los suelos asociados a cada comunidad. Las formaciones arbóreas y de matorral, con una composición florística de tipo húmedo, aparecen en las

zonas más umbrías con un edafoclima údico y colonizando suelos ándicos (Andosoles), mientras que las formaciones más xéricas, tanto boscosas como de matorral, están asociadas a zonas más térmicas con un edafoclima también údico pero de tendencia ústico y sobre Cambisoles y Umbrisoles.

El mayor o menor grado de regeneración de la vegetación, parece estar relacionada con la variación de algunas de las características edáficas más directamente relacionadas con la calidad del suelo. Así, en la actualidad los matorrales se desarrollan sobre suelos poco profundos, pedregosos, arenosos y con un cierto grado de compactación, mientras que las formaciones arbóreas lo hacen preferentemente en los suelos más profundos, con un menor contenido de elementos gruesos y una mayor proporción de las fracciones texturales más finas.

Los datos analíticos indican también que la regeneración de la vegetación arbórea, está

asociada a una mejora notable de la calidad del suelo mediante un proceso de **andosolización**:

a) Incremento significativo del contenido de materia orgánica total y humificada y ácidos húmicos.

b) Incremento de la porosidad, de la capacidad de retención de agua y del grado de desarrollo de la estructura.

c) Aumento progresivo de la capacidad de retención de fosfato y de la formación de complejos organometálicos.

Por el contrario, las formaciones de matorral de degradación o aquellas con un bajo grado de regeneración se asocian a suelos de baja calidad, dominados por procesos de **leptosolización** (en zonas de topografía abrupta) o suelos degradados por erosión, compactación u otros procesos de degradación de la estructura, favorecidos por las características, escasamente protectoras, de la vegetación (Figura 3).

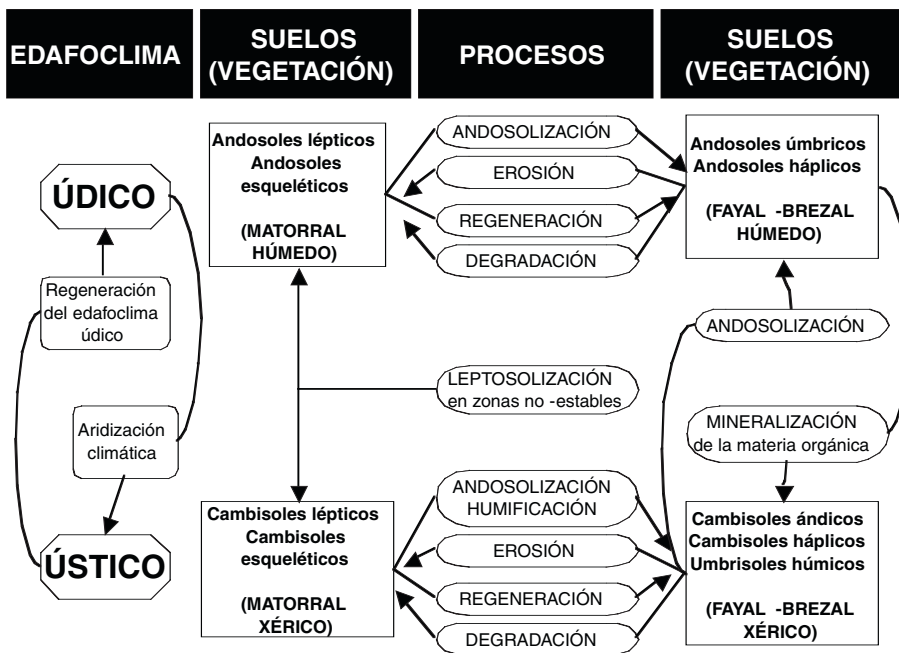


FIGURA 3.- Procesos genéticos en los suelos del área estudiada

Los procesos genéticos señalados, dan lugar en la actualidad a suelos de diferente tipología y por lo tanto con distintos valores en los parámetros indicadores de la calidad del suelo (Tabla 2). Los suelos con características más favorables son los Andosoles úmbricos y háplicos bajo fayal-breza húme-

do y los Cambisoles ándicos y háplicos y Umbrisoles húmicos con fayal-breza xérico. Los matorrales están siempre asociados a Andosoles lépticos y Cambisoles lépticos y esqueléticos de muy baja calidad natural o afectados por severos procesos de degradación.

TABLA 2.- Valores medios de algunas propiedades diagnóstico de los suelos

	Fayal-breza húmedo	Fayal-breza xérico	Matorral húmedo	Matorral xérico
Densidad aparente (g/cm ³)	0.47 ± 0.16	0.42 ± 0.13	0.60 ± 0.19	0.63 ± 0.15
Arcilla (%)	16.4 ± 5.6	12.5 ± 2.1	18.6 ± 9.9	14.5 ± 6.1
Alox+1/2 Feox (%)	2.2 ± 0.7	1.8 ± 0.5	2.0 ± 1.5	1.8 ± 1.1
Retención de fósforo (%)	84 ± 12	80 ± 12	76 ± 16	72 ± 15
Carbono orgánico (%)	11.0 ± 4.8	10.4 ± 1.8	7.4 ± 4.9	7.9 ± 3.7
Índice melánico	1.88 ± 0.10	1.85 ± 0.08	1.96 ± 0.16	1.89 ± 0.12
Elementos gruesos (%)	Abundantes (35-60%)	Muy abundantes (>60%)	Abundantes (35-60%)	Muy abundantes (>60%)
Profundidad (cm)	110	105	70	65
Estructura	Poliédrica	Migajosa	Poliédrica	Poliédrica
Dureza	Blando	Blando	Blando	Blando
Brillo color Munsell	2.9	3.4	3.5	3.9
Croma color Munsell	2.5	2.4	3.3	3.5

Los Andosoles húmicos y háplicos bajo fayal-breza húmedo constituyen los suelos y ecosistemas más maduros y evolucionados de la zona estudiada. Por lo tanto es de especial interés el promover medidas de restauración de la cubierta vegetal arbórea en las áreas colonizadas actualmente por el matorral degradado, para controlar la erosión hídrica, contribuir a restaurar el edafoclima údico y facilitar el proceso de andosolización, con objeto de favorecer una rápida evolución del ecosistema, dejando el matorral sobre Cambisoles y Andosoles lepti-esqueléticos en aquellas áreas donde la leptosolización es el proceso edafogenético dominante y donde carece de interés forzar la regeneración del ecosistema más allá de su estado actual.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Contrato de Investigación "Plan Complementario Edafológico del Programa de Seguimiento Ecológico en el Parque Nacional de Garajonay" entre el Ministerio de Medio Ambiente (Organismo Autónomo Parques Nacionales) y la Universidad de La Laguna.

REFERENCIAS

Arco, M.J. del., Pérez de Paz, P.L., Wildpret, W., Lucía, V., Salas, M. (1990). Atlas cartográfico de los pinares canarios. La Gomera y El Hierro. Consejería de

- Política Territorial, Gobierno de Canarias, S/C de Tenerife, 90 p.
- Arozena, M.E. (1990). Los paisajes naturales de la Isla de La Gomera. Universidad de La Laguna, Secretariado de Publicaciones, 56 p.
- Doran, J.W. and Parkin, T.B. (1996). Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. En: *Methods for assessing soil quality*, J.W. Doran y A.J. Jones (eds.), Soil Science Soc. of Am., Inc., Madison, WI, 25-37.
- Fernández, A.B. (1990). Garajonay: Origen y restauración de las áreas alteradas del Parque. En: *Parque Nacional de Garajonay: Patrimonio Mundial*, P.L. Pérez de Paz (ed), ICONA, Cabildo Insular de La Gomera, 239-253
- Fisher, R.F. and Binkley, D. (2000). Ecology and management of forest soils. John Wiley and Sons, Inc. 3rd Ed., NY, 490 p.
- Hill, M.O. (1979). TWINSPLAN- a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table classification of the individuals and attributes. Ithaca, NY, USA, Cornell University.
- Hill, M.O. and Gauch, H.G. (1980). Detrend Correspondence Analysis, an improved ordination technique. *Vegetatio* 42, 47-58
- Jiménez, C.C., Tejedor, M.L., Rodríguez Rodríguez, A. y Fernández-Caldas, E. (1990). Los suelos del Parque Nacional de Garajonay y su entorno. En. Pérez de Paz, P.L. (Ed.): *Parque Nacional de Garajonay: Patrimonio Mundial*, ICONA, Cabildo Insular de La Gomera, 47-55
- Rodríguez Rodríguez, A., Arbelo, C.D., Guerra, J.A. and Mora, J.L. (2001a). Influences of changes in use on the properties of andosols and andic soils. En: *Volcanic Soils. Properties, Processes and Land Use Internat.* Workshop, Ponta Delgada, Azores, Portugal, 114-115.
- Rodríguez Rodríguez, A., Mora, J.L., Arbelo, C.D. (2002a). Variation of soil quality in plant succession of the coastal scrub of Tenerife (Canary Islands, Spain). En: *Man and Soil at the Third Millenium*, J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins y V. Andreu (eds.): Geoforma Ediciones, Logroño, Spain, Vol. II, 1185-1198.
- Rodríguez Rodríguez, A., Mora, J.L., Guerra, J.A., Arbelo, C.D. and Sánchez, J. (2002b). An ecosystemic Approach to Soil Quality Assessment. En: *Sustainable Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Regions*, A. Faz, R. Ortiz y A.R. Mermut (eds.), Quaderna Ed., Cartagena, Murcia (España), Vol. I, p. 193-208
- Schoenholtz, S.H., Van Miegroet, H. and Burger, J.A. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* 138, 335-356
- Ter Braak, C.J. (1986). Canonical Correspondence Analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67, 1167-1179