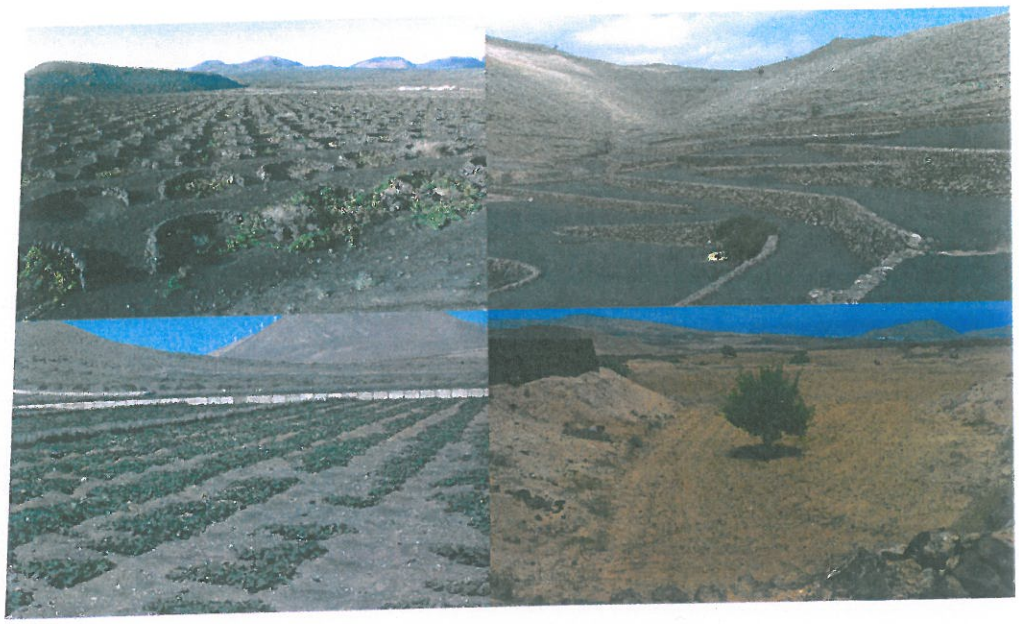


MEMORIA FINAL

CAPACIDAD AGRÍCOLA DE LOS SUELOS DE LA RESERVA DE BIOSFERA DE LANZAROTE Y ELABORACIÓN DE UNA BASE DE DATOS



Programa de Apoyo a la Red de Reservas de Biosfera Españolas

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO

Cabildo de Lanzarote

Oficina de la Reserva de Biosfera

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

MaB

Fundación Empresa Universidad de La Laguna

ULL | Universidad de La Laguna

Dpto. de Edafología y Geología

2011

EQUIPO INVESTIGADOR:

- María Luisa Tejedor Salguero, Catedrática de Edafología y Química Agrícola
- José Manuel Hernández Moreno, Catedrático de Edafología y Química Agrícola
- Carmen Concepción Jiménez Mendoza, Profesora Titular de Edafología y Química Agrícola
- Francisco Díaz Peña, Doctor en Biología
- Jonay Neris Tomé, Doctor en Biología
- María Inmaculada Garín López, Lcda. en Ingeniería Química
- María Ascensión Dorta Santos, Lcda. en Biología

INDICE

I.- INTRODUCCIÓN..... 1

II.- METODOLOGÍA..... 2

II.1. Métodos de selección, muestreo y análisis de suelos..... 2
II.2. Métodos de muestreo y análisis de aguas..... 4
II.3. Métodos estadísticos..... 6
II.4. Método para la caracterización de la capacidad agrológica de los suelos..... 6
II.5. Métodos cartográficos..... 8

III.- RESULTADOS..... 12

III.1. SUELOS DE LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS TRADICIONALES..... 12

III.1.1. *Arenados*.....
12
A) Introducción..... 12
B) *Arenados* artificiales bajo riego con aguas desalinizadas..... 15
a) Descripción..... 15
b) Resultados del análisis de los suelos..... 16
C) *Arenados* artificiales bajo riego con aguas regeneradas..... 17
a) Descripción..... 17
b) Resultados del análisis de los suelos..... 18

III.1.2.
20
Jables.....
a) Descripción..... 20
b) Resultados del análisis de los suelos..... 22

III.1.3. *Gavias*..... 23
a) Descripción..... 23
b) Resultados del análisis de los suelos..... 25

III.1.4. Bancales..... 26
a) Descripción..... 26
b) Resultados del análisis de los suelos..... 30

III.2. SUELOS NATURALES..... 32

III.3. AGUAS DE RIEGO..... 37

III.3.1. Aguas Desalinizadas..... 39

III.3.2. Aguas Regeneradas..... 41

III.4. CAPACIDAD AGROLÓGICA DE LOS SUELOS..... 45

IV.- CONCLUSIONES..... 55

V.- BIBLIOGRAFÍA..... 59

VI.- ANEXOS

Anexo 1.- Fichas descriptivas de *arenados* artificiales regados con agua desalinizada y *arenados* adyacentes sin regar

Anexo 2.- Resultados del análisis del conjunto de las muestras de la capa arable de los suelos en *arenados* regados con agua desalinizada y *arenados* adyacentes sin regar

Anexo 3.- Fichas descriptivas de *arenados* artificiales regados con agua regenerada y *arenados* adyacentes sin regar

Anexo 4.- Resultados del análisis del conjunto de las muestras de la capa arable de los suelos en *arenados* regados con agua regenerada y *arenados* adyacentes sin regar

Anexo 5.- Fichas descriptivas de *jables* regados con agua regenerada-desalinizada y parcelas adyacentes sin regar

Anexo 6.- Resultados del análisis del conjunto de las muestras de la capa arable de los suelos de *jables* regados con agua regenerada-desalinizada y adyacentes sin regar

Anexo 7.- Fichas descriptivas de *gavias*

Anexo 8.- Resultados del análisis del conjunto de las muestras de la capa arable de los suelos de *gavias*

Anexo 9.- Fichas descriptivas de bancales y adyacentes sin abancalar

Anexo 10.- Resultados del análisis del conjunto de las muestras de la capa arable de los suelos de bancales y adyacentes sin abancalar

Anexo 11. – Fichas descriptivas y análisis de los suelos naturales

Anexo 12. - Resultados analíticos de aguas desalinizadas por fecha de muestreo

Anexo 13.- Resultados de los análisis microbiológicos de las aguas regeneradas y desalinizadas por fechas de muestreo

Anexo 14.- Resultados analíticos de aguas regeneradas por fecha de muestreo

Anexo 15.- Cartografía
- *Arenados* artificiales: secano, regados con agua desalinizada y con agua regenerada
- *Jables:* secano, regados con agua desalinizada-regenerada
- *Gavias*
- Bancales
- Capacidad agrológica de los suelos

Anexo 16.- Fotos

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Distribución por agrosistema de los suelos analizados

Figura 2.-Modelo utilizado para la elaboración de la cartografía

Figura 3.- Humedad del suelo con y sin cubierta de piroclastos

Figura 4.- Evolución de la humedad del suelo bajo tres espesores de capas de piroclastos

Figura 5.- Evolución diaria del perfil térmico en un suelo cubierto y sin cubrir

Figura 6.- Humedad del suelo con (izqda) y sin cubierta de jable (dcha)

Figura 7.- Disposición de los bancales

Figura 8.- Tipos de muros o aparejos

Figura 9.- Tipos de coronamiento

Figura 10.- Esquema de distribución de los suelos en Lanzarote

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Parámetros que definen las Clases de Capacidad Agrológica

Tabla 2.- Tipos de Uso de las Clases de Capacidad Agrológica

Tabla 3.- Factores limitantes que definen las Subclases de Capacidad Agrológica

Tabla 4.- Información básica espacial utilizada para la elaboración de la cartografía

Tabla 5.- Propiedades de los suelos en *arenados* regados con agua desalinizada y *arenados* adyacentes sin regar

Tabla 6.- Propiedades de los suelos en *arenados* regados con agua regenerada y *arenados* adyacentes sin regar

Tabla 7.- Suelos en los que se eliminó la capa de piroclastos regados con agua regenerada, suelos adyacentes *arenados* sin regar, y valores medios de suelos *arenados* regados

Tabla 8.- Propiedades de los suelos bajo *jable* regados con agua regenerada y sin regar

Tabla 9.- Propiedades de los suelos de *gavias*

Tabla 10.- Parámetros característicos de los bancales

Tabla 11.- Propiedades de los suelos de bancales y adyacentes sin abancalar

Tabla 12.- Propiedades de los suelos de bancales arenados y sin arenar

Tabla 13.- Tipos de suelos descritos en Lanzarote

Tabla 14.- Guía de calidad de aguas de riego (Ayers y Wescott, 1985)

Tabla 15.- Valores de concentración límite para el boro en aguas de riego

Tabla 16.- Resultados analíticos de las aguas desalinizadas (media ± de)

Tabla 17.- Aguas desalinizadas. Valores mínimos y máximos de los parámetros más relevantes

Tabla 18.- Aguas desalinizadas del periodo enero 2006 – octubre 2008 (Granja del Cabildo)

Tabla 19. Comparación de concentraciones de boro de las aguas desalinizadas con valores guía

Tabla 20.- Resultados analíticos de las aguas regeneradas (media ± de)

Tabla 21.- Aguas regeneradas. Valores mínimos y máximos de los parámetros más relevantes

Tabla 22.- Comparación del análisis de aguas regeneradas en dos periodos de estudio. Vega de Machín

Tabla 23.- Comparación de concentración de boro en las aguas regeneradas con valores guía

Tabla 24.- Comparación de concentraciones de nitrógeno y fósforo en las aguas regeneradas con valores guía

Tabla 25.- Superficie (ha) de las clases de capacidad agrológica y porcentaje del total insular

Tabla 26.- Superficie (ha) de las subclases de capacidad agrológica (III-IV) y porcentaje de la clase

Tabla 27.- Superficie (ha) de las subclases de capacidad agrológica (VI-VIII) y porcentaje de la clase

I. INTRODUCCIÓN

En los contratos suscritos entre el Excmo. Cabildo Insular de Lanzarote y la Fundación Empresa Universidad de la Laguna, para la realización de los proyectos "Capacidad agrícola de los suelos de la Reserva de Biosfera de Lanzarote", y "Realización de una base de datos de la capacidad agrícola de los suelos de Lanzarote" se señalaba que a su terminación habría que presentar un Informe final. La presente Memoria corresponde a estos últimos informes, unificados, y reflejan los trabajos realizados de acuerdo con el plan previsto, toma de datos y muestreo de campo, análisis de laboratorio, y elaboración de una base de datos de la capacidad agrológica de los suelos.

La relación de actividades que se habían señalado en el plan de trabajo estaba limitada a los estudios de suelo, no obstante, dada la transformación experimentada en la isla con la incorporación de regadío con recursos hídricos no convencionales se ha ampliado el trabajo con estudios de estas aguas, tanto de su naturaleza físico-química como microbiológica.

La agricultura en Lanzarote, hasta hace pocos años, debido a la escasez de agua se ha podido desarrollar sin riego gracias a la presencia de agrosistemas tradicionales principalmente *arenados*, aunque también y en menor medida *jables*, *gavias* y *bancales*. En condiciones de secano estos sistemas se han mostrado conservadores de suelo y agua. La disponibilidad de nuevos recursos hídricos, aguas desalinizadas y regeneradas, ha creado expectativas de una mayor producción, lo que está llevando a un cambio de manejo de estos agrosistemas de secano a regadío. Es, por tanto, importante evaluar la calidad de las aguas disponibles y especialmente el comportamiento del suelo frente a su uso, teniendo en cuenta la peculiaridad de los agrosistemas. La mejora de la producción y diversificación de cultivos, objetivo preferente de la introducción del riego, debe hacerse de tal manera que se mantenga el carácter de sostenibilidad que han tenido hasta el momento en condiciones de secano.

Si importante es mantener ese carácter en cualquier territorio, más lo es aún en una Reserva de Biosfera como Lanzarote. No debe olvidarse, por importante que sea la función productiva, el papel ambiental de conservación que han tenido, que están teniendo y que deberán seguir teniendo en el futuro los Sistemas Agrícolas Tradicionales de la Reserva. En una de las regiones más áridas de la Unión Europea estos sistemas han jugado un papel estratégico en la lucha contra la desertificación, además de tener gran valor paisajístico, cultural y patrimonial.

Por todo lo anterior, y dada la importante superficie que ocupan los agrosistemas tradicionales en la isla, nos centraremos en el apartado de resultados en primer lugar en ellos, en la calidad de sus suelos, y cómo se están viendo afectados por el cambio de uso. A continuación se presentará el conjunto de los suelos naturales con independencia de su uso. Las aguas de riego, desalinizadas y regeneradas, son objeto del siguiente capítulo. Se definirán, posteriormente, las clases de capacidad agrológica existentes en la isla, y su distribución cartográfica, para finalizar con un capítulo de conclusiones.

II. METODOLOGÍA

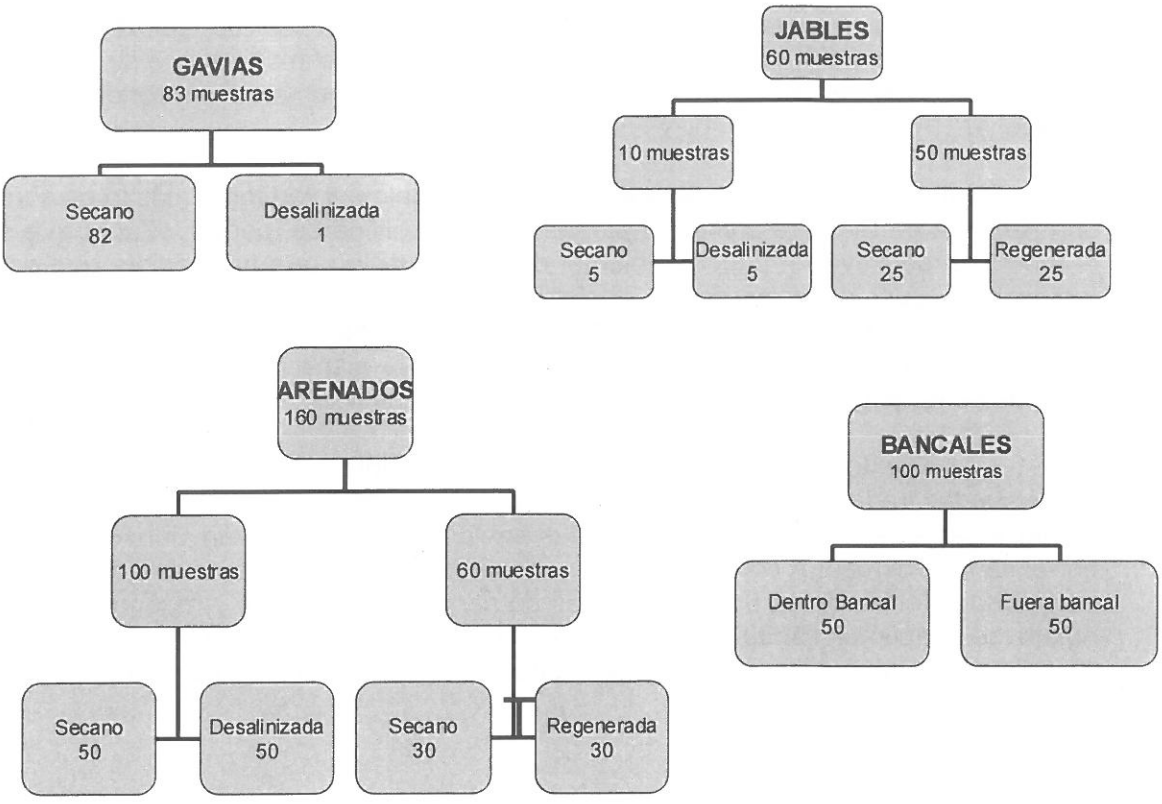
II.1. Métodos de selección, muestreo y análisis de suelos

La delimitación de la superficie ocupada por los diferentes Sistemas Agrícolas Tradicionales (SAT) se hizo mediante fotointerpretación de las ortofotos a escala 1:5.000 suministradas por Cartográfica de Canarias, utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG-Arc GIS 9.2).

En cada uno de ellos se eligieron zonas representativas. En los *arenados* y *jables* se seleccionaron parcelas sometidas a riego, tanto con agua desalinizada como regenerada, y las adyacentes en condiciones de secano. Igualmente se muestrearon dos parcelas que, habiendo estado *arenadas* se eliminó la cobertura superficial dejando el suelo al descubierto, estando desde hace tres años sometidas a riego con aguas regeneradas. La mayor parte de las *gavias* no están aún bajo riego, y es ésta la situación de las elegidas para este estudio salvo una regada con agua desalinizada. En el caso de los bancales se han muestreado los suelos del interior y los adyacentes no sometidos a esta técnica. Además se han incluido otras 110 muestras de suelos naturales. En la figura 1 se refleja la distribución, por agrosistemas, de los suelos analizados y en el anexo 15 de cartografía la distribución de cada uno de los agrosistemas, indicando en el caso de que estén sometidos a riego el tipo de agua utilizada (desalinizada o regenerada). Se incluye asimismo el anexo 16 de fotos representativas de las distintas situaciones.

Figura 1

Distribución por agrosistema de los suelos analizados



TOTAL DE MUESTRAS: 403

La toma de muestra de suelo se realizó en la capa arable (0-30 cm), entendiendo bajo la capa de cenizas o arena en el caso de los *arenados* y *jables*. Se tomaron 3 submuestras en cada una de las parcelas seleccionadas. Con el fin de estandarizar los análisis de laboratorio, las muestras fueron secadas al aire y tamizadas por 2 mm para obtener la fracción *tierra fina* sobre la que se hacen las determinaciones. Se calculó el contenido de humedad con el fin de expresar los resultados sobre base seca (105ºC).

El pH se determinó en agua (relación 1:2.5 suelo-solución, en suspensión), después de agitación y un tiempo de equilibrio de treinta minutos, y en extracto de pasta saturada (pHes). En ambos caso se utilizó un electrodo de vidrio y la medida se hizo en un pHmetro Radiometer PHM 82 Standard.

La conductividad eléctrica (CEes), parámetro que define la salinidad, se determinó en extracto saturado utilizando un conductivímetro marca Mettler mod. MPC 227 a 25ºC. Se expresa en decisiemens por metro (dSm^{-1}). Se valoraron los cationes solubles en todos los extractos de saturación y los aniones solubles cuando la conductividad eléctrica superaba los 2 dSm^{-1}. Los cationes se midieron en un espectrofotómetro de absorción atómica marca Thermo S Series. Ca^{2+} y Mg^{2+} en presencia de concentraciones de lantano del orden de 0.1-1 %, para evitar interferencias de sílice, aluminio, fosfatos y sulfatos. El Na^{+} y el K^{+} se determinaron por fotometría de emisión de llama. Se calculó la relación de adsorción de sodio (RAS) a partir de las concentraciones de sodio, calcio y magnesio solubles expresados en $meqL^{-1}$, $Na/((Ca+Mg/2))^{1/2}$ (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954). Los carbonatos y bicarbonatos se estimaron según el método SM-2320B utilizando un valorador automático marca Mettler mod. DL67, con electrodo combinado de pH, con HCl 0.05N. Los cloruros utilizando también un valorador automático marca Mettler mod. DL67, con electrodo selectivo, valorando con $AgNO_3$ 0.01 N. Los sulfatos se obtuvieron mediante turbidimetría con $BaCl_2$. También el boro soluble (Bes) se determinó en extracto saturado mediante colorimetría con azometina-H.

El sodio y el potasio cambiables fueron extraídos con acetato amónico 1N a pH 7 y el calcio y magnesio cambiables con acetato sódico 1N pH=8.2. Las determinaciones de las concentraciones de cada uno de los elementos fueron realizadas de forma similar a los cationes solubles, efectuando su corrección en función de estos. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se calculó mediante la suma de los cationes cambiables. Todos los parámetros del complejo de cambio se expresaron en $cmol^{c}kg^{-1}$. El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) se calculó mediante la expresión 100 * Na/CIC

Los carbonatos se evaluaron utilizando un calcímetro de Bernard en presencia de HCl 1:1, y se expresaron en g kg^{-1} (Ministerio de Agricultura, 1994).

El contenido de carbono orgánico se determinó por vía húmeda por oxidación con dicromato potásico (Page *et al.*, 1982), expresando el resultado en g kg^{-1}. El nitrógeno total se valoró por el método Kjeldahl en Tekator mod. 1026, expresando también el resultado en g kg^{-1}.

El fósforo asimilable se obtuvo por extracción con $NaHCO_3$ 0.5N a pH 8.5 y posterior determinación colorimétrica (Olsen *et al.*, 1954). Los micronutrientes (hierro, manganeso, cobre y zinc) mediante extracción con EDTA-Na y determinación espectrofotométrica (Lakanen y Ervio, 1971), y el boro asimilable por extracción con agua caliente y determinación colorimétrica con azometina-H.

II.2. Métodos de muestreo y análisis de aguas

Los muestreos de agua de riego para este proyecto fueron iniciados en Junio de 2010, con una periodicidad aproximada de 15 días, a excepción de los análisis microbiológicos (Escherichia coli y Enterococos intestinales), turbidez y sólidos totales en suspensión que se ha procurado que fuera semanal. En cada uno de ellos se han recogido tres muestras de agua desalinizada y tres de agua regenerada, tomadas en diversas zonas agrícolas de la isla en parcelas seleccionadas para este fin (Zonzamas, Tías y Vega de Machín). Además se dispone de datos mensuales de la Granja del Cabildo y la Vega de Machín (desalinizada y regenerada respectivamente) desde enero de 2010, de las aguas remitidas por la Granja del Cabildo.

Los análisis de aguas se han realizado de acuerdo con el Standard Methods (American Public Health Association, 1992).

El pH se determinó en un pHmetro Radiometer PHM 82 Standard y la conductividad eléctrica en un conductivímetro marca Mettler mod. MPC 227 a 25ºC, expresándola en μScm^{-1}. Los cationes, carbonatos y bicarbonatos, cloruros, sulfatos y boro soluble se midieron de igual forma que los obtenidos en el extracto saturado de los suelos. Y de igual manera se calculó la relación de adsorción de sodio (RAS).

El TA, "grado alcalimétrico", expresa el contenido total del agua en hidróxidos alcalinos y la mitad del contenido en carbonatos; corresponde a la valoración de la alcalinidad hasta un pH de 8.2. El TAC, "grado alcalimétrico completo", expresa el contenido global del agua en hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos alcalinos y alcalinotérreos; corresponde a la valoración hasta pH 4.5, cuando ha virado todo el carbonato. Ambos se calculan a partir de la alcalinidad determinada mediante valoración ácido-base. La Dureza total representa la totalidad de las sales de calcio y de magnesio disueltas en un agua. Tanto el TA como el TAC y la dureza se expresan en grados franceses (ºF. 1ºF = 0.1+ mg/L CO_3Ca).

El índice de saturación de Langelier da una idea de la agresividad del agua (corrosividad-incrustación), y de la tendencia que tiene para disolver o precipitar carbonatos de Ca y Mg. Viene dado por la expresión siguiente:

ISL = pH – pHs
Donde:
pH es el pH del agua
pHs es el pH de saturación

Si el índice es 0 indica que el agua está equilibrada. Si es negativo, que el agua es corrosiva, y si es positivo, el agua es incrustante. Un resultado correcto que no plantee problemas debería estar comprendido entre +/- 0,5.

En las muestras de agua regenerada, además de los análisis anteriores se han hecho los siguientes:

Turbidez, es un fenómeno óptico producido por la presencia de partículas coloidales en suspensión en el agua, y consiste en una absorción de la luz que ilumina un cierto volumen de agua, combinado con una difusión. La medida se realizó con un turbidímetro Turbiquant 1100 IR de Merck, y se expresa en NTU (*Nefelometric Turbidity Unit)*.

Los sólidos totales en suspensión (SST) se estimaron mediante filtrado de la muestra de agua, determinando la materia que queda en el filtro, una vez seco, por diferencia de pesada. Se utilizaron filtros de fibra de vidrio, un equipo de filtrado a vacío de Millipore, y una estufa Selecta P (a 105ºC). Este parámetro se expresa en mg L^{-1}.

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido por la oxidación de la materia orgánica presente en el agua mediante oxidantes químicos, sin intervención de organismos vivos. El procedimiento es análogo al US Estándar Methods 5220 D e ISO 15705. Para este análisis se utilizó el Termoreactor CR 3000 de WTW (148ºC) y el Spectroquant Nova 60 de Merck. Se expresa en miligramos de oxígeno por litro de agua.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) es un parámetro que mide el oxígeno consumido por los microorganismos transcurridos cinco días de reacción, en condiciones en las que se han inhibido los procesos de producción de oxígeno. Se utilizaron sistemas sensores de DBO de Velp, incubadora (20ºC) de Velp modelo FTC 90, y como inhibidor de nitrificación la N- Allylthiourea.

SiO_2. US Standard Methods 4500-Si E.

NO_2^- . EPA 354.1, US Standard Methods 4500-NO_2^-B y EN 26 777. NO_3^-. ISO 7890/1. NH_4^+. EPA 350.1, APHA 4500-NH_3 D e ISO 7150/1. Para estos análisis se utilizó el Spectroquant Nova 60 de Merck.

Fósforo. EPA 365.2+3, US Standard Methods 4500-P E, EN 1189 e ISO 6978/1.

El Real Decreto 1620/2007 (Ministerio de Presidencia, 2007) establece el régimen jurídico de reutilización de las aguas regeneradas y marca los criterios de calidad que deben cumplir este tipo de aguas para diversos usos, entre ellos el agrícola. En este caso se diferencian tres calidades de agua según 1) se autorice su contacto directo con las partes comestibles para alimentación humana en fresco, 2) cuando el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial, pastos para consumo de animales productores de leche o carne, acuicultura y 3) cultivos leñosos, de flores ornamentales, viveros, cultivos industriales no alimentarios, etc.

Los parámetros que deben medirse obligatoriamente son: nemátodos intestinales, Escherichia coli, sólidos en suspensión y turbidez, si bien los valores máximos admisibles varían según el uso. Señala también el Real Decreto la periodicidad con que deben hacerse los análisis que son: quincenal para los nematodos intestinales y semanal para Escherichia coli, sólidos en suspensión y turbidez.

En colaboración con el Laboratorio de Sanidad de Lanzarote, se ha realizado el recuento de Enterococos intestinales y Escherichia coli. La determinación del número de huevos de nematodos en diez litros de agua se ha realizado en cooperación con el Instituto Universitario de Enfermedades Tropicales y de Salud Pública de la Universidad de la Laguna, iniciándose estas medidas en noviembre de 2010.

Determinación de E. coli en aguas desalinizadas: detección y recuento de E. coli. Método de filtración por membrana basado en la Norma UNE-EN ISO 9308-1.

Determinación de E. coli en aguas regeneradas: Método miniaturizado (Número Más Probable) por siembra en medio líquido. Basado en la Norma UNE-EN ISO 9308-3.

Enterococos intestinales en aguas desalinizadas y regeneradas: detección y recuento. Método de filtración por membrana, basado en la Norma UNE-EN ISO 7899-2.

Los huevos de Nematodos en diez litros de agua se han determinado mediante el método de Bailinger modificado por Bouhourn y Schwartzbrod (Ayers y Mara, 1996).

II.3. Métodos estadísticos

Las diferencias en los parámetros edáficos entre grupos de suelos se determinaron utilizando un T-test para muestras relacionadas. Para aquellos parámetros que no presentaron una distribución normal (Kolmogorov-Smirnov test) y homogeneidad de varianzas (Levene test), se aplicó el test de Wilcoxon. Los métodos estadísticos se implementaron usando el paquete estadístico SPSS (versión 17.0) con un nivel de significación $p \leq 0.05$.

II.4. Método para la caracterización de la capacidad agrológica de los suelos

Evaluar la capacidad agrológica de un suelo es estimar las posibilidades del terreno para su utilización con fines agrícolas, sin descender a definir las prácticas, o tipo de cultivo a desarrollar. Como señala el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), de un suelo agrícola es necesario conocer su capacidad productiva, pero tanto más interesa identificar los riesgos de pérdida o deterioro de esta capacidad en función del sistema de explotación a que se ve sometido. Ambos aspectos, capacidad productiva y riesgo de pérdida, son los que definen el concepto de Capacidad Agrológica. Establecer las Clases Agrológicas de un suelo significa, por tanto, definir cuál es el sistema de explotación adecuado con su capacidad productiva, sin que suponga un riesgo de pérdida de la misma. Se consideran cinco sistemas de explotación: laboreo permanente, laboreo ocasional, pastos, bosque y reserva natural.

Los parámetros que se utilizan para definir la capacidad productiva son: pluviometría, temperatura, profundidad de suelo, textura, permeabilidad, pedregosidad y rocosidad, salinidad y sistema de utilización actual. Unos extrínsecos al suelo, los dos primeros, y otros, intrínsecos. La pendiente del terreno y la erosión aparente son criterios, de naturaleza extrínseca al suelo, que se utilizan para relacionar la pérdida de esta capacidad.

Se comentan aquellos que están menos explicitados en la tabla 1. En este sistema se aplica la clasificación agroclimática de Papadakis (1980) que define la naturaleza y posibilidades de un clima en términos de los cultivos que en él se pueden desarrollar. Para ello, y de acuerdo con las necesidades ecológicas de las plantas cultivadas, las ordena en función del rigor invernal, del calor estival, y de la aridez y variación estacional. Para definirlos tiene en cuenta valores extremos de las temperaturas, que son más representativos para precisar zonas aptas para

determinados cultivos que las temperaturas medias. Esto le permite definir una zona o estación utilizando determinados cultivos indicadores cuyas exigencias son conocidas y se satisfacen en ella. Según los valores que adquieren los parámetros anteriores se establecen los diez tipos climáticos: tropical, tierra fría, desértico, subtropical, pampeano, mediterráneo, marítimo, continental húmedo, estepa y polar.

Respecto a la textura, en este sistema se considera que es equilibrada cuando tiene <85 % de fracción arena, < 80 % limo y < 50 % arcilla, arcillosa cuando tiene > 50 % arcilla, limosa > 80 % limo, y arenosa > 85 % arena.

La salinidad se valora en función de la limitación que representa para las plantas. El método diferencia tres grados señalando: no hay restricción, la restricción es ligera o, alta e impide los cultivos. Sin embargo, no fija los límites de conductividad para cada caso. En función de cómo afecte la salinidad al rendimiento de la planta se suele distinguir entre plantas sensibles, moderadamente sensibles, moderadamente tolerantes, tolerantes. Analizada la bibliografía al respecto se ha considerado lo siguiente: por debajo de 4 dS m^{-1} de conductividad en extracto de pasta saturada se considera que no afecta a los cultivos, entre 4 y 20 dS m^{-1} podría ser de interés en algunas regiones para la producción de hortalizas y cereales, entre 20 y 40 dS m^{-1} podrían encontrarse algunos cultivos forrajeros tolerantes a las sales, y por encima de ese valor aunque algunas plantas extremadamente resistentes podrían desarrollarse la tónica general es la falta de producción. Estos límites se han utilizado ya en estudios anteriores (Tejedor *et al.*, 1984).

"En sistema actual de explotación" es un epígrafe que también aparece en el diseño metodológico, sin embargo tal como está definido está muy alejado de las técnicas representativas de Lanzarote. No obstante, se han tenido muy en cuenta las prácticas existentes en la isla en la definición de las clases agrológicas, dada su importancia en las posibilidades de uso del suelo.

Según los valores que adquieran los parámetros antes definidos, cuyo resumen se refleja en la tabla 1, se definen ocho clases de capacidad agrológica, cuyas características de uso se reflejan en la tabla 2.

Tabla 1

Parámetros que definen las Clases de Capacidad Agrológica

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Pluviometría	>600 mm o regadío	300-600 mm o regadío	300-600 mm o regadío	300-600 mm o regadío	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Temperatura (Papadakis)	De maíz a algodón	Más calido que trigo	Más calido que trigo	Más calido que trigo	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Pendiente	< 3 %	< 10 %	< 20 %	< 20 %	< 3 %	< 30 %	< 50 %	cualquiera
Erosión	no hay	hasta moderada	hasta moderada	hasta moderada	no hay	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Profundidad	> 90 cm	> 60 cm	> 30 cm	> 30 cm	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Textura	equilibrada	equilibrada	equilibrada	equilibrada	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Pedregosidad Ø<25 cm	no hay	< 20 %	< 50 %	< 90 %	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Pedregosidad Ø>25 cm	no hay	< 0,1 %	< 0,1 %	< 3 %	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Rocosidad	no hay	< 2 %	< 10 %	< 25 %	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Encharcamiento	no hay	hasta estacional	hasta estacional	hasta estacional	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Salinidad	no hay	no hay	restringe	restringe	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera

Tabla 2
Tipos de Uso de las Clases de Capacidad Agrológica

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS	CLASE AGROLÓGICA
Suelos con pocas limitaciones. Apta para un laboreo continuado	Clase I
Suelos con algunas limitaciones que restringen la elección de plantas o requieren prácticas moderadas de conservación. Apta para un laboreo continuado	Clase II
Suelos con limitaciones importantes que restringen la elección de plantas o requieren prácticas de conservación o ambas cosas	Clase III
Suelos con limitaciones muy importantes que restringen la elección de plantas, requieren un manejo muy cuidadoso. Es una clase de transición, que sólo permite un laboreo muy ocasional	Clase IV
Suelos con poco o sin riesgo de erosión, pero con otras limitaciones imposibles de eliminar en la práctica que limitan el uso a pastos, explotación forestal, reserva natural	Clase V
Suelos con limitaciones muy importantes que hacen que sean impropios para el cultivo. Usos: pastos, forestal, reserva natural	Clase VI
Suelos con limitaciones muy importantes, más severas que para la clase VI, debido a una o más limitaciones continuas que no pueden ser corregidas. Impropios para el cultivo. Usos: pastos, forestal, reserva natural	Clase VII
Suelos no aprovechables desde un punto de vista agrícola, de pastos o forestal. Rocas desnudas, arenales, etc. Reserva Natural	Clase VIII

Las subclases de capacidad agrológica definen el tipo de limitación que condiciona al suelo, y se reflejan añadiendo un subíndice a la clase. Los factores limitantes son (tabla 3):

Tabla 3
Factores limitantes que definen las Subclases de Capacidad Agrológica

Factor limitante	Subíndice
Riesgo de erosión	e
Exceso de agua (encharcamiento o inundación)	w
Limitaciones en la zona radicular (problemas de tipo edáfico: escasa profundidad, pedregosidad, baja fertilidad, salinidad y/o sodicidad, retención de humedad, etc.)	s
Limitación principal la climática	c

Cuando se presentan dos tipos de limitación con igual intensidad, la prioridad en las subclases es: e, w, s, c.

II.5. Métodos cartográficos

Datos cartográficos

El conjunto de datos que se han utilizado como soporte para la elaboración de la base de datos espacial de la capacidad agrológica de los suelos de la isla de Lanzarote puede dividirse en función de su obtención en:

- Información espacial de consulta: se trata de información ya existente que sirve para asistir a la elaboración de la cartografía final.

Tabla 4

Información básica espacial utilizada para la elaboración de la cartografía

Cartografía	Escala	Año	Información	Fuente
Ortofotografías	0.5 m/píxel	2008		Gobierno de Canarias- GRAFCAN S.A.
Curvas de nivel	1:5.000	1998	Altitud	Gobierno de Canarias- GRAFCAN S.A.
Vegetación	1:25.000	2000	Comunidades vegetales	Gobierno de Canarias- GRAFCAN S.A.
Geología	1:25.000	1985	Litología y edad	Gobierno de Canarias- GRAFCAN S.A.
Pendiente	25 m/píxel	1998	Inclinación del terreno	A partir de curvas de nivel
Ocupación del suelo	1:25.000	2002	Uso del territorio	Gobierno de Canarias- GRAFCAN S.A.
Mapa de cultivos	1:25.000	2004	Cultivos y sistemas agrícolas	Dirección General de Estructuras Agrarias
Salinidad del suelo	150 m/píxel	2009	Salinidad	Dpto. Edafología y Geología
Sodicidad del suelo	150 m/píxel	2009	Sodicidad	Dpto. Edafología y Geología

- Muestreo directo de campo: suministra información puntual georreferenciada que es utilizada para establecer, verificar y corregir el trabajo realizado a partir de la información previa. Incluye la caracterización de campo y laboratorio de los puntos de muestro enfocada hacia los aspectos fundamentales que determinan la capacidad agrológica, y que se han definido en el epígrafe anterior.

Modelo de datos

El modelo de datos es el conjunto de transformaciones, manipulaciones, y métodos que pueden ser aplicados a los datos geográficos convirtiéndolos en información útil en los procesos de toma de decisiones y capaz de revelar patrones y anomalías que no son obvias a simple vista (Longley *et al.*, 2001). El desarrollo de un modelo cartográfico tiene según Burrough (1986) cuatro etapas:

1. Identificación de las capas cartográficas
2. Utilización de la lógica y el lenguaje natural para desarrollar el proceso
3. Creación de un diagrama de flujos del proceso
4. Traducción de las operaciones espaciales del proceso a comandos del SIG (Sistemas de Información Geográfica)

El modelo de datos utilizado para la obtención de la cartografía ha sido (figura 2):

- Delimitación de las zonas no susceptibles de tener uso agrológico, caso de zonas urbanas e industriales. Las herramientas de selección y superposición son las aplicadas en esta fase.

- Delimitación de unidades homogéneas: con la ayuda de la información de pendiente, geología, tipología de suelos, vegetación y cultivos, y sistemas agrícolas tradicionales (*arenados*, *jable*, *gavia* y *bancales*) así como con la fotointerpretación de las ortofotos se delimitan una serie de recintos homogéneos según los criterios que definen la capacidad agrológica. La fotointerpretación apoyada con la información cartográfica disponible es la técnica utilizada en este proceso.

- Muestreo de campo: una vez realizada la delimitación previa, se llevó a cabo un muestreo en esas unidades provisionales obteniendo una serie de datos de campo, y físico-químicos tras los análisis de laboratorio. En este caso, la georreferencia de los puntos de muestreo es vital para la utilización de esta información en fases futuras.

- Delimitación definitiva: utilizando la información obtenida en la fase anterior se procedió a establecer, verificar y corregir los límites entre las unidades cartográficas de las fases anteriores y obtener así la cartografía definitiva de Capacidad agrológica de los suelos a escala 1:25.000. De nuevo, la fotointerpretación sustentada por la información disponible es la técnica utilizada en esta fase.

La cartografía final obtenida se presenta en forma de base de datos espacial (MDB-Shape) según el formato vectorial, por ser éste el que mejor se adapta al proceso de elaboración y a la finalidad del estudio. Esta base de datos espacial contiene información de dos tipos:

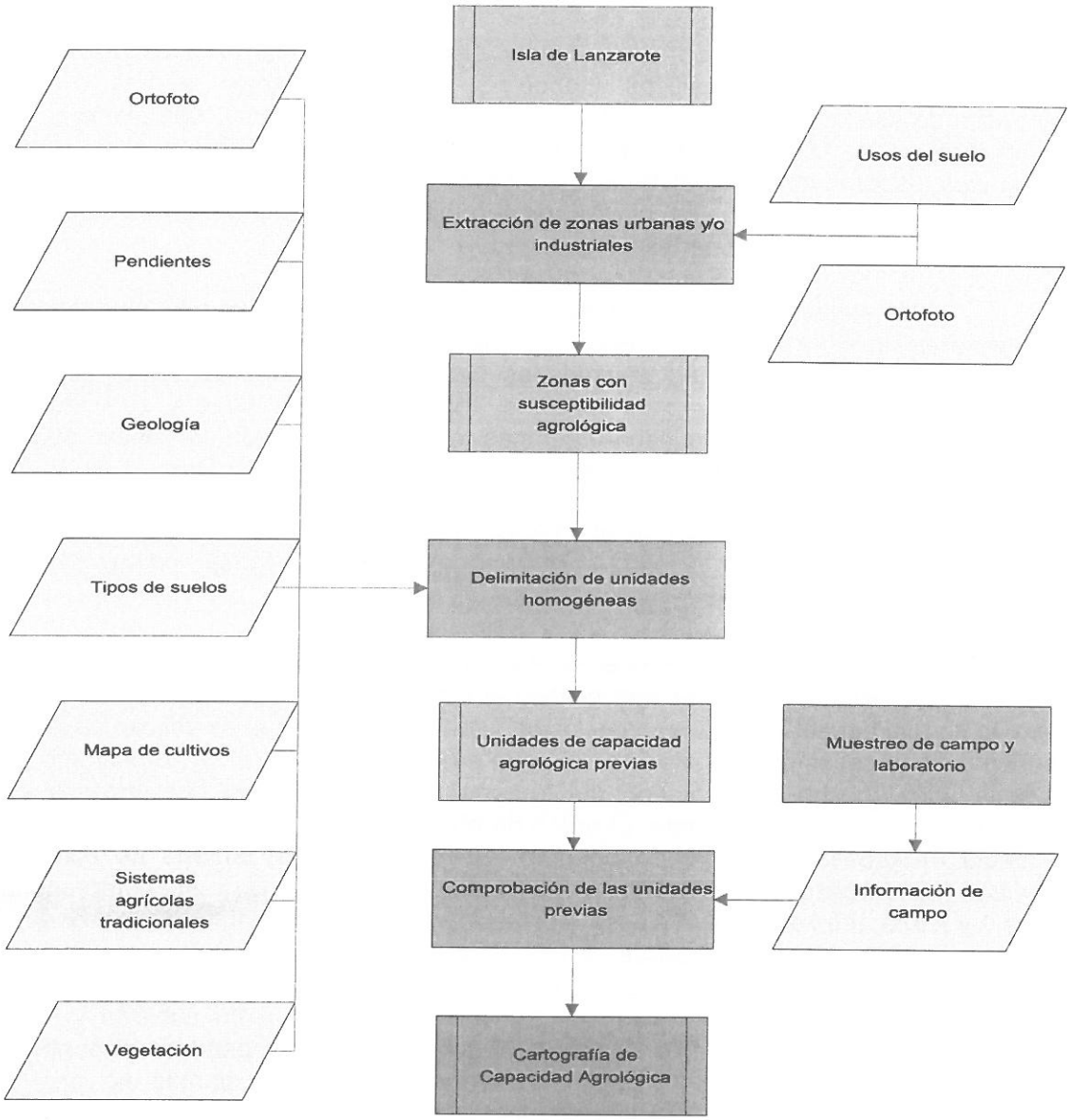
- Puntual: se trata de la información correspondiente a los puntos de muestreo en la que se incluirán todos aquellos datos de utilidad para la clasificación de la capacidad agrológica del suelo.

- Poligonal: corresponde a la delimitación de las unidades de capacidad agrológica definidas en el modelo de datos. Contendrá la información sobre su capacidad agrológica y superficie.

El uso de este formato de información geográfica, extendido y universal, permite su utilización y exportación hacia la mayoría de los programas SIG y CAD más comunes del mercado, facilitando la consulta de la información espacial y alfanumérica que alberga. Además, el formato MDB permite el diseño y utilización de la información como si de una base de datos simple se tratara para la consulta de la información alfanumérica que contiene.

Hay que señalar que en la base de datos se ha incluido una información mucho más amplia que la requerida para definir la capacidad agrológica de los suelos.

Figura 2
Modelo utilizado para la elaboración de la cartografía



III. RESULTADOS

III. 1. SUELOS DE LOS SISTEMAS AGRICOLAS TRADICIONALES

III.1.1. *Arenados*

A) Introducción

Los *arenados* son los agrosistemas más característicos de Lanzarote y han sido la base de la agricultura de la isla en condiciones de secano hasta hace poco tiempo. Además, forman parte importante de su paisaje y juegan un papel fundamental en el control de los procesos de degradación de suelos.

Son sistemas de cultivo fundamentados en el uso de una cubierta de materiales piroclásticos basálticos (conocidos localmente como arenas o rofe dependiendo del tamaño) cuyo origen puede ser natural o artificial. Los primeros se sitúan cerca de los conos de emisión y los segundos, donde el hombre aporta la capa de cenizas, están mucho más distribuidos por toda la superficie insular. El suelo, en el caso de los *arenados* artificiales, puede ser el original de la zona o bien transportado de una vega con suelos más fértiles.

Un estudio realizado anteriormente, en campo, parcelas experimentales y simulaciones de laboratorio, ha puesto de manifiesto los beneficios que la capa de piroclastos ejerce en diferentes propiedades del suelo, en condiciones de secano, principalmente en la conservación del agua, temperatura, salinidad y sodicidad, y control de la erosión, repercutiendo además en la clasificación de estos suelos (Departamento de Edafología y Geología, 1991, 1995; Díaz, 2004; Díaz *et al.*, 2003, 2004a, 2004b, 2004c, 2005; Hernández-Moreno *et al.*, 2005, 2007; Jiménez, 2006; Rodríguez *et al.*, 1998; Tejedor *et al.*, 1999a, 1999b, 2000a 2000b, 2001a, 2001b, 2001c, 2002b, 2002c, 2002d, 2002e 2002f, 2003a, 2003b, 2004a, 2004b, 2004c, 2007a, 2007b, 2007c, 2007d).

La cobertura, al favorecer el proceso de infiltración de agua en el suelo y ralentizar su pérdida, mantiene una cierta humedad edáfica a lo largo del año que permite su uso agrícola. Aunque todos los tipos de piroclastos que se utilizan en la isla reducen los procesos de evaporación del agua en el suelo, frente al suelo desnudo, su eficacia varía mucho dependiendo del tamaño de grano de los piroclastos y del espesor de la capa que se instale. El orden de eficacia según la granulometría es: fina ≥ media >> gruesa. Entendiendo por fina aquella en que el tamaño de partícula mediano (luz del tamiz por el que pasa el 50% de las partículas,D_{50}) está comprendido entre 1 y 2 mm, media donde $2 \leq D_{50} < 4$ y gruesa $D_{50} \geq 4$ mm. En cuanto al espesor de la capa las investigaciones realizadas con 5, 10 y 15 cm han puesto de manifiesto el siguiente orden de eficacia, $15 \approx 10$ >> 5 cm. En la figura 3 se compara, a título de ejemplo, el contenido de humedad de un suelo en una parcela cubierta y en la adyacente sin cubrir. Igualmente se refleja el contenido de humedad en el punto de marchitamiento (contenido de agua por debajo del cual las plantas no pueden tomarla). Obsérvese como en el suelo *arenado* el contenido de humedad se encuentra siempre por encima del correspondiente al punto de marchitamiento, incluso en la estación más seca, mientras que en el suelo desnudo siempre está por debajo. En la figura 4 se refleja la evolución de la humedad del suelo con espesores de 5, 10 y 15 cm durante los años 1999-2001.

Figura 3

Humedad del suelo con y sin cubierta de piroclastos

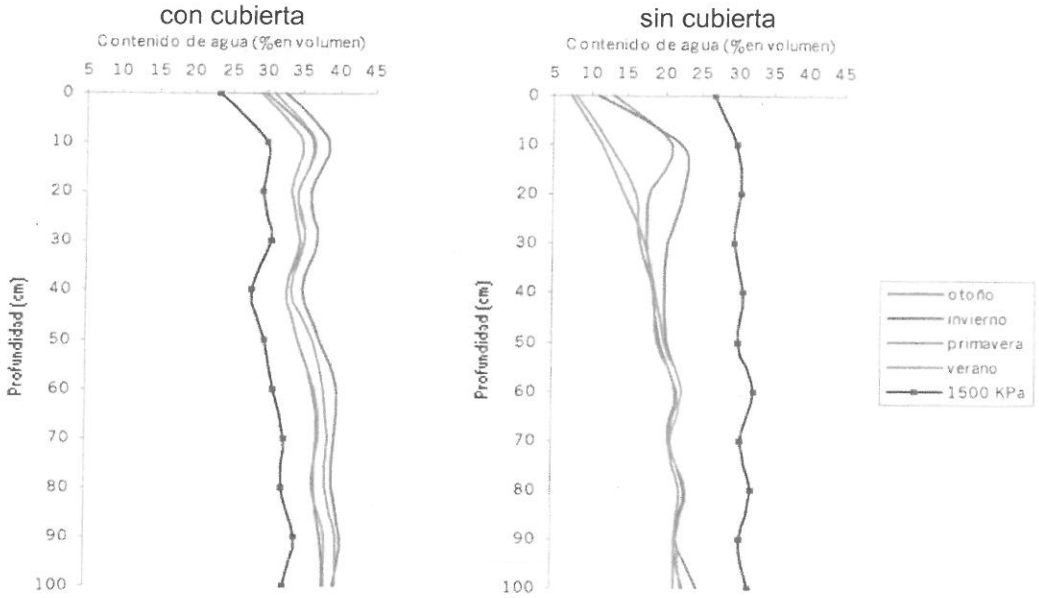
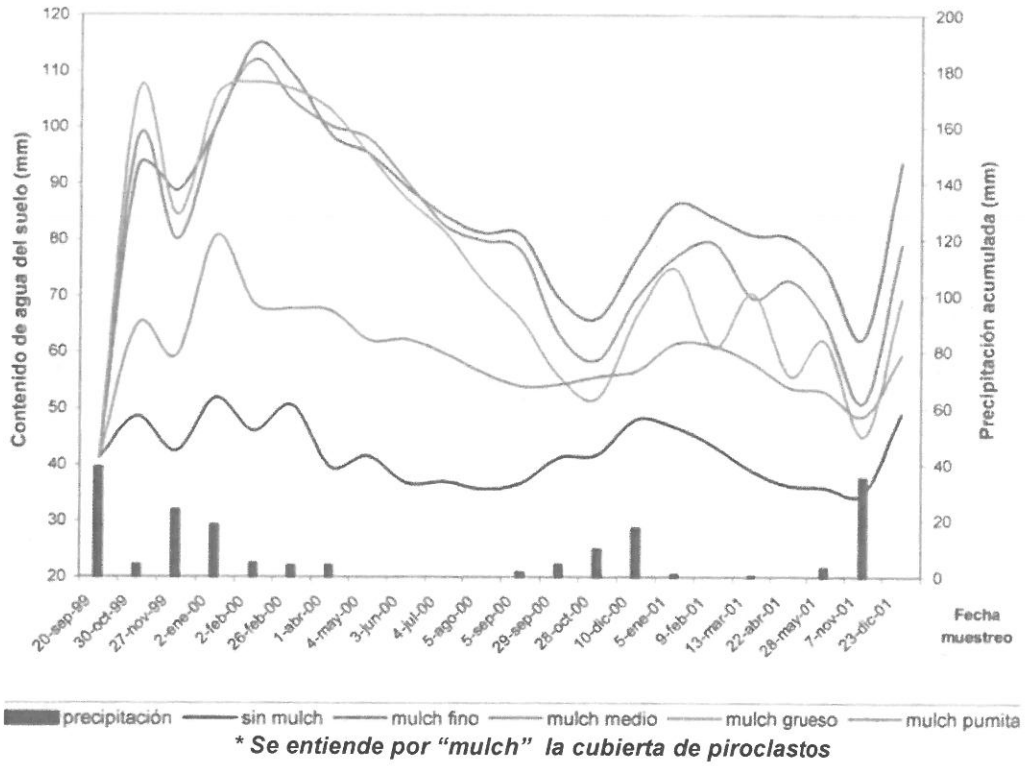


Figura 4

Evolución de la humedad del suelo bajo tres espesores de capa de piroclastos



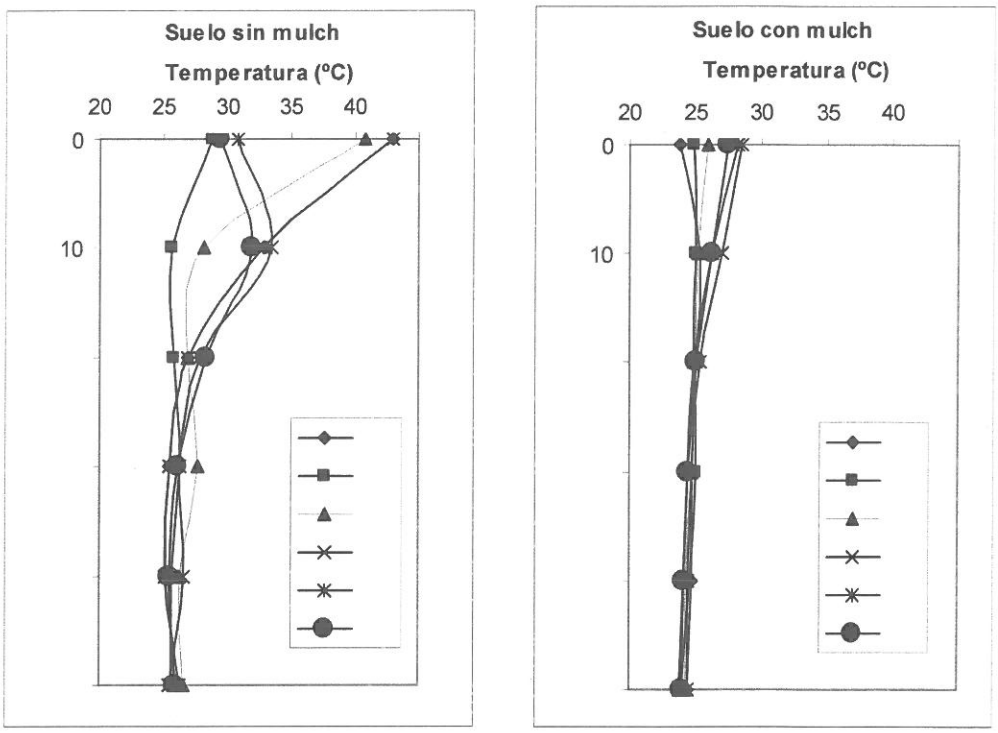
**** Se entiende por "mulch" la cubierta de piroclastos***

El cambio en las condiciones de humedad del suelo que supone la presencia de la capa superficial de piroclastos afecta a los procesos de salinización y sodificación reduciéndolos considerablemente, hasta el punto que suelos originalmente muy salinos dejan de serlo al menos en su capa arable después de haber sido cubiertos, y lo hacen en un tiempo muy corto (1-2 años). La capa de cenizas al interceptar las gotas de lluvia y disipar su energía preserva la estructura del suelo y evita la formación de sellado superficial, favoreciendo la infiltración y, en consecuencia, reduciendo la escorrentía, la pérdida de suelo, y los procesos erosivos.

Respecto a la temperatura, la capa de piroclastos, cualquiera que sea su espesor y tamaño de grano, produce un retraso en los intercambios de calor entre el suelo y la atmósfera, y una amortiguación de las fluctuaciones diarias y estacionales de la temperatura frente al suelo desnudo. Se pueden, como en el caso del contenido de humedad, hacer matizaciones en función de los dos parámetros citados. A modo de ejemplo en la figura 5 se refleja la evolución del perfil térmico, a lo largo de un día del mes de agosto, en un suelo bajo una capa de 10 cm de piroclastos de tipo medio y, en el adyacente sin cubrir. Obsérvese como bajo la capa de cenizas se reducen considerablemente las variaciones diurnales y se homogeniza la temperatura a profundidades más superficiales que en el suelo desnudo.

Figura 5

Evolución diaria del perfil térmico en un suelo cubierto y sin cubrir



**** Se entiende por" mulch" la cubierta de piroclastos***

Aunque el sistema de *arenados* en secano ha sido decisivo a lo largo de la historia para el desarrollo agrícola de Lanzarote, en esas condiciones difícilmente podía competir con otros sectores en auge. La aparición de recursos hídricos no convencionales ha permitido la incorporación de riego con lo que significa de diversificación de cultivos y aumento de la rentabilidad, hecho que puede hacer más

atractiva esta actividad. No hay que olvidar que este cambio de manejo, de secano a regadío, se está realizando en un agrosistema muy singular, manifiestamente sostenible en secano, y debe hacerse de tal manera que no se pierda ese carácter. De no hacerlo correctamente pudiera ocurrir que una actuación que puede ser positiva a corto plazo, sea negativa a medio y largo plazo.

Es por ello que en este epígrafe nos centraremos en evaluar el impacto en los suelos bajo *arenado* del uso de recursos hídricos no convencionales, aguas desalinizadas y regeneradas, con el fin de determinar los potenciales efectos de degradación y, posteriormente, establecer medidas correctoras que contribuyan a la sostenibilidad a largo plazo de este sistema. Dado que el riego se localiza fundamentalmente en los *arenados* artificiales nos hemos concentrado en ellos.

El grupo investigador del proyecto ha llevado a cabo varios trabajos preliminares sobre la influencia del cambio de manejo de secano a regadío con recursos hídricos no convencionales en las propiedades de los suelos de estos agrosistemas en la isla de Lanzarote (Díaz *et al.*,2006; Hernández *et al.*, 2005; Jiménez *et al.*, 2007a, 2007b; Tejedor et al., 2008a, 2008b, 2008c, 2011a, 2011b).

Los *arenados* ocupan una superficie de 13676 hectáreas (16% del territorio insular). De ellas aproximadamente un 4% (501 ha) están sometidas a riego, 372 ha con agua desalinizada y 129 ha con regenerada, si bien su número se va incrementando progresivamente. Hay que señalar que unas 4605 ha del total de la superficie arenada están abandonadas.

Se analiza a continuación, de forma separada, la situación de los suelos *arenados* bajo riego con aguas desalinizadas y con aguas regeneradas.

B) *Arenados* artificiales bajo riego con aguas desalinizadas

a) Descripción

El riego con agua desalinizada es una práctica habitual, aunque limitada en extensión, en Lanzarote desde los años ochenta del siglo pasado. La disponibilidad de este tipo de agua, y la existencia de una red de suministro a la mayor parte de la isla, ha permitido un progresivo aumento de la superficie de *arenados* bajo esta modalidad de riego, en detrimento de los *arenados* cultivados en secano.

Se han muestreado los suelos *arenados* de 50 parcelas en producción agrícola bajo riego con agua desalinizada, y los situados en parcelas adyacentes de *arenados* también con actividad agrícola pero en condiciones de secano, que serán utilizados como control. En el anexo 1, se encuentran las fichas descriptivas de cada una de las parcelas. Los parámetros generales que se han definido son: coordenadas de localización, posición fisiográfica, aprovechamiento, pendiente, pedregosidad dentro del suelo, evidencias de erosión hídrica y eólica, consistencia del suelo, profundidad de suelo, textura, y presencia de horizonte petrocálcico (capa enriquecida en carbonatos y endurecida). Además, con relación a la capa de piroclastos, se señala el espesor de la capa y su granulometría. Se considera igualmente el origen del suelo. En el caso de los suelos regados se tiene en cuenta también el tiempo que llevan en regadío, y los sistemas de riego.

El espesor más frecuente de la capa de piroclastos se encuentra entre 10 y 15 cm, con una granulometría de tipo medio seguida, a gran distancia, de la gruesa. La pedregosidad en el suelo suele ser baja y no es significativa la superficial. Se han

muestreado *arenados* formados sobre suelos originales, y sobre suelos transportados, en algunos casos colocados sobre jable. También se han identificado *arenados* en *gavias* inhabilitadas. La profundidad del suelo es, por tanto, muy variada oscilando desde 10-15 cm a > 50 cm. Los *arenados* sobre suelo natural suelen tener mayor profundidad que los sorribados. Como es lógico sobre *gavias* es mayor de 50 cm. Las características de la capa de piroclastos, favoreciendo la infiltración e impidiendo/reduciendo la escorrentía, se refleja en la inexistencia de evidencias de erosión hídrica. Lógicamente tampoco hay evidencias de erosión eólica, lo que ilustra la importancia de estas prácticas en la conservación del suelo.

Respecto al riego se han seleccionado *arenados* representativos de todas las situaciones, riego con goteo y aspersión, y con periodo de regadío muy variado que oscila entre 2 años y 25-30 años, si bien predominan los casos de entre 10-15 años.

b) Resultados del análisis de los suelos

En la tabla 5 se presentan los valores medios de los parámetros analizados, para los suelos *arenados* bajo riego y los adyacentes *arenados* sin regar. Se indica con un asterisco cuando las diferencias entre los parámetros en secano y regadío son estadísticamente significativas ($p< 0.05$). En el anexo 2 se encuentra la totalidad de los datos individualizados.

El análisis de los resultados pone de manifiesto el aumento significativo de la salinidad y, especialmente, del boro en los suelos regados con estas aguas. El valor medio de la CEes se encuentra en el límite de suelos ligeramente salinos (2-4 dSm^{-1}), si bien hay algún suelo en que la CEes supera los 5 dSm^{-1}. Este parámetro, por el momento, no parece constituir un problema para el desarrollo de los cultivos salvo en alguno muy sensible. El valor medio de boro extraído con agua caliente, 2.6 mg kg^{-1} supera en los suelos regados los 2 mg kg^{-1}, concentración máxima recomendada por la FAO, si bien en extracto saturado con un valor medio de 0.7±0.4 mg kg^{-1} se encuentra aún dentro de los límites de marginalidad (0.7-1.5 mg kg^{-1}), en algún caso con valores superiores a 2 mg kg^{-1}, y no hay síntomas de toxicidad en los cultivos debido a la capacidad amortiguadora de los suelos.

Según los intervalos de pH, medidos en suspensión suelo:agua 1:2.5, establecidos por el USDA, tanto los suelos regados como no regados son catalogados como ligeramente alcalinos, típico de suelos con carbonato cálcico. No se detectan problemas de sodicidad, al estar el PSI entorno al 7%. En los suelos regados hay un incremento significativo del fósforo asimilable, siendo los niveles adecuados tanto en secano como en regadío. Respecto a los micronutrientes los niveles de cobre, zinc y manganeso son normales, y hay deficiencia en hierro, siendo las diferencias significativas en este último elemento.

Los valores de carbonato son más bajos en los suelos regados con un contenido medio inferior al 15%, siendo las diferencias significativas. El orden de dominancia de los cationes cambiables es Ca > Mg > K > Na, con contenidos muy similares entre las muestras en secano y regadío. Tanto unos suelos como otros tienen niveles muy bajos de carbono orgánico y nitrógeno, inferior al 2% y 0.1%, que son normales para suelos de regiones áridas. El nitrógeno se presenta como un elemento limitante para el desarrollo de la mayoría de los cultivos.

Tabla 5

Propiedades de los suelos en arenados regados con agua desalinizada y arenados adyacentes sin regar

Parámetro	Riego	Secano
EC_{es} dS m^{-1}	1.9 ± 1.1	1.2 ± 1.7 *
pH_{es}	8.1 ± 0.2	8.2 ± 0.2 *
pH_{H2O}	8.9 ± 0.3	9.2 ± 0.3 *
RAS $(meqL^{-1})^{0.5}$	4.2 ± 2.1	4.4 ± 2.2
Ca $cmol_c$ kg^{-1}	20.0 ± 5.8	19.2 ± 4.5
Mg $cmol_c$ kg^{-1}	6.6 ± 2.3	6.3 ± 2.3
K $cmol_c$ kg^{-1}	4.2 ± 1.9	3.8 ± 1.9
Na $cmol_c$ kg^{-1}	2.4 ± 1.5	2.2 ± 1.5
CIC $cmol_c$ kg^{-1}	33.3 ± 8.2	31.6 ± 7.0
PSI %	7.1 ± 3.5	6.7 ± 3.6
$CaCO_3$ g kg^{-1}	135 ± 141	173 ± 144 *
C g kg^{-1}	4.8 ± 2.7	4.9 ± 3.2
N g kg^{-1}	0.6 ± 0.3	0.6 ± 0.3
P-Olsen mg kg^{-1}	11.1 ± 11.4	8.2 ± 14.1 *
Fe mg kg^{-1}	33.2 ± 19.3	28.1 ± 21.4*
Mn mg kg^{-1}	14.0 ± 12.8	10.7 ± 8.3
Cu mg kg^{-1}	1.7 ± 0.8	1.7 ± 0.6
Zn mg kg^{-1}	1.3 ± 1.5	1.2 ± 2.4
B mg kg^{-1}	2.6 ± 1.4	1.5 ± 0.9 *
B_{es} mg L^{-1}	0.7 ± 0.4	0.4 ± 0.2 *

n = 50; medias ± desviación estándar. * Diferencias significativas ($p<0.05$) entre muestras con y sin riego
CEes: conductividad eléctrica en extracto saturado. pHes: pH en el extracto de saturación
RAS: relación de adsorción de sodio. B_{es}: boro soluble. B, boro extraído con agua caliente

C) *Arenados* artificiales bajo riego con aguas regeneradas

a) Descripción

La disponibilidad de aguas recicladas en los últimos años ha permitido el diseño de una red de distribución de riego para la reutilización de aguas regeneradas, procedentes fundamentalmente del uso urbano de la capital, y de los núcleos de la costa sur. Conviene tener en cuenta que el agua de abasto procede de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa. El elevado coste económico y de mantenimiento del tratamiento terciario lleva a que, en algunas ocasiones, se esté utilizando agua con tratamiento secundario para riego. El principal cultivo es la batata (*Ipomoea batatas*), las variedades existentes son la cubana (6 meses, con hojas claras) y la denominada "ocho meses" (hojas palmeadas, de color oscuro). Las zonas

bajo riego se concentran en la Vega de Machín, que constituye el núcleo principal, Hoya Limpia (Tías) y Zonzamas.

Se ha muestreado la capa arable de los suelos de 30 parcelas arenadas en producción agrícola con riego por goteo con agua regenerada, y de las parcelas adyacentes arenadas con actividad agrícola en secano, como control. Las fichas de campo correspondientes se recogen en el anexo 3. Al igual que en los *arenados* bajo riego con aguas desalinizadas se describen una gran variedad de parámetros, de carácter general, específicos de *arenados,* y los relacionados con el riego.

Como en los *arenados* anteriores hay variación en el espesor de la capa de piroclastos, predominando también los de 10-15 cm, con granulometría de tipo medio. En algunos casos las cenizas están mezcladas con "polvillo". Se han muestreado *arenados* con suelos originales y transportados, y con profundidades de suelo muy variadas. Como en el caso anterior no existen evidencias de erosión hídrica ni eólica. Hay variación en el grado de conservación de la cobertura si bien, en general, es bueno o medio. Respecto al riego el sistema utilizado es el goteo, y el periodo de regadío es también muy variado; en las parcelas seleccionadas oscila entre 2 años y 20 años. Inicialmente hubo parcelas con riego por aspersión, sistema que se ha ido eliminando. Este tipo de riego dificulta el control de la zona regada al depender de parámetros como el viento, y exige un manejo aún más restrictivo. No es aconsejable su uso con este tipo de agua.

Como se señaló en el apartado de metodología se han seleccionado dos parcelas (AD55, AD57) que, originalmente estaban cubiertas con cenizas, que fueron eliminadas dejando el suelo al descubierto. En la actualidad están siendo cultivadas bajo riego con agua regenerada.

b) Resultados del análisis de los suelos

Los resultados más relevantes que reflejan la diferencia entre los suelos regados y no regados con agua regenerada son: incremento de la salinidad, de la sodicidad, del boro extraído con agua caliente y soluble, y del P-Olsen. En todos estos parámetros las diferencias son estadísticamente significativas. En la tabla 6 se presenta el valor medio de los resultados y, en el anexo 4 la totalidad de los datos.

La conductividad eléctrica en los suelos no regados se mantiene inferior a 1 dSm^{-1}, mientras que en los suelos regados el valor medio está en límite con suelos medianamente salinos (4-8 dSm^{-1}), concentración de sales que puede afectar a cultivos no resistentes. Se separan ampliamente los dos suelos en los que se ha eliminado la capa de piroclastos que se comentarán posteriormente. La misma tendencia se observa para el RAS y PSI, hecho que podría afectar a la permeabilidad del suelo. Los suelos regados se encuentran en el límite de suelos ligeramente sódicos (PSI = 7-15%). No obstante, las tasas de acumulación de sales y de sodificación resultan inferiores a los niveles predichos al aplicar modelos de transporte de solutos (WATSUIT, HYDRUS), lo que puede atribuirse al efecto de la cobertura de cenizas en la evaporación, especialmente efectivo en las primeras fases de crecimiento del cultivo. Con relación a los cationes cambiables el orden de dominancia es Ca > Mg > K > Na, si bien en los suelos regados el Na aumenta considerablemente.

El análisis estadístico de los micronutrientes entre los suelos regados y no regados, no presenta diferencias estadísticamente significativas a excepción del boro, cuyo aumento con el riego fue significativo, tanto en fase acuosa como adsorbido. En muchos casos las concentraciones de boro soluble han sobrepasado los valores

críticos establecidos para el cultivo. Aún así, no se han detectado síntomas de fitotoxicidad. Los niveles de cobre y zinc son normales, y hay deficiencia en hierro. A la mayor disponibilidad de fósforo en los suelos regados puede contribuir la carga de nutrientes que presentan las aguas regeneradas, siendo los niveles adecuados en regadío. Si bien el N mantiene valores próximos en los suelos regados y no regados, el C tiene un aumento importante en los regados.

Tabla 6

Propiedades de los suelos bajo arenados regados con agua regenerada y arenados adyacentes sin regar

Parámetro	Riego	Secano
CE_{es} dSm^{-1}	3.9 ± 4.4	0.9 ± 0.3 *
pH_{es}	7.9 ± 0.4	8.1 ± 0.4 *
pH_{H2O}	8.7 ± 0.7	9.2 ± 0.2 *
RAS $(meqL^{-1})^{0.5}$	6.9 ± 3.0	4.2 ± 1.6 *
Ca $cmol_c$ kg^{-1}	17.0 ± 4.3	17.1 ± 5.2
Mg $cmol_c$ kg^{-1}	5.8 ± 1.7	5.6 ± 2.6
K $cmol_c$ kg^{-1}	2.8 ± 1.4	2.8 ± 1.2
Na $cmol_c$ kg^{-1}	2.3 ± 1.2	1.5 ± 0.9 *
CIC $cmol_c$ kg^{-1}	28.0 ± 6.7	27.0 ± 7.9
PSI %	8.1 ± 3.1	6.1 ± 4.3 *
$CaCO_3$ g kg^{-1}	70.1 ± 75.9	60.6 ± 70.6
C g kg^{-1}	6.7 ± 4.5	5.2 ± 2.5
N g kg^{-1}	0.6 ± 0.5	0.5 ± 0.3
P-Olsen mg kg^{-1}	29.5 ± 39,1	6.6 ± 11.8 *
Fe mg kg^{-1}	37.6 ± 26.8	30.0 ± 21.6
Mn mg kg^{-1}	41.8 ± 45.3	35.8 ± 49.8
Cu mg kg^{-1}	2.4 ± 1.0	2.3 ± 1.1
Zn mg kg^{-1}	2.3 ± 2.9	1.3 ± 0.7
B mg kg^{-1}	2.8 ± 1.0	1.6 ± 0.6 *
Bes mg L^{-1}	0.6 ± 0.3	0.3 ± 0.3 *

n = 30; medias ± desviación estándar. *: diferencias significativas ($p<0.05$) entre muestras con y sin riego
CEes: conductividad eléctrica en extracto saturado. pHes: pH en el extracto de saturación
RAS: relación de adsorción de sodio B_{es}: boro soluble. B: boro extraído con agua caliente

En la tabla 7 se reflejan algunos parámetros significativos de los suelos de las parcelas regadas en las que se eliminó la capa de cenizas superficial, además de los resultados obtenidos en las parcelas adyacentes arenadas sin regar, e igualmente los valores medios de los suelos *arenados* regados.

Aunque el número de parcelas en las que se quitó la cobertura es pequeño para poder ser concluyente, se observan tendencias claras. Los tres parámetros claves, conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable y concentración de boro, tanto soluble como adsorbido, aumentan en una proporción mucho mayor en los

suelos descubiertos regados que en los suelos cubiertos regados. Y además lo hacen con una cierta rapidez (estimada entre 3-5 años sin cobertura con riego). Los valores de sales, sodio cambiable y boro están muy por encima de los límites recomendables y, de no tomar medidas plantearán problemas de degradación. Este hecho es lógico, y esperable, dado que al eliminar la capa de piroclastos se ha perdido el efecto positivo que ejerce en el lavado de sales y la reducción de la evaporación. Es una práctica no recomendable.

Tabla 7

Suelos, en los que se eliminó la capa de piroclastos, regados con agua regenerada, suelos adyacentes arenados sin regar, y valores medios de suelos arenados regados

	Parcelas 55/56		Parcelas 57/58		Promedio suelos *arenados* regados
Parámetro	Eliminado *arenado* regados	*Arenado s*	Eliminado *arenado* regados	*Arenado s*	
CE_{es} dSm^{-1}	25,20	0,66	8,15	0,61	3.9 ± 4.4
Na $cmol_c$ kg^{-1}	3,27	1,04	2,35	0,73	2.3 ± 1.2
PSI %	9,5	2,9	8,0	2,8	8.1 ± 3.1
B mg kg^{-1}	3,99	1,50	3,97	1,46	2.8 ± 1.0
Bes mg L^{-1}	1,40	0,19	1,01	0,19	0.6 ± 0.3

CEes: conductividad eléctrica en extracto saturado. PSI: porcentaje de sodio intercambiable
RAS: relación de adsorción de sodio B_{es}: boro soluble. B: boro extraído con agua caliente

En relación con las aguas desalinizadas, el riego con las aguas regeneradas ha llevado a un mayor incremento de la salinidad, sodicidad y concentración de boro.

III.1.2. *Jables*

a) Descripción

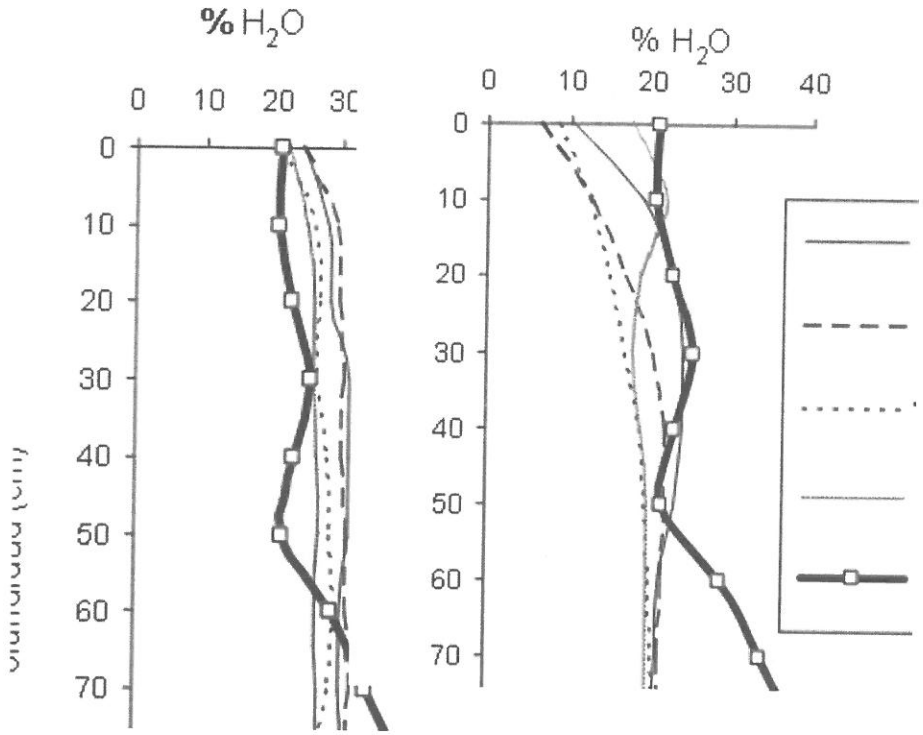
La agricultura en jable está también muy arraigada en la isla de Lanzarote y, en condiciones de secano, ha tenido su importancia especialmente para el cultivo de batata, calabazas, melones y sandías. Se basa en la presencia en la superficie del suelo de una capa de arenas eólicas marinas que son transportadas desde las playas del norte de la isla hacia el interior por la acción de los vientos alisios dominantes, acumulándose de forma natural sobre el suelo con espesores muy variados, superior a 2 metros en la proximidad de la playa y en las zonas deprimidas del interior, y entre 20 cm y 1 metro en el resto. Normalmente el uso agrícola tiene lugar cuando el espesor es inferior a un metro. Como es bien conocido el procedimiento para su puesta en cultivo no se entrará en ello.

La capa superficial de arena ejerce, como en el caso de los *arenados*, un efecto protector del suelo, favorece la infiltración del agua en el suelo, reduce las pérdidas de agua por evaporación, y tiene influencia en la temperatura del suelo amortiguando las variaciones diurnales y estacionales. Para conocer cómo influye en la conservación de agua en el suelo en un trabajo anterior se eliminó la capa de arena superficial y se hizo un seguimiento del contenido de agua a diferentes profundidades en el suelo cubierto y sin cubrir, en condiciones de secano (Tejedor *et al.*, 2005). Un ejemplo de los resultados se refleja en la figura 6, donde se agrupa la humedad por estaciones. Hay que resaltar que la reducción de la humedad a contenidos inferiores a

los correspondientes al punto de marchitamiento fue muy rápida en los primeros 30/40 cm, en la primera medida después de eliminar la capa de arena. Las diferencias entre suelo cubierto y descubierto son estadísticamente significativas. Obsérvese que en el suelo cubierto el agua está disponible para las plantas en los primeros 60 cm, cosa que no ocurre en el suelo descubierto.

Figura 6

Humedad del suelo con (izqda) y sin cubierta de jable (dcha)



La superficie de cultivo en *jable* es del orden de 5428 ha, con un importante grado de abandono (3502 ha). El riego con aguas regeneradas y desalinizadas en diversas zonas de jable de la isla se ha convertido en una práctica común en los últimos cinco años, aumentándose progresivamente la superficie afectada. En la actualidad hay unas 10 ha regadas con agua desalinizada y 102 ha con agua regenerada. Debido a este hecho nuestro trabajo se ha dirigido fundamentalmente a conocer cuál es el impacto del riego con recursos hídricos no convencionales en estos suelos cubiertos por jable. Para ello se han identificado las áreas y parcelas con una mayor actividad agrícola sustentada por sistemas de riego con este tipo de aguas.

Se han seleccionado 30 zonas con suelo cubierto con jable (figura 1). En cada una de ellas se han muestreado los suelos de parcelas sometidas a riego (5 con agua desalinizada y 25 con agua regenerada) y los de parcelas adyacentes no regadas, que habitualmente son cultivados en secano, y que serán utilizados como control. Las fichas descriptivas se encuentran en el anexo 5. Como en los *arenados* se señalan las características generales así como las más específicas de los *jables*, y las relativas al riego y los cultivos.

El espesor de la capa de jable varía, si bien predomina en las parcelas seleccionadas el comprendido entre 10 y 30 cm, también es variable la profundidad de suelo. Se han seleccionado parcelas con periodos de riego que oscilan entre algunos meses y 10 años con agua regenerada, y entre 5 y 10 años con agua desalinizada. Aunque el tipo de riego dominante es por goteo, se ha identificado alguna parcela con

riego por aspersión con agua regenerada. Como se comentó al analizar los suelos *arenados* regados con agua regenerada la aspersión es una práctica no aconsejable que exige una mayor restricción de la calidad del agua y un manejo mucho más cuidadoso.

b) Resultados del análisis de los suelos

En la tabla 8 se presentan los valores medios y la desviación estándar de los diferentes parámetros estudiados, de los suelos bajo jable regados con aguas regeneradas y de los adyacentes sin regar. En el anexo 6 se encuentra la totalidad de los resultados.

La tendencia es similar a la observada en los suelos *arenados* regados con aguas regeneradas, es decir incremento de la salinidad, del boro extraído con agua caliente y soluble, y del P-Olsen. Las diferencias en la CEes, y en las dos formas de boro son estadísticamente significativas.

La CEes se duplica en las parcelas regadas aunque el valor medio está en límite de suelos ligeramente salinos (2-4 dSm^{-1}). El porcentaje de sodio intercambiable no alcanza valores que plantee problemas de sodicidad. El orden de dominancia de los cationes en el complejo de cambio es también Ca > Mg > K > Na

El análisis estadístico de los micronutrientes no muestra diferencias estadísticamente significativas a excepción del boro, donde si las tiene tanto en fase soluble como adsorbido. En algunos casos las concentraciones de boro soluble han sobrepasado los valores críticos establecidos para el cultivo. Los valores de los restantes micronutrientes son adecuados excepto para el hierro (deficiente <60 mg kg^{-1}. Como ocurría en los suelos *arenados* tampoco en esta ocasión se han detectado síntomas de fitotoxicidad. El promedio de fósforo es adecuado en los suelos regados y está en el límite de ser deficiente en secano (< 8 mg kg^{-1}). El contenido de nitrógeno y carbono orgánico es bajo, y se trata de suelos ricos en carbonatos (27 y 25% de media en suelos regados y en secano respectivamente).

No se observan diferencias significativas entre los datos obtenidos bajo riego por goteo o aspersión, aunque bien es cierto que hay que tomarlos con precaución ya que el número de parcelas con aspersión es pequeño (n=4). Como en los otros agrosistemas estudiados aún no se observan diferencias remarcables en función de los años de riego, es consecuencia de que el manejo varía de una finca a otra: intensidad del cultivo, fertilización, dosis de riego,...

Tabla 8

Propiedades de los suelos bajo jable regados con agua regenerada y sin regar

Parámetro	Riego	Secano
CE_{es} dSm^{-1}	2.1 ± 1.5	1.0 ± 0.4 *
pH_{es}	8.2 ± 0.3	8.4 ± 0.2 *
pH_{H2O}	9.1 ± 0.3	9.3 ± 0.2 *
RAS $(meqL^{-1})^{0.5}$	5.3 ± 1.8	4.8 ± 1.8
Ca $cmol_c$ kg^{-1}	15.2 ± 3.9	14.5 ± 3.2
Mg $cmol_c$ kg^{-1}	6.5 ± 2.4	7.0 ± 2.4
K $cmol_c$ kg^{-1}	1.7 ± 1.4	2.4 ± 1.3
Na $cmol_c$ kg^{-1}	1.4 ± 0.8	2.0 ± 2.2
CIC $cmol_c$ kg^{-1}	24.7 ± 6.3	26.0 ± 6.6
PSI %	5.7 ± 2.7	7.4 ± 6.0
$CaCO_3$ g kg^{-1}	269.2 ± 169.1	248.2 ± 157.2
C g kg^{-1}	3.8 ± 2.0	3.5 ± 1.6
N total g kg^{-1}	0.4 ± 0.3	0.5 ± 0.3 *
P-Olsen mg kg^{-1}	11.9 ± 21.1	7.0 ± 6.2
Fe mg kg^{-1}	33.6 ± 15.0	36.1 ± 27.2
Mn mg kg^{-1}	27.7 ± 32.5	31.9 ± 38.7
Cu mg kg^{-1}	2.0 ± 1.0	2.3 ± 1.0
Zn mg kg^{-1}	1.1 ± 0.7	1.0 ± 0.3
B mg kg^{-1}	1.7 ± 0.6	1.3 ± 0.6 *
B_{es} mg L^{-1}	0.5 ± 0.3	0.3 ± 0.1 *

n = 25; medias ± desviación estándar. * =diferencias significativas ($p<0.05$) entre muestras con y sin riego
CEes: conductividad eléctrica en extracto saturado. pHes: pH en el extracto de saturación
RAS: relación de adsorción de sodio B_{es}: boro soluble. B: boro extraído con agua caliente

Respecto a los suelos bajo jable regados con agua desalinizada el número de parcelas estudiado es pequeño para realizar un análisis estadístico. No obstante se observa ya un aumento de la conductividad eléctrica y de la relación de absorción de sodio, así como del boro en algunas muestras.

III.1.3. *Gavias*

a) Descripción

Las *gavias*, sistemas basados en el aprovechamiento de las aguas de escorrentía, han tenido un papel no despreciable en la agricultura de la isla de Lanzarote. Como es bien conocido están formadas por una zona de captación de agua y por las parcelas de cultivo siendo los elementos principales de ésta, la propia

parcela, los trastones (caballones o paredes de tierra que la rodean), la torna (entrada de agua), desagüe (salida de agua hacia otra gavia o a un barranquillo) y caños (sencillas canalizaciones, de tierra, piedras o cemento, que llevan el agua desde los barranquillos a la parcela). Para evitar el deterioro de los trastones se suelen reforzar con muros de piedras y/o una línea de arbustos.

El diseño de este sistema así como su influencia en los procesos de conservación de agua en el suelo y dinámica de la salinización-sodificación ha sido estudiado por el grupo investigador del proyecto (Díaz, 2004; Jiménez *et al.*, 2002; Tejedor *et al.* 2002a).

Ocupan una superficie de 606 hectáreas, estando abandonadas del orden de 574 ha. Como se refleja en la figura 1 el muestreo se ha realizado en la capa arable de 83 parcelas representativas, 82 en condiciones de secano, y sólo una *rosa* (conjunto de *gavias* en posición escalonadas), situada en la entrada de Arrieta (inhabilitada para la captación de agua de escorrentía), se ha identificado con parcelas sometidas a riego con agua desalinizada. Se ha muestreado una de ellas (G8).

En el anexo 7 se encuentran las fichas descriptivas de cada una de las parcelas. Los parámetros generales que se han definido son, como en los casos anteriores: coordenadas de localización, posición fisiográfica, aprovechamiento, vegetación (tipo y porcentaje de recubrimiento), pendiente, pedregosidad mayor y menor de 25 cm, afloramientos rocosos, evidencias de erosión hídrica y eólica, consistencia del suelo, sellado superficial, profundidad de suelo, textura, y presencia de horizonte petrocálcico (capa enriquecida en carbonatos y endurecida). Además, se ha incidido en el estado de conservación de las estructuras características de este agrosistema, en concreto, de los trastones, muros de piedra si los hubiera, y caños, y en sus posibilidades de restauración. Se han definido tres niveles del estado de conservación, buena, media o mala, y tres de recomendación de restauración, alta, media o baja.

Aunque hay variedad en cuanto a las características generales de las *gavias,* hay algunas que son más frecuentes, en concreto:

- Predominan las pendientes inferiores al 10%
- No hay pedregosidad superior a 25 cm, la inferior a este tamaño está más presente sin llegar a ser catalogada de "muchas"
- No se observan afloramientos rocosos
- La profundidad del suelo suele ser superior a 1m, y en muy pocos casos es inferior a 50 cm
- El suelo no presenta capa de sellado superficial
- Las parcelas, en un porcentaje muy elevado, están abandonadas y cubiertas con hierbas y matorrales
- No se observan síntomas de erosión eólica

Si bien un buen diseño de las *gavias* favorece la reducción de los procesos erosivos asociados al agua, uno inadecuado o su abandono los favorece. En el parámetro de evidencias de erosión hídrica están muy distribuidas las *gavias* entre los tres niveles definidos, no hay, moderada y alta, con mayor representación el nivel intermedio.

Respecto a los elementos principales que conforman la estructura de las *gavias,* aunque en algunos casos el nivel de conservación es bueno, predominan aquellas en que es malo o de tipo medio. Los caños, en primer lugar, y los trastones en segundo son los elementos que están más deteriorados. A pesar de ello, se

considera que un 60-70% de las *gavias* tienen posibilidades alta y media de restauración.

b) Resultados de los análisis de suelo

En la tabla 9 se presenta el valor medio de todas las muestras, para las principales características químicas de la capa arable de los suelos de *gavias*, señalando la desviación estandar. En el anexo 8 se encuentran todos los resultados.

Como puede observarse se trata de suelos que no son salinos ni sódicos, pues tienen valores de CEes y RAS bajos, inferiores a los límites que se consideran para esos suelos (USSL Staff, 1954). Estos parámetros no limitan los cultivos. La inundación periódica a que están sometidos produce el lavado de sales, ésta es una de las principales diferencias con los suelos naturales, situados fuera del agrosistema, que son extremadamente salinos y sódicos, y que impiden el desarrollo de cualquier tipo de cultivo, incluso de los más tolerantes a las sales.

De acuerdo a los intervalos establecidos por la USSL Staff para el pH medido en suspensión suelo:agua los suelos de gavia deben considerarse como medianamente básicos. Son ricos en carbonatos (> 15%), pobres en nitrógeno (<0.1%) y carbono orgánico (< 2%), con valores típicos de un territorio extremadamente árido, con escasa vegetación y muy baja producción de biomasa. No obstante, tienen valores ligeramente más altos que los suelos naturales adyacentes situados fuera del sistema. Este hecho se explica por los aportes orgánicos que llegan con el agua de escorrentía.

Tabla 9
Propiedades de los suelos de gavias

Parámetro		Parámetro	
CE_{es} dS m^{-1}	1.8 ± 1.9	$CaCO_3$ g kg^{-1}	190 ± 110
pH_{es}	7.6 ± 0.3	N total g kg^{-1}	0.9 ± 0.7
pH_{H2O}	9.2 ± 0.2	C g kg^{-1}	6.0 ± 2.0
RAS $(meqL^{-1})^{0.5}$	8.6 ± 6.2	P-Olsen mg kg^{-1}	4.0 ± 2.2
Ca $cmol_c$ kg^{-1}	16.4 ± 3.8	Fe mg kg^{-1}	27.4 ± 13.1
Mg $cmol_c$ kg^{-1}	8.4 ± 2.0	Mn mg kg^{-1}	21.9 ± 16.0
K $cmol_c$ kg^{-1}	3.7 ± 1.0	Cu mg kg^{-1}	1.4 ± 0.6
Na $cmol_c$ kg^{-1}	3.0 ± 1.8	Zn mg kg^{-1}	1.3 ± 0.4
CIC $cmol_c$ kg^{-1}	31.5 ± 5.0	B mg kg^{-1}	3.0 ± 1.2
PSI (%)	9.8 ± 5.9	B_{es} mg L^{-1}	0.7 ± 0.3

n= 83; media ± desviación estándar
CEes: conductividad eléctrica en extracto saturado pHes: pH en el extracto de saturación
RAS: relación de adsorción de sodio B_{es}: boro soluble B: boro extraído con agua caliente

Con relación a los cationes cambiables el orden de dominancia es Ca > Mg > K ≥ Na. Presentan niveles altos de calcio (Ca > 10 $cmol_c$ kg^{-1}), magnesio (Mg > 0.5 $cmol_c$ kg^{-1}), potasio (> 0.6 $cmol_c$ kg^{-1}) y sodio (> 1 $cmol_c$ kg^{-1}). El alto contenido de

cationes divalentes en estos suelos explica la apetencia de los coloides por ellos en lugar de por otros monovalentes como el sodio, de aquí los porcentajes de PSI razonablemente bajos. Es en el sodio cambiable donde se observan de nuevo las mayores diferencias con los suelos naturales adyacentes, al ser en estos el catión predominante después del calcio. La capacidad de intercambio catiónica responde bien a la mineralogía dominada por arcillas tipo ilita y caolinita.

Si se utilizan como referencia los niveles de fósforo Olsen establecidos para cultivos como maíz y cereales con bajos requerimientos en este elemento, y que constituyen los cultivos más comunes en *gavias*, se observa que el valor medio de fósforo está por debajo del límite de niveles apropiados (> 8 $mgkg^{-1}$).

Respecto a los micronutrientes los valores medios son adecuados excepto para el hierro y el boro. Se considera (FAO, 1982) que niveles inferiores a 60 mg kg^{-1} de hierro son deficientes; los suelos en estudio tienen un valor medio de 27.4± 13.1 mg kg^{-1}. Como ya se ha comentado es aceptado (USSL Staff, 1954) que por debajo de 0.7 mg kg^{-1} de boro en extracto de pasta saturada los cultivos no se ven afectados, entre 0.7 y 1.5 mg kg^{-1} se sitúa el limite de marginalidad, y por encima de esta última cifra se plantean problemas importantes de toxicidad. El valor promedio de Bes en los suelos de estudio está en el límite de lo recomendado por lo que existen *gavias* con concentraciones inadecuadas para determinados cultivos.

III.1.4. Bancales

a) Descripción

En la isla de Lanzarote, como en el resto de las islas del archipiélago, una práctica habitual ha consistido en aumentar la superficie útil para cultivo mediante la construcción de terrazas en zonas de pendiente de difícil explotación. Son conocidas como bancales (denominación que utilizaremos) y, más concretamente en las islas como "cadenas". Ha supuesto un cambio importante en el paisaje, creando zonas horizontales, o con poca pendiente, donde no las había, y modificando el perfil del suelo para que sea más eficaz, no sólo para la agricultura sino también para la conservación del suelo y agua. Este aspecto es fundamental en un territorio árido con alto riesgo de desertificación, que, además, es Reserva de Biosfera.

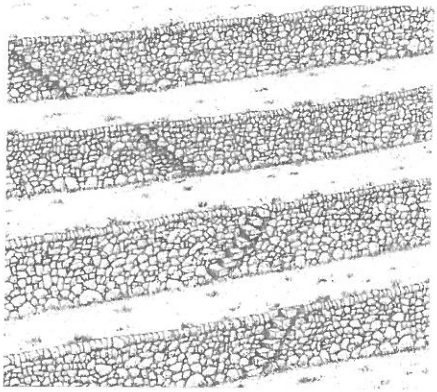
En este apartado se trata de describir las principales tipologías de bancales existentes en la isla, y su nivel de conservación, y posibilidades de recuperación de sus funciones. Para su caracterización se ha seguido el sistema utilizado en el proyecto PATTER (Patrimonio de Terrazas), proyecto europeo que trata de revalorizar el patrimonio abancalado existente en Europa (Consell de Mallorca, 2002). Se comparan también las propiedades de sus suelos con los adyacentes no abancalados, con el objetivo de estudiar la influencia de estas estructuras en la conservación de los suelos.

Se ha contabilizado una superficie de bancales de 2653 ha, de las cuales 2435 ha están abandonadas. Unas 820 ha están *arenadas*. Se han descrito y muestreado los suelos de la capa arable de 50 parcelas abancaladas así como los de parcelas adyacentes sin aterrazar. En el anexo 9 se encuentran las fichas de campo con los datos generales de las parcelas, incluyendo además información relativa al diseño de las mismas: disposición de las terrazas, aparejos, coronamiento, presencia de otros elementos constructivos (contrafuertes, cortavientos para frutales, refugios, escaleras, canales), dimensiones de las terrazas, volumen total de suelo por terraza, volumen de suelo desalojado por terraza, cota máxima y mínima, longitud entre estas dos cotas,

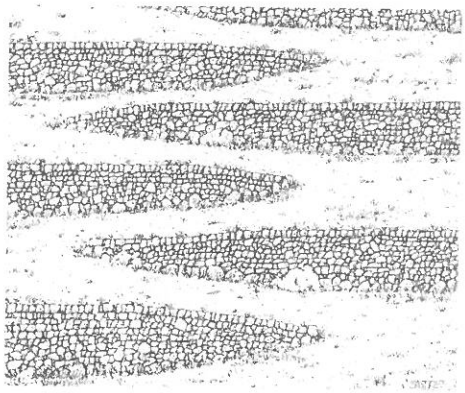
tipo de rellano, estado de conservación, posibilidades de restauración y litología del muro. Además, en aquellos bancales en los que el suelo ha sido cubierto con piroclastos se señala el espesor de la capa, granulometría de la misma y su grado de conservación.

La disposición de los bancales suele ser consecuencia de una serie de parámetros físicos tales como pendiente, litología, hidrología, etc., y se define según aproximación a un cierto orden geométrico. Entre las tipologías de campos de bancales descritas en el proyecto citado las más frecuentes en Lanzarote responden a los tipos denominados: paralela continua, paralela en zigzag y geométrica no paralela (figura 7). En la paralela continua los muros están alineados paralelamente de forma continua o con pequeñas interrupciones. En la paralela zigzag los muros se disponen también de forma más o menos paralela pero no se prologan a lo largo de todo el espacio abancalado, dejando zonas sin muros que dan un aspecto en zigzag. En la geométrica no paralela el conjunto de los bancales no se ajusta a soluciones regulares.

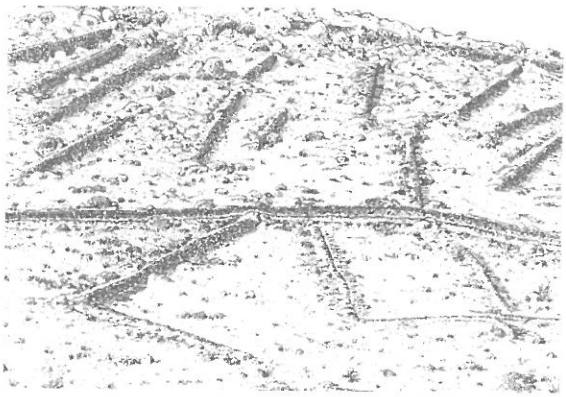
Figura 7
Disposición de los bancales



Paralela continua



Paralela en zig-zag

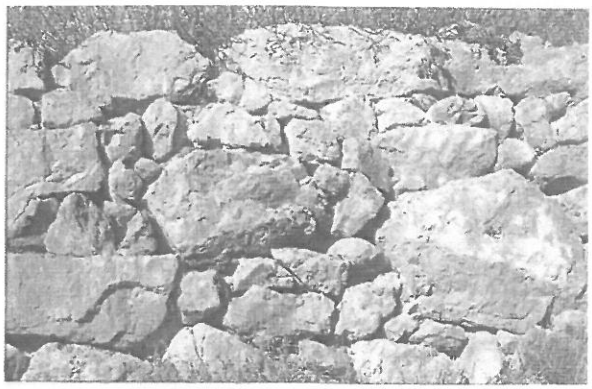


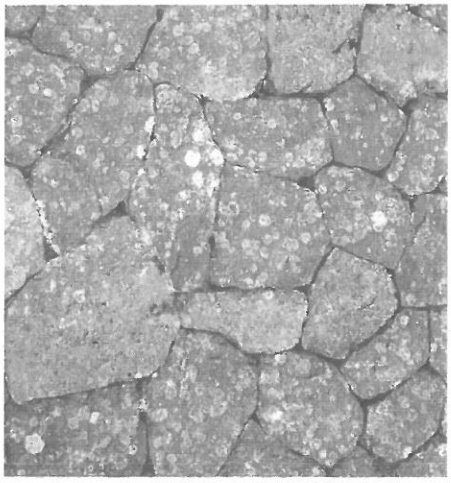
Geométrica no paralela

El tipo de muro o aparejo se refiere a si la piedra que conforma el muro ha sido trabajada, en qué grado, y si ha adquirido alguna forma geométrica. Tres son las categorías identificadas en Lanzarote: aparejo no trabajado, irregular poco trabajado e irregular trabajado (figura 8). En el primer caso no hay evidencias de que la piedra haya sido modificada y se dispone de forma desordenada. En el segundo la piedra ha sido labrada ligeramente para obtener piezas con cara vista y posterior que faciliten su colocación. El tercero es similar al anterior pero con un grado mucho mayor de trabajo de la piedra

Figura 8
Tipos de muros o aparejos


No trabajado


Irregular poco trabajado

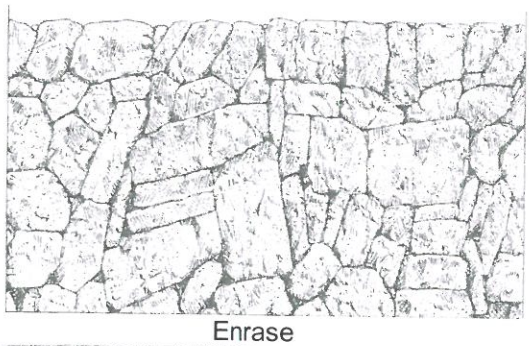

Irregular trabajado

El coronamiento de los muros responde a la forma de terminación de su parte superior. En algunos casos no existe ningún tipo constructivo (sin coronamiento), en otros consiste en una nivelación de las piedras de la fila superior (enrase) y, en otros el muro está terminado con una fila de piedras con forma más o menos rectangular (corona) (figura 9). En Lanzarote predominan las dos primeras.

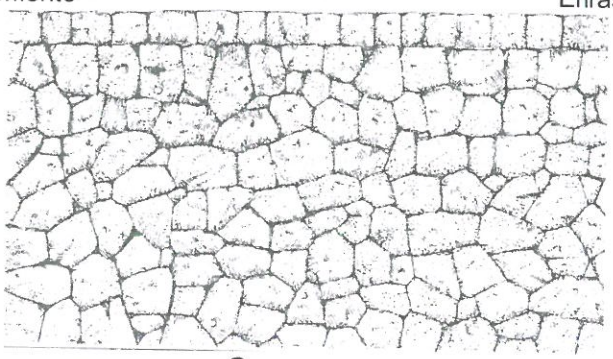
Figura 9
Tipos de coronamiento



Sin coronamiento



Enrase



Corona

No es frecuente la existencia de otros elementos constructivos asociados a los bancales. Se han identificado sólo algunos, y no bien representados, caso de canales, refugios, cortavientos, contrafuertes y escaleras.

Respecto a las dimensiones de los bancales varían mucho dependiendo de su situación, especialmente de la pendiente. La longitud de los muros se encuentra entre 15.6 m y 121 m, el ancho entre 0.3 y 1.4 m, y la altura entre 0.7 y 1.8 m, habiéndose descrito cuatro casos con valores alrededor de 2.5 m. El ancho del bancal oscila entre 2.4 m y 17.4 m. El porcentaje de la longitud de los muros no conservada es un parámetro también de interés pues está relacionado con las posibilidades de pérdida de suelo del bancal, fluctúa entre un 2% y un 90%. Hay bancales con rellano plano y con una cierta pendiente. En la tabla 10 se presenta un resumen de los valores de los parámetros más representativos de los bancales.

Tabla 10
Parámetros característicos de los bancales

Parámetro	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
Longitud de muros (m)	43.8	15.6	121.0	22.1
Altura muros (m)	1.3	0.6	2.7	0.5
Ancho muros (m)	0.6	0.3	1.4	0.2
Ancho de terrazas (m)	7.5	2.4	17.4	2.8
Muros no conservados (%)	41.7	0.0	90.4	26.2
Profundidad de suelo (m)	0.6	0.3	1.0	0.3
Volumen de suelo por terraza (m^3)	209.0	41.3	665.9	159.0
Volumen de suelo perdido por terraza (m^3)	80.0	0.0	342.0	77.7

En cuanto a las características de las vertientes en que se encuentran los bancales, con relación a la pendiente, dominan las fuertes (20-30 %) y muy fuertes (30-50 %) e, incluso, hay en las catalogadas como escarpadas (>50 %). Con relación al estado de conservación es muy variado, dependiendo de muchos factores en especial del uso; alrededor del 65% de los bancales analizados tienen un grado de conservación considerado malo o muy malo (destruido), mientras que un 34 % puede definirse como bueno. Por ello las posibilidades de restauración son también variadas, si bien por las importantes funciones que realizan estos sistemas se ha considerado que, alrededor del 60% de los bancales estudiados merecerían ser recuperados.

Comparando los suelos de los bancales con los adyacentes naturales sin abancalar se observan diferencias de campo muy significativas. Mientras que en los bancales predominan las evidencias moderadas de erosión hídrica en los suelos adyacentes sobresalen las catalogadas como severas. La erosión eólica es en los dos casos de nivel bajo, si bien en los suelos no abancalados la catalogación está más distribuida. La profundidad del suelo es lógicamente mayor en los suelos abancalados al ser menor los procesos erosivos. Hay bancales donde los suelos han sido cubiertos con una capa de piroclastos basálticos de espesor normalmente de 10-15 cm, y de tamaño de grano variado entre medio y grueso. Son éstas las terrazas que con más frecuencia se utilizan, aunque hay que destacar el elevado nivel de abandono que tienen.

b) Resultados del análisis de los suelos

En la tabla 11 se reflejan los valores medios de los parámetros analizados de los suelos de bancales y de las parcelas adyacentes con suelos naturales sin abancalar. En el anexo 10 se encuentran todos los resultados.

La influencia que los bancales ejercen en la conservación de suelo y agua se pone también de manifiesto en los parámetros físico-químicos. Los valores medios de salinidad, relación de adsorción de sodio, sodio cambiable, porcentaje de saturación en sodio, carbonatos y boro son más elevados en los suelos naturales, siendo las diferencias significativas en la mayoría de los parámetros. Este hecho es consecuencia del mayor grado de humedad que mantienen los suelos de los bancales y que no favorece, o lo hace en menor grado, procesos de degradación como son la salinización y sodificación. Tanto unos suelos como otros son pobres en carbono y nitrógeno, y deficientes en hierro.

Tabla 11

Propiedades de los suelos de bancales y adyacentes sin abancalar

Parámetro	Suelos de bancales	Suelos fuera de bancales
CE_{es} dSm^{-1}	0.9 ± 0.3	2.3 ± 5.2
pH_{es}	8.4 ± 0.2	8.3 ± 0.4
pH_{H2O}	9.0 ± 0.4	9.1 ± 0.3 *
RAS $(meqL^{-1})^{0.5}$	3.3 ± 1.5	7.9 ± 12.3 *
Ca $cmol_c$ kg^{-1}	20.2 ± 7.2	17.6 ± 6.6 *
Mg $cmol_c$ kg^{-1}	9.2 ± 4.4	8.6 ± 2.9
K $cmol_c$ kg^{-1}	3.5 ± 1.4	3.5 ± 1.3
Na $cmol_c$ kg^{-1}	1.6 ± 0.6	3.2 ± 4.2 *
CIC $cmol_c$ kg^{-1}	34.5 ± 9.6	32.8 ± 9.1
PSI %	4.8 ± 2.1	9.3 ± 9.2 *
$CaCO_3$ g kg^{-1}	121 ± 102	201 ± 149 *
C g kg^{-1}	7.8 ± 5.1	6.6 ± 4.2
N g kg^{-1}	0.9 ± 0.5	0.7 ± 0.4 *
P-Olsen mg kg^{-1}	18.3 ± 13.4	19.4 ± 16.8
Fe mg kg^{-1}	28.3 ± 27.1	17.4 ± 14.3 *
Mn mg kg^{-1}	18.5 ± 26.0	7.1 ± 8.7 *
Cu mg kg^{-1}	2.3 ± 1.3	1.5 ± 0.7 *
Zn mg kg^{-1}	1.0 ± 0.7	1.3 ± 2.2
B mg kg^{-1}	1.7 ± 0.9	2.0 ± 1.0
Bes mg L^{-1}	0.7 ± 0.4	1.1 ± 1.5 *

n = 50; medias± desviación estándar ; * = diferencias significativas ($p<0.05$) entre suelos de bancales y sin abancalar

CEes: conductividad eléctrica en extracto saturado; pHes: pH en el extracto de saturación

RAS: relación de adsorción de sodio; B_{es}: boro soluble; B: boro extraído con agua caliente

Teniendo en cuenta, como ya se ha comentado, que parte de los bancales estudiados tenían una capa de piroclastos superficial, se ha hecho también un análisis pormenorizado entre los suelos de los bancales *arenados* y los no *arenados* (Tabla 12).

En general la fertilidad de las parcelas aterrazadas arenadas es más alta. Los parámetros responsables de la salinidad y sodicidad del suelo, CE, RAS y PSI, son más bajos en los suelos *arenados*, siendo la diferencia estadísticamente significativa en lo que respecta a la CE_{es}. El boro soluble es también más bajo en los suelos de los bancales arenados.

Tabla 12
Propiedades de los suelos de bancales arenados y sin arenar

Parámetro	Terrazas arenadas	Terrazas no arenadas
CE_{es} dSm^{-1}	0.8 ± 0.2	1.0 ± 0.4 *
pH_{es}	8.4 ± 0.2	8.3 ± 0.2
pH_{H2O}	8.9 ± 0.4	9.0 ± 0.3
RAS $(meqL^{-1})^{0.5}$	3.0 ± 0.8	3.6 ± 1.9
Ca $cmol_c$ kg^{-1}	20.3 ± 8.4	17.8 ± 5.0 *
Mg $cmol_c$ kg^{-1}	10.1 ± 6.1	8.4 ± 1.7
K $cmol_c$ kg^{-1}	3.0 ± 1.4	4.0 ± 1.2 *
Na $cmol_c$ kg^{-1}	1.5 ± 0.5	1.7 ± 0.8
CIC $cmol_c$ kg^{-1}	37.6 ± 12.1	31.9 ± 5.9 *
PSI %	4.2 ± 1.2	5.3 ± 2.5
$CaCO_3$ g kg^{-1}	101 ± 110	138 ± 93
C g kg^{-1}	7.3 ± 5.2	8.3 ± 5.2
N g kg^{-1}	0.9 ± 0.5	0.9 ± 0.4
P-Olsen mg kg^{-1}	18.8 ± 11.3	17.9 ± 15.2
Fe mg kg^{-1}	33.8 ± 28.8	23.6 ± 25.1
Mn mg kg^{-1}	19.8 ± 25.2	17.5 ± 27.1
Cu mg kg^{-1}	2.7 ± 1.3	2.0 ± 1.2
Zn mg kg^{-1}	0.8 ± 0.6	1.3 ± 0.6 *
B mg kg^{-1}	1.4 ± 0.6	1.9 ± 1.1
Bes mg L^{-1}	0.5 ± 0.3	0.9 ± 0.3 *

n = 23-27; medias ± desviación estándar; * = diferencias significativas ($p<0.05$) entre muestras de bancales *arenados* y sin arenar
CEes: conductividad eléctrica en extracto saturado; pHes: pH en el extracto de saturación
RAS: relación de adsorción de sodio; B_{es}: boro soluble; B: boro extraído con agua caliente

III.2. SUELOS NATURALES

En los epígrafes anteriores se ha comentado la situación de la capa arable de los suelos de Lanzarote sometidos a algún sistema agrícola tradicional, y la afección que tiene en ella la incorporación, en algunos casos, del riego con aguas desalinizadas y regeneradas. En este epígrafe se presentarán los suelos naturales existentes en el conjunto de la isla, con independencia del uso, que en definitiva son la base sobre la que se han desarrollado los agrosistemas.

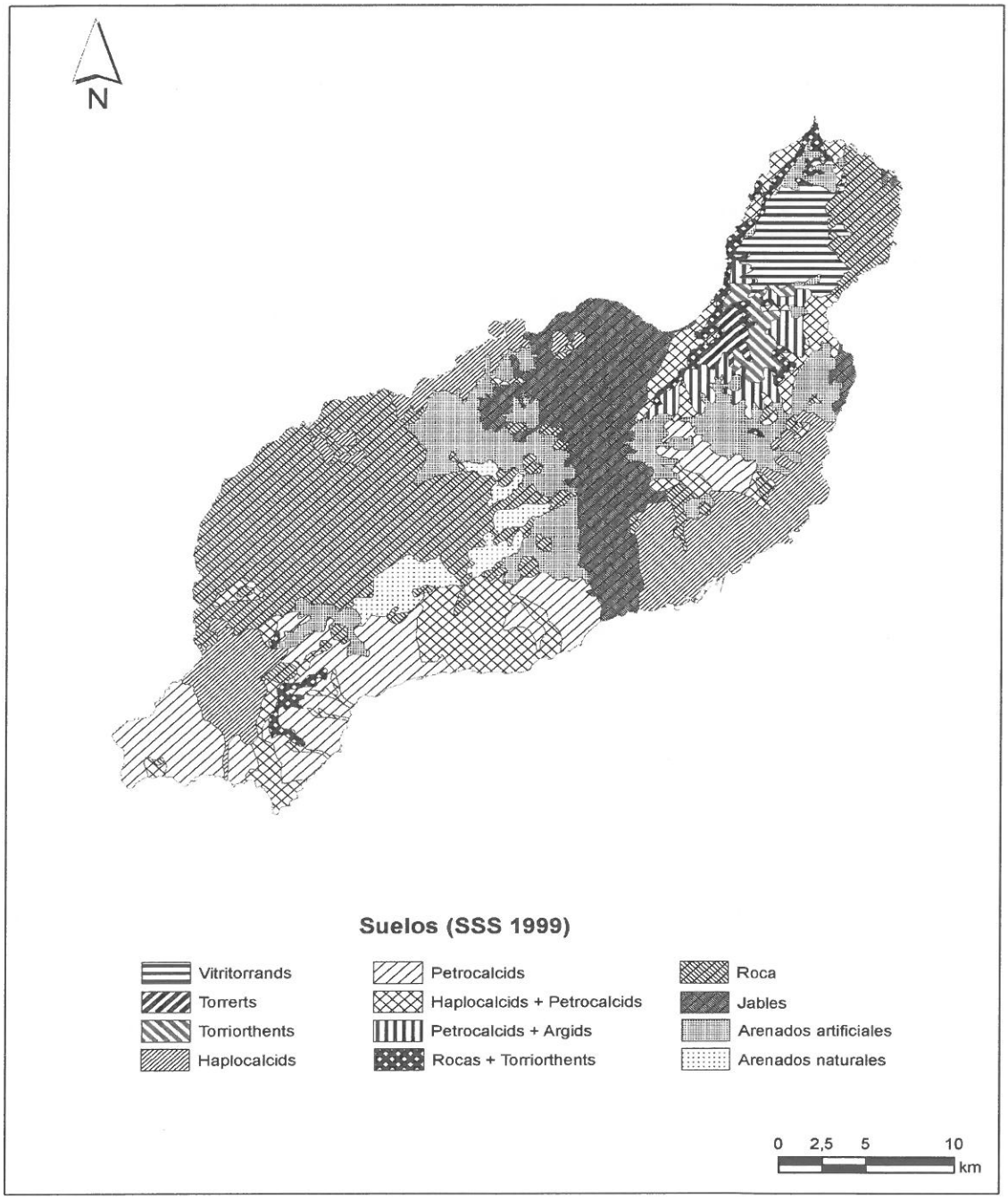
El suelo, como es bien conocido, es el resultado de la interacción de una serie de factores, clima, tipo y edad del material de origen, vegetación y topografía, siendo los dos primeros los de mayor significación. Fuster *et al.* (1968), ha descrito las distintas unidades geológicas de la isla, distinguiendo cuatro series. Respecto al clima hay una gran uniformidad que podría hacer pensar en la inexistencia de variación

edáfica en la isla. No obstante, la diferente edad de los materiales y las variaciones climáticas a lo largo del Cuaternario son los principales responsables de que esté representada una amplia gama de tipologías de suelos. En la tabla 13 se señalan los tipos de suelos descritos agrupados según los criterios de la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999), y su equivalencia más frecuente con la Base de Referencia Mundial para los Recursos de Suelos (FAO, 2007), y en la figura 10 un esquema de su distribución. Dada la importancia de la salinidad en la definición de las clases y subclases de Capacidad Agrológica en el anexo 11 se incluyen datos de este parámetro (CEes), junto con su localización para 110 muestras de suelos. Se comentan a continuación brevemente las distintas tipologías de suelos.

Tabla 13
Tipos de suelos descritos en Lanzarote

SOIL TAXONOMY (S.S.S, 1999)			WRB (FAO, 2007)
Orden	**Suborden**	**Gran Grupo**	**Unidades**
Andisol	Torrands	Vitritorrands	Vitric Andosols
Vertisol	Torrerts	Calcitorrerts	Calcic Vertisols
Aridisol	Argids	Paleargids	(Luvic) (Petric) Calcisols
	Calcids	Petrocalcids	Petric Calcisols
		Haplocalcids	Aridic Calcisols
	Cambids	Haplocambids	Aridic Cambisols
	Salids	Haplosalids	Aridic Solonchaks
Entisol	Psamments	Torripsamments	(Aridic) (Calcaric) Arenosols
	Fluvents	Torrifluvents	(Aridic) (Calcaric) Fluvisols
	Orthents	Torriorthents	Lithic Leptosols

Figura 10
Esquema de distribución de los suelos de Lanzarote (Departamento de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna)



Los suelos con mayor representación en la isla son los Aridisoles y Entisoles, y con un carácter subordinado Vertisoles y Andisoles.

En regiones áridas los procesos físicos y químicos que favorecen la alteración de los materiales y la formación de suelo son extremadamente lentos, y a veces

inexistentes, por ello la presencia de suelos evolucionados y diferenciados se suelen asociar a paleoclimas de mayor humedad que la actual. Es el caso de Lanzarote donde los suelos evolucionados, que aparecen siempre sobre materiales geológicamente antiguos (series I, II y III), corresponden a formaciones paleoedáficas, y son testigos de las fluctuaciones climáticas que han existido a lo largo del Cuaternario. Casi todos estos suelos se incluyen en el Orden Aridisol, diferenciándose unos de otros por la presencia de determinados horizontes de diagnóstico. Así, los Calcids presentan un horizonte de acumulación de carbonato cálcico, endurecido (Petrocalcids) o no (Haplocalcids), dentro de los 100 cm superficiales. Los Argids presentan un horizonte de acumulación de arcilla, rojizo, y bien estructurado, a veces con horizonte carbonatado endurecido por debajo de un metro, y los Salids un horizonte de acumulación de sales en el primer metro del suelo.

Los Petrocalcids suelen ser suelos de poco espesor, y muy pedregosos, que unido en ciertas zonas a una elevada conductividad eléctrica hace que tengan una baja capacidad agrológica. Los Haplocalcids, son los suelos con mayor representación en la isla, suelen tener mayor espesor, e igualmente una elevada pedregosidad superficial. Son suelos que despedregados y cubiertos de cenizas mejoran considerablemente su capacidad agrológica. De hecho una gran parte de los arenados se sitúan sobre estos suelos. En la franja central de la isla, en zonas alejadas de las playas del norte, se encuentran cubiertos por una capa de arenas eólicas marinas de espesor inferior a 50 cm, y han sido y/o son también cultivados.

Los Argids son suelos profundos, carbonatados, muy erosionados, siendo ésta precisamente su mayor limitación. Si bien han tenido uso agrícola, su mayor utilización ha sido para la creación de arenados artificiales (sorribas), previa extracción y transporte. En estas zonas han quedado importantes huecos que sería necesario restaurar. En los Salids la acumulación de sales solubles suele estar asociada a depresiones y capas freáticas salinas. Por capilaridad ascienden las sales hasta la superficie en periodo de evaporación. Si bien su representación es muy pequeña, y su capacidad agrológica mínima, tienen interés por la vegetación y fauna peculiar que se instala.

Los Vertisoles, suelos formados también en condiciones ambientales diferentes de las actuales, tienen una localización muy concreta pues se sitúan sobre materiales antiguos miocénicos de la serie I en la zona norte de la isla. A veces enterrados por otra tipología de suelos. Son profundos en zona de baja pendiente, muy estructurados, muy arcillosos, con dominio de arcillas hinchables (montmorillonita) que se refleja en importantes agrietamientos en periodo seco, y que están afectados por procesos erosivos evidenciados en la presencia de cárcavas. En periodo húmedo son muy plásticos y en seco muy duros, circunstancias que limitan su utilización agrícola, y la necesidad de realizar ciertas prácticas de manejo. No obstante, la presencia en zonas menos erosionadas de un horizonte superficial más suelto, con estructura en bloques subangulares de tamaño medio o fino, junto con la práctica tradicional del arenado ha facilitado su uso. Por otra parte, estos suelos están situados en la zona más húmeda de la isla, que en ocasiones se ve afectada por la influencia de los vientos alisios, humedad que podría ser aprovechada a través de su captación. Mediciones realizadas con captanieblas en los alrededores de la Montaña Aganada (588 m) han obtenido, según su autor (González Guerra) un valor máximo de 5.13 litros/m^2/día, con un promedio de 2 litros/m^2/día, cifras que no se alejan en exceso por ejemplo de las conseguidas en algunos puntos del Parque Rural de Teno, situado al noroeste de Tenerife (medias anuales que oscilan entre 2.6 y 5.7 litros/ m^2/ día). Estas consideraciones llevan a pensar que este recurso hidrológico puede ser de utilidad como apoyo, por ejemplo, para la repoblación forestal en la plataforma alta del macizo de Famara con especies de bosque termófilo, caso de sabinar, acebuchal, lentiscal,

almacigal, etc. Se trata de la vegetación potencial de la zona, de hecho quedan restos de ella; tabaibal amargo y matorral de tojio aparecen como vegetación de sustitución.

Los Entisoles agrupan suelos con escasa evolución y diferenciación del perfil debido a motivos variados: materiales muy ricos en minerales tamaño arena de gran estabilidad (Psamments), materiales volcánicos recientes o en situaciones con una fuerte erosión (Orthents), y suelos localizados en zona baja de ladera o barrancos que reciben periódicamente material coluvial (Fluvents).

Los Psamments, concretamente Torripsamments, están formados a partir de arenas eólicas marinas que, procedentes de las playas del norte, han invadido hacia el interior una franja central de la isla. Como ya se ha comentado la profundidad del suelo es variable, supera los dos metros en la cercanía de la playa y en depresiones del interior y, oscila entre 20 cm y un metro en el resto. Se han observado en algunas de las acumulaciones de arena cierta estratificación y cementación. Estos suelos suelen estar recubriendo otros de características muy diferentes (aridisoles) o incluso rocas; cuando el espesor del recubrimiento es inferior a 50 cm se clasifica y se da la denominación del suelo enterrado. Tienen los Torripsamments color blanquecino, un alto porcentaje de arena (más de 90%) que condiciona una baja salinidad (0,5 dSm^{-1}) así como también una baja la capacidad de retención de agua (menos de 4% a 1500 kPa) y baja capacidad de cambio (5 $cmolcKg^{-1}$); pH alcalino alrededor de 9,3, elevado contenido de CO_3Ca y densidad aparente alta (1,64 Mg m^{-3}). Estas propiedades contrastan con las de los suelos enterrados, rojizos, con textura más equilibrada, también baja salinidad, mayor capacidad de cambio y de retención de humedad.

Los Torripsamments por su textura plantean limitaciones edáficas para su uso agrológico, no así los suelos enterrados que, incluso, se ven beneficiados de la presencia de ese suelo superficial al protegerlos frente a la erosión y ralentizar la pérdida de agua por evaporación. El conjunto del perfil (suelo superficial y enterrado) es la base del sistema agrícola tradicional *Jable*.

Dentro de los Torriorthents se diferencian los suelos formados sobre materiales antiguos sometidos a intensos procesos de erosión y, los suelos sobre materiales recientes que no han tenido aún desarrollo por cuestión de tiempo. Los primeros se localizan esencialmente en los macizos miocénicos de Famara y Ajaches, y sobre algunas otras formaciones, en zonas de fuerte pendiente. Son suelos poco profundos con propiedades variadas dependiendo de dónde se encuentren, por ejemplo en la zona de Peñas del Chache tienen caracteres vérticos, y en los Ajaches se acercan más a aridisoles. Son suelos que, bajo su forma natural, tienen escasas posibilidades de uso agrícola. No obstante, en muchos de ellos se ha corregido la pendiente mediante la construcción de bancales y han sido utilizados intensamente, hoy en claro abandono. También se incluyen dentro de este gran grupo algunos suelos cuyo periodo de formación ha sido aún muy corto por la edad reciente del material, y responden a una ligera alteración de éste. Este hecho junto con las características físicas de los materiales volcánicos es lo que permite el enraizamiento de ciertas plantas. Suelen coexistir con las unidades cartográficas denominadas Rocas.

Los Torrifluvents son suelos que, situados en sectores de baja pendiente, están asociados a la acumulación de depósitos aluviales-coluviales, por tanto sus características varían mucho de una zona a otra. Por una parte, se encuentran suelos de fondos de valle y barrancos, conos de deyección, formados por superposición de capas de materiales de granulometría muy diferente. De forma genérica se puede distinguir entre aquellos formados por estratificación de materiales de tamaño muy variado, y los formados por materiales finos, tanto unos como otros sin diferenciación

clara de horizontes. Los primeros suelen tener un porcentaje alto de elementos gruesos, textura arenosa gruesa, y poca fracción arcilla, mientras que los segundos, por el contrario, tienen pocos elementos gruesos, y textura más fina. En el caso que hubiera ya diferenciación de horizontes se incluirían dentro del orden de los aridisoles (Argids, Calcids). Los Torrifluvents se encuentran distribuidos por toda la isla y, a pesar de la variedad de características que presentan de una zona a otra, tienen algunas que son frecuentes en todos ellos: profundidad de suelo, generalmente superior a 1m, baja salinidad y sodicidad, bajo contenido en materia orgánica con distribución irregular, reacción alcalina. Es muy frecuente que los Torrifluvents sean los suelos de las parcelas de cultivo del agrosistema *gavia.*

La presencia de Andisoles en Lanzarote (Vitritorrands) está asociada a materiales recientes piroclásticos de la serie IV. Por ello, se localizan en la zona norte sobre las cenizas emitidas por el volcán La Corona, y otros cercanos, y en el oeste, en Timanfaya, también sobre piroclastos de la misma edad. Son suelos poco profundos, de escaso desarrollo, de textura limo arenosa, dominada su mineralogía por vidrios volcánicos. La productividad natural de estos suelos es elevada por sus características físicas y químicas, salvo en algunos casos que presentan ciertos problemas con la fijación de fósforo. No plantean, por tanto, limitaciones edáficas importantes y se limitan a las de carácter climático que se han reducido, o se pueden reducir, mediante la práctica del *arenado*, incorporando en superficie una capa de piroclastos sin alterar.

III.3. AGUAS DE RIEGO

La estimación de la calidad del agua de riego debe basarse en su composición química, en la relación suelo-agua, y en la tolerancia de las plantas. Una misma calidad química de agua puede tener efectos distintos dependiendo de las características edáficas. Su evaluación se fundamenta en el efecto que produce a corto o largo plazo en las propiedades físicas y químicas de los suelos regados contemplando asimismo los efectos tóxicos sobre los cultivos. En el caso de las aguas regeneradas la calidad para su reutilización está determinada por los riesgos sanitarios y para las instalaciones, de acuerdo con el grado de exposición asociado a cada uso. Una vez establecidos los parámetros relacionados con estos riesgos, se consideran las características del agua relacionadas con el riego agrícola.

Los parámetros que se utilizan como indicadores químicos del posible riesgo del uso de las aguas de riego con fines agrícolas, son la conductividad eléctrica-CE (por el peligro de salinización, y repercusiones en la reducción del rendimiento del cultivo), la Relación de Adsorción de Sodio-RAS (por el peligro de sodificación, ya que afecta a la permeabilidad del suelo reduciéndola), y determinados iones, Cl, B, y HCO_3^-, por el riesgo de toxicidad. En la tabla 14 se reflejan para estos criterios los valores de referencia (Ayers y Wescott, 1985).

Tabla 14

Guía de calidad de aguas de riego (Ayers y Wescott, 1985)

Problemas potenciales	Grado de Restricción de uso		
	Ninguno	Ligero a Moderado	Importante
Riesgo de salinización (CE dSm^{-1})	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
Riesgo de sodificación (RAS)	CE ($dS\ m^{-1}$)		
0 – 3	> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
3 – 6	> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
6 – 12	> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
12 – 20	> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
20 – 40	> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Riesgo de toxicidad			
Sodio (RAS ($meq\ L^{-1}$)$^{0.5}$)			
Riego de superficie	< 3	3 – 9	> 9
Riego Aspersión	< 3	> 3	
Cl ($meq\ L^{-1}$)			
Riego de superficie	< 4	4 – 10	> 10
Riego por aspersión	< 3	> 3	-
B ($mg\ L^{-1}$)	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
HCO_3^- ($meq\ L^{-1}$)	< 1.5	1.5- 8.5	> 8.5

Existen también diferentes Guías que definen valores de concentraciones límites de determinados elementos a largo (CLP) y corto plazo (ANZECC y ARMCANZ, 2000; USEPA, 2004). La CLP es la concentración máxima admisible de contaminante en el agua de riego que puede tolerarse asumiendo 100 años de riego. La CCP es la concentración máxima tolerable a cortos periodos de riego (20 años) asumiendo la misma tasa de acumulación que para CLP. Como señala la EPA (USEPA, 2004) los máximos recomendados para "largo plazo" se han establecido de forma conservadora para incluir suelos arenosos, con baja capacidad de secuestrar o eliminar. Los criterios a "corto plazo" se recomiendan para suelos neutros o alcalinos de textura fina, con alta capacidad para inactivar los diferentes elementos contaminantes. Los valores de CCP y CLP para el Boro, elemento importante en nuestras aguas desalinizadas y depuradas, se reflejan en la tabla 15.

Tabla 15

Valores de concentración límite para el boro en aguas de riego

	CLP		CCP	
	EPA	NZ	EPA	NZ
B	0.75	0.5	2.0	2.0

EPA= Guía de la USEPA. NZ: Guía de Australia y Nueva Zelanda

Muestreo de campo

Los muestreos de agua de riego para este proyecto fueron iniciados en Junio de 2010, con una periodicidad de 15 días para unos parámetros y de una semana para otros. En cada uno de ellos se han recogido tres muestras de agua desalinizada y tres de agua depurada, tomadas en tres zonas agrícolas de la isla, Zonzamas, Tías y Vega de Machín, directamente de las bocas de riego que llegan a las parcelas desde la red de distribución. Además, se dispone de datos mensuales de la Granja del Cabildo y de la zona de Vega de Machín (desalinizada y depurada) desde enero de 2010, correspondientes a las aguas remitidas por la Granja del Cabildo. Las aguas depuradas de Zonzamas y Vega de Machín proceden de la EDAR de Arrecife, y las de Tías de la EDAR de Tías. Las aguas desalinizadas proceden de la Planta Desaladora de Arrecife.

La producción de recursos hídricos no convencionales en la isla de Lanzarote, según datos de Inalsa (2009) es de 22.66 Hm^3/año para el agua desalinizada total (0.64 Hm^3/año corresponden a agua desalinizada facturada con fines agrícolas), y 6.86 Hm^3/año de agua depurada total (0.77 Hm^3/año de agua depurada facturada con fines agrícolas). El precio para los agricultores es de 1.20 €/m^3 para el agua desalinizada y 0.22 €/m^3 para la depurada.

En los siguientes epígrafes se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros analizados en las aguas desalinizadas y en las depuradas.

III.3.1. AGUAS DESALINIZADAS

En la tabla 16 se presentan los valores promedio de los análisis realizados de las aguas desalinizadas de las tres zonas estudiadas, y en el anexo 11 todos los datos por fecha de muestreo.

Según las directrices de interpretación de las aguas de riego señaladas en la tabla 9 las aguas desalinizadas presentan un grado de restricción para su uso agrícola de ligero a moderado, pues pueden plantearse algunos problemas potenciales de reducción de la permeabilidad del suelo por la combinación de una salinidad situada entre los rangos 500-1900 μSm^{-1} y una RAS entre 6-12 y, además, cierto riesgo de toxicidad por sodio, cloruro y boro en cultivos sensibles atendiendo a los valores promedio. El origen marino de esta agua viene reflejado en el contenido de sodio y cloruros.

Atendiendo a los valores promedio que tiene el índice de Langelier, negativos, se trata de aguas corrosivas que pudieran representar problemas para los cultivos y las conducciones de agua. El análisis de la dureza, con valores medios inferiores a 7 grados hidrotimétricos franceses, refleja un agua muy blanda.

Tabla 16

Resultados analíticos de las aguas desalinizadas (media ± desviación estándar)

Parámetro	Zonzamas	Tías	Vega Machín
pH	7.1 ± 0.6	7.0 ± 0.7	7.2 ± 0.8
CE ($\mu S\ cm^{-1}$)	553 ± 54	554 ± 59	541 ± 58
Ca^{2+} (meq L^{-1})	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.5	0.2 ± 0.2
Mg^{2+} (meq L^{-1})	0.5 ± 0.3	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.2
K^+ (meq L^{-1})	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
Na^+ (meq L^{-1})	3.7 ± 0.4	3.8 ± 0.4	3.7 ± 0.3
RAS (meq $L^{-1})^{0.5}$	6 ± 1	7 ± 1	7 ± 1
CO_3^{2-} (meq L^{-1})	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
HCO_3 (meq L^{-1})	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.0	0.2 ± 0.0
Cl- (meq L^{-1})	4.4 ± 0.5	4.5 ± 0.5	4.4 ± 0.4
SO_4^{2-} (meq L^{-1})	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.1
$N\text{-}NO_3^-$ (mg L^{-1})	1.8 ± 1.5	2.0 ± 1.6	1.6 ± 1.9
B (mg L^{-1})	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.1
Dureza total (°F)	3.8 ± 2.7	3.5 ± 2.3	3.3 ± 2.2
ILS	-0.87 ± 0.82	-1.16 ± 0.63	-1.19 ± 0.64

Indice ILS = de saturación de Langelier

En la tabla 17 se presentan los valores mínimo y máximo de algunos de los parámetros estudiados. Se observa una variación importante entre ellos, si bien los valores máximos no suponen grandes cambios en cuanto a la catalogación del agua para su uso. Los valores mínimos máximos de ILS son muy elevados especialmente en Vega de Machín.

Tabla 17

Aguas desalinizadas. Valores mínimos y máximos de los parámetros más relevantes

Parámetro	Zonzamas	Tías	Vega Machín
pH	6.1-8.3	5.2-8.6	5.6-8.8
CE ($\mu S\ cm^{-1}$)	478-677	476-694	428-664
RAS $(meq\ L^{-1})^{0.5}$	4-8	4-8	4-9
Na^+ $(meq\ L^{-1})$	3.2-4.8	3.2-4.9	3.4-4.7
Cl^- $(meq\ L^{-1})$	3.7-5.5	3.8-5.6	3.4-5.4
B $(mg\ L^{-1})$	0.51-1.08	0.52-0.90	0.51-1.09
ILS	-2.22-0.86	-2.22-0.35	-2.66-0.25

En la tabla 18 se incluyen datos de estudios previos, realizados por el equipo redactor del proyecto, de análisis de aguas desalinizadas del periodo enero 2006 - octubre de 2008, tomadas en la Granja del Cabildo. En comparación con los datos actuales del periodo enero 2010-mayo 2011, cabe destacar: se mantiene la variabilidad de los valores, y han disminuido los máximos y mínimos de CE, RAS, Na^+, y Cl^-, si bien están aún entre los límites de uso de ligero a moderado. En el caso del B ha bajado el valor mínimo y se mantiene dentro del mismo rango el valor máximo.

Tabla 18

Aguas desalinizadas del periodo enero 2006-octubre 2008 (Granja del Cabildo)

Parámetro	Mínimo – Máximo	Media ± DE
pH	6.3 - 8.5	7.5 ± 0.5
CE (μScm^{-1})	880 – 1612	1104 ± 176
RAS $(meqL^{-1})^{-0.5}$	5 – 10	7 ± 1
Na^+ $(meqL^{-1})$	4.5 - 8.6	6.8 ± 1.1
Cl^- $(meqL^{-1})$	6.7 – 10.0	8.5 ± 1.0
B (mgL^{-1})	0.67 -1.1	0.82 ± 0.14

Con respecto al boro si se aplican las Guías de la USEPA (2004) y de Australia y Nueva Zelanda (2000), que definen los valores de concentración de las aguas que pueden tener riesgos a corto y largo plazo, especialmente en suelos de textura arenosa, se observa (tabla 19): a) el valor mínimo estaría por debajo del límite establecido para uso a corto plazo en las dos guías, por debajo también para el uso a largo plazo en el caso de la guía EPA, y justo en el límite en la guía NZ, b) el valor máximo estaría en las dos guías por encima de lo admisible para uso a largo plazo, su utilización plantearía riesgos de degradación a medio-largo plazo, c) el valor medio tiene igualmente ese riesgo.

Tabla 19

Comparación de concentraciones de boro de las aguas desalinizadas con valores guías

	CLP		CCP		Aguas desalinizadas	
	EPA	NZ	EPA	NZ	Mín-Máx	Media
B (mg L^{-1})	0.75	0.5	2.0	2.0	0.51-1.09	0.7

CLP = Largo plazo (100 años). CCP = Corto plazo (20 años)
EPA = Guía de la USEPA. NZ = Guía de Nueva Zelanda

Los análisis microbiológicos de E. coli y Enterococos han sido negativos en todos los muestreos realizados (anexo 12).

III.3.2. Aguas regeneradas

En la tabla 20 se presentan los datos analíticos de las aguas regeneradas, valor medio y desviación estándar, de los parámetros más relevantes, y en el anexo 13 el conjunto de los datos por fechas de muestreo. Según las directrices de aplicación para las aguas de riego el riesgo de salinización (CE) y sodificación (RAS) del suelo por el uso de estas aguas es también ligero-moderado (Ayers y Wescot, 1984), si bien más acusado el riesgo que en las aguas desalinizadas. Además, se desprenden posibles problemas de toxicidad, en cultivos sensibles, por sodio y cloruros. Los altos valores de CE, junto con las concentraciones de Na y Cl, evidencian el origen marino de estas aguas, si bien en la alta salinidad influyen también los nutrientes aportados.

Tabla 20
Resultados analíticos de las aguas depuradas (media ± desviación estándar)

Parámetro	Zonzamas	Tías	Vega Machín
pH	7.2 ± 0.2	7.1 ± 0.3	7.1 ± 0.3
CE (µS cm^{-1})	1451 ± 256	1495 ± 228	1442 ± 192
Ca^{2+} (meq L^{-1})	0.9 ± 0.1	0.9 ± 0.2	0.9 ± 0.2
Mg^{2+} (meq L^{-1})	0.9 ± 0.4	1.0 ± 0.4	0.9 ± 0.3
K^{+} (meq L^{-1})	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.1.	0.6 ± 0.1
Na^{+} (meq L^{-1})	8.7 ± 1.9	9.4 ± 1.8	8.8 ± 1.6
RAS (meq $L^{-1})^{0.5}$	9 ± 1	10 ± 1	9 ± 1
CO_3^{2-} (meq L^{-1})	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
HCO_3 (meq L^{-1})	3.1 ± 1.1	2.1 ± 1.3	2.6 ± 1.1
Cl^{-} (meq L^{-1})	8.6 ± 2.1	9.9 ± 2.0	9.0 ± 1.9
SO_4^{2-} (meq L^{-1})	1.3 ± 0.2	1.1 ± 0.3	1.2 ± 0.3
B (mg L^{-1})	0.8 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.8 ± 0.1
Dureza total (°F)	8.9 ± 2.6	9.3 ± 5.6	8.9 ± 2.2
$P\text{-}PO_4^{-3}$ (mg L^{-1})	2.2 ± 1.2	4.7 ± 3.3	3.0± 2.3
$N\text{-}NO_3^{-}$ (mg L^{-1})	6.0 ± 5.7	10.1 ± 5.6	8.1 ± 5.8
$N\text{-}NO_2^{-}$ (mg L^{-1})	2.4 ± 2.5	2.1 ± 2.5	3.9 ± 2.6
$N\text{-}NH_4^{+}$ (mg L^{-1})	17.5 ± 12.2	10.0 ± 7.8	14.1 ±10.7
DQO (mg L^{-1})	27 ± 6	27 ± 7	30 ± 8
DBO (mg L^{-1})	10 ± 9	10 ± 8	10 ± 8
SiO_2 (mg L^{-1})	13.6 ± 5.3	11.7 ± 4.6	12.8 ± 5.1
Turbidez (NTU)	0.8 ± 0.3	1.0 ± 0.6	1.1 ± 0.6
SST (mg L^{-1})	1.5 ± 3.9	1.2 ± 1.7	4.2 ± 12.5
ILS	0.73 ± 0.69	0.32 ± 0.93	0.33 ± 1.00

SST = Sólidos totales en suspensión
ILS = Indice de saturación de Langelier

En la tabla 21 se indica el intervalo mínimo y máximo para algunos de los parámetros analizados. Como en el caso de las aguas desalinizadas destaca la gran variabilidad en su composición lo que dificulta las recomendaciones de manejo

Tabla 21
Aguas regeneradas. Valores mínimos y máximos de los parámetros más relevantes

Parámetro	Zonzamas	Tías	Vega Machín
pH	6.8-7.6	6.3-7.6	6.4-7.7
CE ($\mu S\ cm^{-1}$)	1156-2330	1205-2080	1203-1928
RAS $(meq\ L^{-1})^{0.5}$	8-12	8-12	7-13
B ($mg\ L^{-1}$)	0.65-0.95	0.68-0.93	0.62-1.01
$P\text{-}PO_4^{-3}$ ($mg\ L^{-1}$)	0-4.7	0-9.2	0-8.7
$N\text{-}NO_3^-$ ($mg\ L^{-1}$)	1-28.3	0-26.5	1.9-30.8
$N\text{-}NO_2^-$ ($mg\ L^{-1}$)	0-8.2	0-8.2	0-8.3
$N\text{-}NH_4^+$ ($mg\ L^{-1}$)	0-38.9	0-27.4	14-16.7
DQO ($mg\ L^{-1}$)	16-36	12-45	9-45
DBO ($mg\ L^{-1}$)	0-28	0-26	0-22
Turbidez (NTU)	0.3-2.0	0.3-3.0	0.4-3.0
SST ($mg\ L^{-1}$)	0-21.3	0-6.5	0-64
ILS	-0.87-1.79	-1.24-2.06	-1.56-2.14

En la tabla 22 se incluyen datos de estudios previos, realizados por el equipo redactor del proyecto, de análisis de aguas regeneradas del periodo enero 2006 - octubre de 2008, tomadas en Vega Machín, y se comparan con los datos actuales. Cabe destacar que persiste la variabilidad de los valores, aumenta considerablemente el valor mínimo de CE y se mantienen los máximos y las medias, la RAS se mantiene también en valores similares, y en el caso del B como con la CE aumenta considerablemente el valor mínimo y disminuye el máximo y el valor medio.

Tabla 22

Comparación del análisis de aguas regeneradas en dos periodos de estudio. Vega de Machín

	Periodo enero 2006- octubre 2008		Periodo enero 2010-mayo 2011	
Parámetro	Mínima – Máxima	Media ± DE	Mínima - Máxima	Media ± DE
pH	6.6 – 8.3	7.1 ± 0.4	6.4 – 7.7	7.1 ± 0.3
CE (μScm^{-1})	660 – 1874	1367 ± 288	1203 – 1928	1442 ± 192
RAS ($meqL^{-0.5}$)	6 – 14	9 ± 2	7 – 13	9 ± 1
Na^+ (meqL-1)	4.5 – 11.9	8.6 ± 1.8	7.3 – 14.2	8.8 ± 1.6
Cl^- ($meqL^{-1}$)	3.7 – 12.3	8.9 ± 2.3	7.2 – 13.9	9.0 ± 1.9
B (mgL^{-1})	0.15 – 1.52	1.04 ± 0.27	0.62 – 1.01	0.8 ± 0.1

Según las Guías de la USEPA (2004) y de Australia y Nueva Zelanda (ANZECC y ARMCANZ, 2000), con respecto al boro se evidencian también en este caso posibles riesgos a medio-largo plazo (tabla 23) particularmente en suelos de textura arenosa. El valor mínimo está por debajo del límite establecido para uso a corto plazo en las dos guías, por debajo también del límite a largo plazo en el caso de la guía EPA, y por encima del límite admisible en la guía NZ para riego a largo plazo. El valor máximo de nuestra agua regenerada en las dos guías estaría por encima de lo admisible para uso a largo plazo, su utilización plantearía riesgos de degradación a medio-largo plazo.

Tabla 23

Comparación de concentraciones de boro de las aguas regeneradas con valores guía

	CLP		CCP		Zonzamas	Tías	Vega Machín

CLP = Largo plazo (100 años). CCP = Corto plazo (20 años)
EPA = Guía de la USEPA. NZ = Guía de Australia y Nueva Zelanda

En la tabla 24 se indican las concentraciones límites recomendadas para nitrógeno y fósforo en la Guía de Australia y Nueva Zelanda. Estos límites están basados en diferentes criterios: mantenimiento del cultivo (nitrógeno), prevenir la bio-obturación de las conducciones de riego y minimización de impactos colaterales. El agua de Vega de Machín plantearía problemas a corto-medio plazo con el valor mínimo de nitrógeno, y las tres aguas lo tendrían a corto plazo con el valor máximo. Respecto al fósforo sólo los valores máximos tendrían problemas a corto plazo.

Tabla 24
Comparación de concentraciones de nitrógeno y fósforo de las aguas regeneradas con valores guía

	CLP	CCP	Zonzamas	Tías	Vega Machín
	NZ	NZ	Mín-Máx	Mín-Máx	Mín-Máx
N (mg L^{-1})	5	25-125	1 – 75	0 - 62	16 - 58
P (mg L^{-1})	0.05	0.8 - 12	0 – 4.7	0 – 9.2	0 – 8.7

CLP = Largo plazo (100 años). CCP = Corto plazo (20 años)
NZ = Guía de Australia y Nueva Zelanda

Con relación a otros parámetros físicoquímicos, el índice de Langelier adquiere valores positivos que se encuentran dentro de los límites entre -0.5 y 0.5 para las aguas de Tías y Vega de Machín que no plantearían problemas; el índice de Zonzamas indica cierto carácter incrustante para esa agua. Atendiendo a los valores de dureza entre 7 y 14 grados hidrotimétricos se trataría de aguas blandas.

Con relación a los aspectos sanitarios de la reutilización agrícola de las aguas regeneradas, el Real Decreto 1620/2007 (BOE núm. 294 de 8 de diciembre de 2007) que establece el régimen jurídico de reutilización de estas aguas, marca los criterios de control de la calidad microbiológica que deben obligatoriamente cumplir según los diversos tipos de uso. Como se señaló en el apartado metodológico los indicadores a utilizar son nematodos intestinales, *Escherichia coli*, sólidos en suspensión y turbidez. Además de estos, como complemento, se han determinado la demanda biológica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y Enterococos.

En el anexo 12 se presenta el conjunto de datos obtenidos de los análisis microbiológicos destacando en rojo los valores que no cumplen la normativa. Se distingue entre calidad 2.1. (riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco) y calidad 2.2. (a.- riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento posterior; b.- riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne).

Los resultados de las determinaciones de *Escherichia coli* varían mucho entre muestreos y entre las zonas de estudio. Con frecuencia se superan los valores máximos admisibles no sólo para la calidad 2.1 (100 UFC/100 mL) sino también para la 2.2 (1.000 UFC/mL), aunque estos excesivos valores no llegan a afectar al 90 % de los muestreos. Hay que señalar que en algunos de los controles se ha superado en este parámetro no sólo el valor máximo admisible sino también el límite de desviación máxima aceptable tanto para la calidad 2.1 como 2.2, circunstancia que llevaría a la

suspensión del suministro. La USEPA (2004) considera como valor límite recomendado de DBO para aguas de uso agrícola 10 mg L^{-1}, el valor medio de las aguas analizadas es justamente de 10 mg L^{-1}, si bien los valores máximos están por encima del doble de este valor.

Ni los valores medios de turbidez ni los máximos superan las 10 UNT (unidades nefelométricas de turbidez) que como valor máximo admisible recoge el Real Decreto para la calidad de agua 2.1, ya que para la 2.2 y 2.3 no fija límite. Respecto al indicador de sólidos en suspensión si bien los valores medios no plantean problemas, no es el caso de los máximos encontrados en Zonzamas (21.3 mg L^{-1}) y Vega Machín (64 mg L^{-1}) donde no sólo se superan los 20 mg L^{-1} sino que en la última zona se sobrepasa el límite de desviación máxima permisible para el tipo de uso 2.1. En ninguna de las aguas se han detectado huevos de nemátodos intestinales.

Asimismo se alcanzan valores elevados de nitritos y amonio, excesivos para aguas que teóricamente han sido sometidas a un tratamiento avanzado.

Aunque el Real Decreto se enfoca esencialmente en los aspectos de carácter sanitario de las aguas, hace también recomendaciones adicionales en el caso de los usos agrícolas para otros parámetros, caso de la CE, RAS y B. En concreto señala como límites: 3.0 dS m^{-1} para la CE, 6 meq L^{-1} para el RAS y 0.5 mg L^{-1} para el B. Las aguas depuradas estudiadas superan siempre estos valores de RAS y B, y no así los de CE.

III.4. CAPACIDAD AGROLÓGICA DE LOS SUELOS

Para evaluar la capacidad agrológica de los suelos de Lanzarote se ha utilizado el sistema recomendado por el USDA, descrito en el apartado de metodología, si bien se han realizado algunos cambios con el fin de reflejar ciertas peculiaridades que, de aplicar estrictamente el sistema, no hubieran sido consideradas de forma clara, aunque tengan una gran importancia para la utilización de los suelos. En concreto se empleará un asterisco, a nivel de subclase, para señalar aquellas situaciones, en las que las modificaciones provocadas por el hombre mejoran de tal manera las condiciones de uso que permiten pasar una determinada zona de una clase a otra de mejor capacidad agrológica. Teniendo en cuenta que la cobertura con piroclastos es una práctica de conservación habitual en la isla (ya se ha visto en otro apartado que sin ella era imposible el cultivo en secano), se ha reservado el asterisco para destacar prácticas más complejas que, normalmente, suelen terminar también con arenado. Igualmente se aplicará el asterisco en aquellas zonas naturales, con características especiales que permiten un uso mejor que el que le correspondría realmente por la clase a la que pertenece

El tipo climático de la isla según la clasificación de Papadakis es Mediterráneo semiárido subtropical, limitante para la realización de cultivos sin riego con cierto rendimiento. Las restricciones que imponen las condiciones climáticas afectan al conjunto de la isla por lo que el subíndice "c" sólo se utilizará en aquellas situaciones en que sea ésta la limitación principal. Los materiales geológicos adquieren en esta isla una importancia relevante en relación con las clases de capacidad agrológica, pues influyen no sólo en las prácticas de conservación, como ya se ha visto en otros apartados de esta memoria, sino también en ciertas características edáficas, pedregosidad, susceptibilidad a la erosión, etc.; se hará alusión a este aspecto en los casos que corresponda.

En esta isla no se han definido las clases agrológicas I y II, favorables para el desarrollo de una agricultura intensiva y/o cualquier otro tipo de aprovechamiento con una productividad alta, fundamentalmente en un inicio por limitaciones de carácter climático. Bien es cierto, que la introducción del riego eliminaría en gran medida esta limitación, sin embargo el desarrollo agrícola seguirá estando supeditado a prácticas de conservación especiales como son los *arenados*. En estos casos la restricción pasaría a ser de otra naturaleza. Tampoco está presente la clase V al no admitir ningún riesgo de erosión, que sí existe en la isla bien de tipo eólico o hídrico. Se comentan a continuación las clases agrológicas definidas, y las principales subclases.

Clase III

Incluye zonas con vocación agronómica aún importante, si bien tienen restricciones en cuanto a la gama posible de cultivos y requieren prácticas especiales de conservación. Se han descrito las subclases IIIe, IIIs, IIIc y IIIc*.

Los suelos de la subclase IIIe están asociados a coladas basálticas de la Serie II (Plioceno-Pleistoceno, 2.7-0.99 m.a.), procedentes de varios conos volcánicos, caso del volcán de Guanapay, Montaña Cabrera y Montaña Ubigue.

Se ha definido un único recinto incluido en el municipio de Teguise. Se encuentra situado en zonas de escasa pendiente, con suelos profundos de textura equilibrada en su capa arable, con una cierta salinidad y pedregosidad que no plantean grandes restricciones. La limitación principal viene impuesta por su elevada susceptibilidad a la erosión, circunstancia que ocurre en la mayoría de los suelos formados sobre esta serie volcánica, y no sólo se evidencia en Lanzarote, también en la vecina isla de Fuerteventura. Los procesos erosivos quedan patentes por la presencia de abundantes y profundas cárcavas que pueden alcanzar dos metros.

La restricción que impone la facilidad para sufrir procesos de erosión de estos suelos junto con la climática nos hubiera llevado, con rigor, a definir una clase IV, pues tal como están los suelos en su condición natural las limitaciones son extremas y sólo permitirían un laboreo ocasional. De hecho es lo que ocurre, asociado a sistemas de *gavias*, en el mejor de los casos. No obstante, al tratarse de suelos con potencialidad agrológica, y estar situados en zonas de pendiente suave, podrían realizarse trabajos de corrección de cárcavas, menos costosos que en zonas de pendiente, y con cobertura posterior de piroclastos basálticos que protejan al suelo frente a la erosión. De hecho se han realizado en algunos núcleos pasando la subclase a denominarse IIIc, al eliminarse o reducirse el efecto erosivo.

La erosión en cárcavas es un proceso que implica pérdidas importantes de suelo y de su capacidad productiva, y se le debe prestar singular atención, muy especialmente en una región de gran aridez como la que nos ocupa, con importante riesgo de desertificación. La vulnerabilidad del recinto, y las condiciones en que se encuentra, llevan a sugerir la realización de un proyecto específico de restauración de la zona que frene la pérdida de suelo, cuestión estratégica en un programa de lucha contra la desertificación.

Los suelos de la subclase IIIs están asociados a piroclastos basálticos de la serie IV (Pleistoceno superior-Holoceno) procedentes de varios conos volcánicos, especialmente la Corona y Los Helechos.

Se han definido dos recintos situados en el municipio de Haria en zonas de suave pendiente. Corresponden a suelos jóvenes, poco evolucionados, de poco espesor, con texturas equilibradas si bien con porcentajes de arena elevados > 50 % y

bajos de arcilla < 20 %, escaso desarrollo estructural, elevada permeabilidad, muy baja salinidad y lógicamente alto porcentaje de vidrio volcánico. Como es habitual en este tipo de suelos la fijación de fósforo es superior a los restantes suelos de la isla.

La capacidad agrológica está condicionada por las limitaciones que imponen esas propiedades edáficas. Se puede considerar un nivel de fertilidad moderado, no obstante es fácilmente mejorable y pueden tener importante aprovechamiento agrícola. De hecho, es lo que ocurre en las cercanías de Máguez y Guinate, subsanando con arenados la limitación climática. Cuando las parcelas de IIIs están mezcladas con núcleos urbanos se ha utilizado la asociación VIII+IIIs.

La subclase IIIc está extendida por toda la isla, con suelos formados sobre distintos materiales, que tienen en común: estar situados en pendientes muy suaves no restrictivas, parcelas amplias más o menos regulares, profundidad de suelo, textura equilibrada aunque con porcentajes de arcilla y arena muy variado dependiendo del recinto, y baja conductividad eléctrica. Algunos de estos suelos tienen una alta susceptibilidad a la erosión que desaparece o se reduce considerablemente al cubrirse con una capa de piroclastos. Esta cobertura está presente en todos los recintos de esta subclase, y de hecho en algunos casos es la que lleva a la definición de esta subclase. Al quitar el riesgo erosivo, y no tener limitaciones importantes de tipo edáfico, el condicionante climático se convierte en el principal. La eliminación de la capa de piroclastos y el abandono de los *arenados* lleva de nuevo a la generación de procesos erosivos.

Las características de los suelos que conforman gran parte de esta subclase es tal que es frecuente su extracción, transporte e instalación en zonas con suelos de peor calidad o sin suelo. Estas extracciones han dejado profundos socavones, de gran impacto que, tal como están, se incluyen en la clase VIII improductiva agrológicamente. Es el caso de la Vega de Femés, Vega de San José y otras. Se aconseja realizar proyectos específicos para su recuperación dada la potencialidad de estos suelos. En algunas de estas vegas se ha recurrido a la asociación VIII+IIIc cuando estas dos situaciones eran de difícil separación a la escala de trabajo.

Parcelas definidas como IIIc se encuentran actualmente bajo riego que, como ya se ha comentado, eliminaría o, al menos reduciría, la limitación climática. Dada la gran heterogeneidad en cuanto a la distribución de parcelas sometidas a esta práctica no se han separado. Este cambio de manejo de secano a regadío supone una mejora considerable, pues permite una mayor diversificación de cultivos con mayor densidad y, en consecuencia, una mayor rentabilidad. Entendiendo, que la práctica se realiza correctamente.

Es habitual que en algunos núcleos urbanos estén intercaladas parcelas y viviendas. En estos casos se ha recurrido a la asociación VIII+IIIc cuando el tamaño de parcela lo ha permitido.

Los suelos incluidos en la subclase IIIc*, como los anteriores, admiten un desarrollo agrícola sistemático, si bien en este caso esta posibilidad ha sido adquirida como consecuencia de importantes acciones de mejora, distintas de las habituales en la isla como son la cobertura con piroclastos o el despedregado.

Dos son las actuaciones más relevantes al respecto. Por una parte, se encuentran los recintos formados por depósitos profundos de arenas eólicas, cuya textura los llevaría a una clase VIs, sobre las que se han instalado suelos transportados de textura equilibrada, y a continuación una capa de piroclastos. En los

alrededores de Muñique hay un recinto de estas características formando asociación con VIs.

La segunda situación corresponde a suelos formados sobre materiales basálticos de la Serie III, que se caracterizan por tener una gran pedregosidad superficial que constituye lo que se conoce como "pavimento desértico". En muchas zonas de la isla la mejora consiste sólo en el despedregado y uso del suelo subyacente, con frecuencia profundo, pero en otras se recurre a añadir sobre este pavimento suelo transportado, sobre el que de nuevo se coloca una capa de piroclastos. Es también en estas situaciones cuando se utiliza el asterisco. Un ejemplo se puede encontrar en el entorno de la Caldera del Cuchillo en el límite entre los municipios de Teguise y Tinajo. Estos recintos suelen responder igualmente a la asociación III* + VIs.

En algunos núcleos en las coladas, y especialmente en sus límites, se puede observar como se ha colocado sobre ellas suelo transportado, cubriéndolo a continuación con piroclastos.

En otras zonas de la isla se encuentran muy mezcladas las parcelas con suelo natural de las que tienen suelo transportado, y son de difícil separación. En estos casos se ha optado por no utilizar el asterisco.

Clase IV

Se incluyen en esta clase los suelos que están sometidos a limitaciones severas que hacen difícil su utilización agrícola. No obstante pueden ser cultivados ocasionalmente, con un número reducido de especies, con una baja productividad. Además, las prácticas de conservación del suelo son muy exigentes. Esta clase se encuentra en el límite de las clases cultivables; en zonas continentales quedarían marginadas y sólo encontrarían utilidad con fines forestales o ganaderos.

Se han definido tres subclases: IVe, IVs y IVes.

En la subclase IVe se considera que la limitación principal es de tipo erosivo, incluyéndose tres situaciones distintas. Por una parte, se encuentran recintos localizados en zonas de ladera donde las posibilidades de pérdida de suelo están asociadas a la pendiente. Hay ejemplos de este tipo en distintas zonas de la geografía insular, por ejemplo, en el municipio de Haría en las laderas de algunos valles. Hay que señalar que con cierta frecuencia se encuentran estas parcelas arenadas.

La segunda situación se corresponde con zonas ubicadas en pendientes más suaves pero muy expuestas a la acción del viento y/o con suelos de gran susceptibilidad a la erosión. Este es el caso de algunos núcleos situados en la plataforma del Mirador del Río, con suelos sobre materiales antiguos, que forman importantes cárcavas cuando no están protegidos, o el de los alrededores de Teseguite con la misma problemática. El uso de coberturas de piroclastos frena el proceso erosivo y, en los casos en que la pendiente lo permite, estos recintos se transforman en IIIc. Estos emplazamientos deberían ser objeto de recuperación dada la potencia y posibilidades de estos suelos.

Se ha incluido en esta subclase un tercer tipo de recintos donde la pequeña dimensión de las parcelas constituye una importante limitación. En ocasiones alternan con otras de mayor tamaño que justifican la asociación entre esta subclase y la subclase IIIc.

La subclase IVs incluye recintos con problemas de tipo edáfico que son de diferente naturaleza: irregularidad, elevada pedregosidad, escasa evolución de los suelos, contaminación superficial con arenas, o elevada salinidad.

Las zonas influenciadas por coladas basálticas de la Serie III se caracterizan por su irregularidad, en mayor o menor medida, y elevada pedregosidad superficial. En aquellos casos en que la superficie es muy irregular para poder hacer uso del suelo se recurre a una importante parcelación, siendo muy pequeñas y de difícil acceso. Este hecho, que impediría el cultivo en otras regiones por la imposibilidad de mecanización, no evita su utilización en Lanzarote, si bien con especies no exigentes, y de forma muy rudimentaria. Es el caso del recinto situado entre Guatiza y Mala, con parcelas pequeñas y a lo sumo medianas, cuyos suelos suelen estar cubiertos con escoria basáltica, y se han dedicado durante años al cultivo de *Opuntia ficus indica* para la obtención de cochinilla. Recintos, asociados también a la Serie III, aunque con superficie algo menos irregular e igualmente con elevada pedregosidad superficial, pueden ser mejorados por una acción de despedregado, hecho que se realiza en algunas zonas.

Como en el caso de la subclase IIIs, existen recintos de IVs cuyos suelos están asociados a materiales muy recientes, piroclastos basálticos de la Serie IV procedentes de diferentes conos volcánicos. Se trata también de suelos vítricos con escaso grado de evolución y, como aquellos con bajo porcentaje de arcilla, estructura inestable, elevada permeabilidad, etc., si bien en esta ocasión el tamaño de parcela es menor, la irregularidad mayor y/o mayor también la pendiente. Se localizan en la zona norte de la isla, caso por ejemplo de los alrededores de Ye, y en el oeste en algunos de los islotes con suelo que existen dentro de una gran masa de materiales volcánicos sin ningún tipo de alteración, en el Parque Nacional de Timanfaya.

En el capítulo dedicado al agrosistema *jable* ya se comentó que los suelos de una parte central de la isla tienen una importante contaminación con arenas eólicas marinas que, procedentes de las playas del norte, se introducen hacia el interior en dirección norte-sur. La potencia de la capa de arena marca, en gran medida, las posibilidades de uso de la zona, pues si bien esta cobertura puede actuar positivamente preservando la humedad del suelo subyacente, su excesiva profundidad puede ser un importante impedimento para las prácticas agrícolas. Dado el tipo de manejo que se realiza en estas situaciones, cabría pensar que el límite para un posible uso agrícola, aunque fuera esporádico, podría estar en profundidades de 1 m. Este límite es el que se utilizó en un estudio anterior (Tejedor *et al.*, 1984; Marcos Diego, 1986) para marcar la diferencia entre la subclase IVs y VIs, estando esta última en la cercanía de la costa norte. Una aplicación estricta del sistema llevaría a la mayor parte de estas zonas de arena, con independencia del uso que se le haya dado, a la clase VI o, incluso, a una peor calificación agronómica. No obstante, tienen una cierta potencialidad, aunque limitada, y la realidad es que han estado o siguen estando cultivadas. Esta circunstancia se ha querido reflejar en este nuevo estudio mediante una asociación IVs+VIs.

Los suelos de Lanzarote, a diferencia de los de la vecina isla de Fuerteventura, tienen un bajo grado de salinización y sodificación, consecuencia fundamentalmente de la edad reciente de los materiales, y de la frecuencia de las coberturas en la superficie del suelo, tanto naturales como antrópicas. No obstante, hay algunos núcleos más antiguos bajo la influencia del spray marino donde la conductividad eléctrica del suelo adquiere valores que restringen los cultivos pero, que de acuerdo a los límites que se señalaron en la metodología, podrían tener algún interés para determinados cultivos de forma ocasional, e incluirse en la clase IV. Para destacar estas situaciones se ha optado por definir la subclase como IVs3. Es el caso de un

recinto situado entre Mala y Arrieta, que presenta varios problemas de tipo edáfico, escasa profundidad de suelo, abundante pedregosidad, y presencia de costra caliza cerca de la superficie, a lo que hay que añadir una conductividad eléctrica que oscila entre 10 y 40 dS m^{-1}. En algunos puntos del recinto han acumulado suelo y lo han cubierto con piroclastos, descendiendo rápidamente la salinidad del suelo.

En la subclase IVes se agrupan suelos donde se asocian procesos erosivos con limitaciones de tipo edáfico. La situación más frecuente corresponde a recintos situados sobre derrubios de ladera, con profundidad de suelo, pero con gran abundancia de gravas y elevada pedregosidad superficial. Además, es común que la textura sea arenosa o, siendo equilibrada tenga un alto porcentaje de arena.

Se ha utilizado, con varias de las subclases, la asociación con la clase VIII cuando estaban intercaladas con viviendas en núcleos urbanos.

Clase VI

Se incluyen en esta clase suelos con limitaciones de tal magnitud que no hacen aconsejable su utilización con fines agrícolas, y únicamente un uso para pastoreo, aprovechamiento forestal o reserva natural. Dependiendo del tipo principal de limitación se han definido las subclases: VIe, VIs y VIes.

La subclase VIe incluye suelos situados en zonas de pendiente catalogadas como fuertes, que favorecen los procesos erosivos y condicionan que no tenga interés su uso agrícola, dado el riesgo de pérdida de la capacidad productiva. En el norte de la isla suele encontrarse en laderas de valles y barrancos, en ocasiones con actuaciones de mejora, ya sean aterrazamientos y/o arenados, que han permitido un cierto uso agrícola, aunque actualmente en claro abandono.

Sobre materiales emitidos por el volcán Guanapay se han formado suelos con una elevada susceptibilidad a la erosión, que fueron ya mencionados al definir la subclase IVe en los alrededores de Teseguite. Se incluyen en esta ocasión como VIe aquellos núcleos donde el acarcavamiento del suelo es más acusado o la pendiente mayor. De hecho, el recinto se ha planteado como asociación VIe+IVe.

La subclase VIs es la que tiene mayor representación de las tres, y a diferencia de la anterior se localiza en zonas de suave pendiente siendo los problemas más significativos de tipo edáfico. Tres son los principales motivos que han llevado a definir esta subclase. Uno se refiere a la elevada pedregosidad, que cubre prácticamente toda la superficie del suelo, y que constituye una importante limitación que condiciona su utilización agrícola. Podrían, como en el caso de la subclase IVs de similares características, realizarse labores de mejora aunque con más dificultad.

La segunda situación que ha llevado a definir esta subclase está asociada a la contaminación superficial con arenas eólicas marinas, que fue ya comentada al analizar la subclase IVs. En este caso se incluyen aquellas zonas con un espesor de arena superior a un metro que, aunque en algunos núcleos se han utilizado o se están utilizando con fines agrícolas, la limitación excede lo aconsejable para el cultivo en este sistema.

Como también se comentó al analizar la clase IV, los suelos de la isla no son excesivamente salinos ni sódicos. Sin embargo, se encuentran algunos núcleos formados sobre materiales antiguos donde la conductividad eléctrica de los suelos constituye una limitación importante para el desarrollo de los cultivos, pero no obstante permitiría algún tipo de aprovechamiento encuadrado en la clase VI. Es el caso del

extremo suroeste de la isla, de pendiente muy suave, con suelos formados sobre materiales de la Serie II, en una zona abierta afectada frecuentemente por fuertes vientos, con profundidad de suelo normalmente superior a 50 cm, y abundantes gravas. La salinidad es elevada en todo el recinto si bien hay importantes variaciones en los valores de conductividad eléctrica, con núcleos donde oscila entre 20 y 40 dS m^{-1} y otros donde se supera con creces ese valor. Esta circunstancia ha llevado a definir el recinto como una asociación VIs3 + VIIIs3, dejando constancia con el índice s3 el problema de salinidad de los suelos.

En la subclase VIes se combinan limitaciones de carácter erosivo y edáficas. Las primeras suelen estar asociadas a condiciones topográficas de pendiente, caídas de ladera, y a zonas muy abiertas sometidas a intensos vientos. Respecto a las edáficas se encuentran varias situaciones: elevada pedregosidad y profundas cárcavas, que son frecuentes en los derrubios de ladera como es el caso de las caídas de Famara, o en los recintos situados en la salida de los barrancos formados por materiales de sedimentación, un ejemplo de ello se encuentra en el norte de la isla en los arrastres del Valle Grande; escasa profundidad de suelo por la presencia cerca de la superficie de una costra caliza y abundante pedregosidad que corresponde a fragmentos de costra, ejemplo de ello es el Lomo del Vallito en el municipio de Yaiza o la montaña de Chimia en el de Arrecife. En algunos recintos a los problemas erosivos y de pedregosidad se une una elevada salinidad, caso de la ladera de Caldera Trasera en el municipio de Teguise, o del recinto muy irregular situado en la cercanía de la Punta de Papagayo, formado sobre cenizas basálticas muy antiguas de la Serie I (Mioceno y Plioceno inferior, 15.5-3.2 m.a.), donde la conductividad eléctrica suele superar los 20 dS m^{-1}.

Clase VII

Las limitaciones que tienen los suelos de esta clase son similares a las señaladas para la clase VI, aunque más acentuadas, y los hacen inadecuados para el cultivo, si bien podrían tener cierta utilidad con fines forestales, pastos o reservas naturales. Dependiendo del tipo principal de limitación se han definido las subclases: VIIs, VIIes y VII*.

La subclase VIIs está, como en alguna de las situaciones de la subclase VIs, asociada a coladas basálticas de la Serie III que implican una elevada pedregosidad que puede cubrir la práctica totalidad del suelo, pudiendo ser éste relativamente profundo. La pendiente es suave y la irregularidad del terreno muy importante, circunstancia que no hace recomendable su mejora. De hecho, en el recinto definido como tal en el municipio de Yaiza no se han realizado prácticas al respecto, salvo en los alrededores de núcleos urbanos.

Los suelos de la subclase VIIes se localizan en relieves de fuerte pendiente que, además, tienen problemas de tipo edáfico, algunos de ellos consecuencia de lo anterior, caso por ejemplo de la poca profundidad del suelo debido a los procesos constantes de erosión, que en algunos núcleos hacen aflorar en superficie el horizonte petrocálcico. También suelen estar acompañados por una elevada pedregosidad, que puede corresponder a fragmentos de costra. La variabilidad de las pendientes en algunas zonas ha llevado a que esta subclase se encuentre no sólo pura sino también formando asociación con la subclase VIes y VIII.

En la asociación VIIes+VIII alternan zonas que han perdido casi todo el suelo (VIII), como consecuencia de la erosión, y zonas que lo han mantenido debido a la presencia de antiguos bancales, normalmente de pequeño tamaño, y actualmente muy

deteriorados. Son éstos, de nuevo, ejemplos de cómo los sistemas agrícolas tradicionales han tenido un papel fundamental de conservación de suelo y agua. Sería aconsejable la recuperación y mantenimiento de muchos de estos bancales, incorporando una vegetación adaptada al medio. De no hacerlo continuarán los procesos erosivos hasta transformarse en irreversible la situación.

Se incluyen como subclase VII* las zonas típicas de arenados naturales, donde los suelos fueron cubiertos por piroclastos basálticos procedentes directamente de las emisiones de los conos volcánicos, en especial de las erupciones de 1730-36. El espesor de la cobertura de cenizas es importante, frecuentemente mayor de 2 metros, por tanto muy superior al de los arenados artificiales. La zona más característica corresponde a la Geria.

En estos núcleos el agricultor desarrolla un tipo especial de agricultura mediante una práctica muy laboriosa de realización de un hoyo de dimensiones importantes en la capa de cenizas hasta llegar al suelo donde se efectúa la plantación, construcción de muros de piedra y otros, manejo que no comentaremos pues es bien conocido. La elevada utilización de la zona podría llevar a pensar en definir este recinto dentro de la clase IV, sin embargo sólo es rentable su uso con plantas permanentes de raíces profundas, caso de la viña o la higuera, circunstancia que lleva a incluirlo en la clase VII. No obstante, se trata de una clase VII con características muy especiales dada su rentabilidad, hecho que se ha tratado de reflejar con el asterisco.

En los límites de estos *arenados* naturales se han observado algunas zonas donde se ha eliminado gran parte de la cobertura de piroclastos, dejando un espesor adecuado para poder calificar las parcelas como IIIc.

Clase VIII

Se trata, por definición, de una clase improductiva para el uso agrícola, ganadero y forestal. En Lanzarote son varios las causas que han llevado a definir esta clase.

Por una parte, recintos situados en zonas de muy fuerte pendiente, donde los constantes procesos erosivos impiden la formación de suelo o han favorecido su desaparición, dejando en superficie la roca o una costra caliza. Situaciones de este tipo, asociadas a materiales antiguos de la Serie I, se encuentran por ejemplo en el Risco de Famara en el norte de la isla o en Los Ajaches en el sur.

En contraposición al caso anterior se encuentran recintos situados en zonas de suave pendiente, formados por materiales muy recientes pertenecientes a la Serie IV, donde es su juventud la causa de que aún no se haya formado suelo. Recintos de este tipo son los malpaíses de Timanfaya o de la Corona.

Al analizar la subclase VIs3 ya se comentó que en el suroeste de la isla, en la Costa del Rubicón, existían núcleos con suelos de elevada salinidad, con conductividades eléctricas muy superiores a 40 dS m^{-1}, que llevan a incluirlos en esta clase de suelos improductivos. La constancia del origen de esta improductividad se refleja en la denominación que se ha dado de VIIIs3.

También se han incluido en esta clase: núcleos urbanos, playas, zonas de extracción de piroclastos, de áridos y de suelo, campos de golf, vertederos, etc. Algunas de estas situaciones son claramente recuperables, caso de las extracciones de suelo, dada su elevada potencialidad agrícola, hecho que ya se comentó al analizar

la subclase IIIc. El impacto de las canteras de piroclastos y áridos debería ser motivo de un plan de restauración ambiental.

Si bien esta clase no tiene interés agrológico, una parte de ella lo tiene, y mucho, desde un punto de vista paisajístico. El Parque Nacional de Timanfaya, con importantes malpaíses, es visita obligada del turista que llega a la isla, como lo es también el malpaís de La Corona al tener integrada la Cueva de Los Verdes y Los Jameos del Agua.

Resumen del conjunto de las Clases

En la tabla 25 se presenta un resumen de la superficie que ocupa cada una de las clases agrológicas y el porcentaje que representa del área insular. En las tablas 26 y 27 se refleja la superficie de las subclases y lo que representa cada una en el conjunto de la clase.

De los datos obtenidos se refleja que en un 28% de la superficie insular es posible una utilización agrícola en sentido estricto y, de ella, más de la mitad en zonas valoradas como clase IV, con uso de carácter ocasional, extensivo y marginal. Este porcentaje está, en gran medida, asociado a sistemas agrícolas tradicionales y a labores de mejora realizadas por los agricultores. En la clase III se pone de manifiesto en el predominio de la subclase IIIc, asociada a *arenados*, y en la IV esencialmente a parte de la subclase IVs ligada al sistema *jable*. El despedregado superficial y posterior arenado ha supuesto un incremento de las zonas consideradas aptas para el cultivo, debido a las características del suelo subyacente. Hay que dejar constancia que en este porcentaje no está la superficie de arenados naturales que está siendo utilizada para el cultivo de plantas permanentes de raíces profundas, situación que se incluye en la clase VII.

Un 25% del territorio insular ha sido valorado dentro de las clases VI y VII, es decir, suelos con limitaciones severas para su utilización agrícola, pero que podrían admitir otros usos. Hay que señalar que no son los problemas erosivos los más importantes, sino los de naturaleza edáfica, algunos de los cuales podrían, sin excesivo esfuerzo, reducirse o eliminarse, y transformar la zona en cultivable. De hecho algunos núcleos definidos en las clases III y IV responden a esta situación. Gran parte de la subclase VIIes corresponde a núcleos que no están en la clase VIII como consecuencia de la presencia de bancales.

Un 47% de la isla corresponde a zonas improductivas desde un punto de vista agronómico, que tienen en la mayoría de los casos un gran valor paisajístico y ecológico, de hecho en esta clase VIII está incluido el Parque Nacional de Timanfaya.

Es algo complicado hacer una comparación con el estudio de clases agrológicas realizado en 1984, dado que las técnicas que se utilizaron para ello fueron distintas y de menos precisión. En concreto, la medida de la superficie de los polígonos se hizo con planímetros y, para la cartografía se utilizó un pantógrafo pues en ese momento no existían Sistemas de Información Geográfica. No obstante, el análisis de ambos estudios, al haber participado miembros de ambos equipos, si reflejan situaciones y tendencias que se considera interesante resaltar.

- En los 26 años que han transcurrido no se ha reducido la superficie de posible utilización agrícola, bien al contrario se ha observado un cierto aumento, hecho que hay que valorar de forma positiva. Actualmente un 28% frente a un 26% del antiguo estudio (tabla 25). Aparentemente hay una reducción de la clase III y un aumento de la

IV; lo primero no es tal. En 1984 muchos de los pueblos no tenían desarrollo suficiente para poder ser reflejados en polígono en una cartografía a escala 1:50.000, y estaban incluidos en la clase que correspondiera a la zona, muchas de ellas III y IV. Ahora si tienen entidad para separarlos como VIII, solos o en asociación con otra clase. Esto significa que recintos que antiguamente eran III o IV están actualmente como VIII. La sobrevaloración de los datos antiguos de estas dos clases significa que los actuales son, en comparación, más elevados. Además, hay que añadir que la actual clase III tiene muchas más posibilidades de uso agrícola que la definida en 1984, por la disponibilidad de riego, hecho que prácticamente no existía en aquel momento.

El mayor aumento de la clase IV se asocia, también, a que en el estudio anterior la mayoría del jable se definió como VIs y, en la actualidad, se ha preferido definirlo como IVs+VIs, pues se ha tratado de reflejar, por una parte, la realidad de la situación y, por otra, valorizar núcleos que con riego pueden tener rentabilidad.

- La reducción de la clase VI va asociada a lo recién comentado y, al aumento de núcleos urbanos, precisamente en zonas que tenían esta catalogación.

- El aumento del porcentaje de la clase improductiva VIII se debe, fundamentalmente, al incremento de los núcleos urbanos.

Tabla 25

Superficie (ha) de las clases de capacidad agrológica y porcentaje del total insular

Clase	Hectáreas	% actual	% 1984
III	8558	10.6	11.9
IV	14011	17.4	14.6
VI	13453	16.7	22.4
VII	6738	8.4	7.9
VIII	37840	46.9	43.2

Tabla 26

Superficie (ha) de las subclases de capacidad agrológica (III-IV) y porcentaje de la clase

	III				IV			
	IIIe	IIIs	IIIc	IIIc*	IVe	IVs	IVes	IVs3
ha	959.7	482.7	6782.7	332.5	3756.3	7728.8	2365.4	160.8
%	11.2	5.6	79.3	3.9	26.8	55.2	16.9	1.1

Tabla 27

Superficie (ha) de las subclases de capacidad agrológica (VI-VIII) y porcentaje de la clase

	VI				VII			VIII	
	VIe	VIs	VIes	VIs3	VIIs	VIIes	VII*	VIII	VIIIs3
ha	749.3	8434.1	3527.0	742.0	2603.0	1980.3	2155.1	37098.1	742.0
%	5.6	62.7	26.2	5.5	38.6	29.4	32.0	98.0	2.0

IV. CONCLUSIONES

En las condiciones naturales de aridez existentes en la isla de Lanzarote, y con el alto riesgo de sufrir procesos de desertificación, el desarrollo de la agricultura, al margen de connotaciones de tipo socioeconómico, depende de las características y disponibilidad de recursos tan importantes como son el suelo y el agua. La escasez de estos recursos en condiciones óptimas ha sido suplida por una serie de prácticas agrícolas tradicionales, que han supuesto un enorme esfuerzo para el agricultor, y por la incorporación de nuevas fuentes de producción de agua (desalinización y regeneración).

En este trabajo se ha realizado un profundo estudio de los suelos de la isla, de su potencialidad agronómica, de la calidad de los nuevos recursos hídricos disponibles, y de cómo estos están afectando a los suelos al modificarse las condiciones de manejo de secano a regadío. Si bien a lo largo de esta memoria se han ido señalando algunas conclusiones, en este epígrafe se hará un resumen de las mismas.

A pesar de las limitaciones que afectan a los suelos de la isla, pedregosidad, poco espesor, presencia de costra caliza, algunos núcleos salinos, evidencia de procesos erosivos, y grandes extensiones con materiales volcánicos muy recientes, el 28% de la superficie insular puede considerarse cultivable de modo intensivo u ocasional. El 25% no es susceptible de un uso agrícola en sentido estricto, aunque parte se esté utilizando y, con ciertas mejoras, podría aumentar el porcentaje de superficie cultivable. El resto debe considerarse improductivo desde un punto de vista agronómico que no de otros.

El no despreciable porcentaje de suelo con potencialidad agrícola existe debido, sin lugar a duda, a la presencia de sistemas agrícolas tradicionales conservadores de suelo y agua, caso de los *arenados*, *gavias*, *jables* y bancales, especialmente de los primeros. Se ha visto como estos sistemas, en secano, mantienen unas condiciones de humedad favorables para el desarrollo vegetativo, regulan y homogenizan la temperatura del suelo evitando valores extremos perjudiciales para las plantas, frenan los procesos de degradación del suelo ya sean de tipo erosivo como formación de regueros, cárcavas, y abarrancamientos, de salinización o sodificación, y, además, en el caso de los *arenados* y *jables* se reduce considerablemente la presencia de malas hierbas. El enorme trabajo que ha supuesto la construcción de bancales de tamaños muy variados, no sólo ha producido modificaciones del paisaje sino que ha aumentado la superficie de terreno agronómica disponible. El nivel de deterioro es elevado, si bien del estudio realizado se deduce que aún un porcentaje alto es merecedor de recuperación.

El mantenimiento de estos sistemas, y su conservación en buen estado, es fundamental si se quiere sostener el sector agrícola de la isla. La idea, en algunos ambientes, de eliminar las coberturas de piroclastos con la incorporación del riego para facilitar el manejo, sería extremadamente perjudicial, por no catalogarla de barbaridad, ya que dada las condiciones ambientales llevaría a una rápida degradación del suelo, más aún teniendo en cuenta la calidad de las aguas de riego empleadas. Este hecho se ha puesto de manifiesto en este estudio, lo que es por otra parte lógico ya que al eliminar la cobertura protectora se pierde el efecto positivo que ejerce, entre otros, en el lavado de sales y la reducción de la evaporación. Es, por tanto, una práctica no recomendable.

Pero es que además los sistemas agrícolas tradicionales no sólo tienen un papel productivo, también lo tienen de conservación de gran interés por su relación con el

anterior, pero también por sí mismo. Hay en la isla de Lanzarote muy buenos ejemplos de cómo estos sistemas han mantenido el suelo y frenado los procesos de degradación. Basta comparar, en zonas con suelos de gran susceptibilidad a la erosión, núcleos arenados y los adyacentes sin arenar, incluso en topografías muy suaves, o en pendientes elevadas los suelos de bancales con los adyacentes sin abancalar, o los suelos de *gavias* con los situados fuera del sistema. En todos los casos, el suelo dentro del sistema está mucho mejor conservado.

La vertiente de conservación, importante en todos los casos lo es más aún en una zona con alto riesgo de desertificación que, además, es Reserva de Biosfera. Se hace necesario realizar actuaciones que prevengan y mitiguen la degradación y pérdida de suelo y estén dirigidas a mantener la sostenibilidad de los sistemas. En este ámbito cabría señalar medidas de rehabilitación de bancales, y de *gavias*, que deberían ir acompañadas de actuaciones relacionadas con el uso, pues en caso contrario a los pocos años se estaría en situación similar a la anterior a la restauración. La recuperación podría hacerse en el ámbito de la agricultura o bien, dependiendo de la zona, mediante actuaciones de repoblación procurando, en la medida de lo posible, hacerlo con especies autóctonas, aunque en un principio podrían utilizarse especies de fácil implantación y crecimiento rápido capaz de aportar materia orgánica que permita la estabilización y fijación del suelo. La cartografía de estos sistemas realizada en este estudio es una buena base de trabajo.

En aquellos casos en que la degradación esté muy avanzada, y sean evidentes las cárcavas, serían necesarias medidas de restauración hidrológica de intensidad distinta dependiendo del grado de erosión, por ejemplo construcción de albarradas y diques, estructuras que frenan la escorrentía del agua y permiten la acumulación de sedimentos. Medidas que igualmente deberán estar acompañadas con propuestas de uso.

Por otra parte, se ha puesto nuevamente de manifiesto el beneficio de la cobertura de piroclastos frente a los procesos erosivos, coberturas que hay que mantener e, incluso, ampliar en zonas como las señaladas en la subclase IIIe, con suelos de buena potencialidad agronómica pero con gran susceptibilidad a la erosión, suelos que deberían ser objeto de un plan específico de recuperación.

Se hace necesario llevar a cabo con rigor un estudio de las zonas de la isla donde podrían realizarse extracciones de piroclastos con un bajo nivel de impacto. Hay que compaginar las demandas con los impactos. La eliminación/reducción del impacto de las canteras abandonadas.

Otra medida imprescindible se refiere a aquellas zonas que han tenido una excesiva actuación antrópica, caso de extracciones de suelo con potencialidad agrícola, que han dejado profundos socavones con gran impacto; deberían ser objeto de recuperación.

En definitiva, en este aspecto se concluye que es aconsejable realizar un/os proyecto/s con propuestas de carácter integral que incluyan medidas de diferente naturaleza, relacionadas con infraestructuras, y uso. Propuestas que no sólo encajan en una política sectorial agrícola, sino también en el marco de las acciones de lucha contra la desertificación.

Además, los sistemas agrícolas tradicionales de Lanzarote tienen un elevado valor paisajístico, cultural y patrimonial que es necesario preservar, con las mejoras que correspondan, para las generaciones futuras.

Con relación a la Calidad de las Aguas utilizadas para el riego el resultado de los análisis químicos y microbiológicos ha puesto de manifiesto lo siguiente.

Las aguas desalinizadas presentan un grado de restricción para su uso agrícola de ligero a moderado, pues pueden plantearse algunos problemas potenciales de reducción de la permeabilidad del suelo por la combinación de los valores de salinidad y de relación de adsorción de sodio. Con relación a estudios anteriores se detecta que sigue manteniéndose la variabilidad en los valores, si bien han disminuido los máximos y mínimos de los parámetros CE, RAS, Na^+ y Cl^-. Respecto al boro las consideraciones varían mucho dependiendo del valor que se utilice, sea el mínimo, la media o el máximo. Así, las concentraciones mínimas obtenidas no plantearían ningún tipo de problema de degradación ni a corto ni a largo plazo, el valor máximo está por encima de lo admisible y su uso tendría riesgos de degradación a medio-largo plazo, el valor medio tiene también ese riesgo. En consecuencia, habría que sugerir para las aguas desalinizadas que los distintos parámetros se mantuvieran en ámbitos cercanos a los valores mínimos de este estudio. Respecto a los análisis microbiológicos de *Escherichia coli* y Enterococos, han sido negativos en todos los muestreos realizados.

El análisis químico de las aguas regeneradas refleja una baja aptitud para el riego, consecuencia de los elevados valores de salinidad, sodicidad, cloruros y boro, más altos que los observados para las aguas desalinizadas. Destaca la gran variabilidad en su composición lo que dificulta las recomendaciones de manejo. En comparación con seguimientos anteriores realizados por el equipo redactor del proyecto, la variabilidad en los datos no ha cambiado y, ha aumentado considerablemente el valor mínimo de las conductividades eléctricas y del boro, manteniéndose en niveles similares los valores máximos y las medias. En el caso concreto del boro se pone de manifiesto que el uso de estas aguas, si se mantienen los mismos valores, habrá riesgos de degradación del suelo a medio-largo plazo.

Con relación a los aspectos sanitarios de la reutilización agrícola de las aguas regeneradas, el Real Decreto 1620/2007 marca los criterios de control de la calidad microbiológica que deben cumplir. Las aguas analizadas se ajustan en general a las calidades 2.1. y 2.2., no obstante, se observan incumplimientos graves que obligarían a la suspensión del suministro. En concreto, los recuentos de *Escherichia coli* varían mucho de un muestreo a otro y entre zonas, y con frecuencia se superan los máximos admisibles tanto para la calidad 2.1 como 2.2., sin llegar a afectar al 90% de los muestreos. En algunos controles se ha superado no sólo el valor máximo admisible sino el límite de desviación máxima aceptable para las dos calidades. Los valores máximos observados de sólidos en suspensión sobrepasan el límite de desviación máxima permisible para el tipo de uso 2.1. Si a este conjunto de datos se añaden valores de DBO por encima de lo recomendado para aguas de uso agrícola de consumo humano, y valores elevados de nitritos y amonio, se puede pensar que en ocasiones estas aguas no han sido sometidas al tratamiento avanzado que se les atribuye.

El uso de las aguas regeneradas para la agricultura en la isla de Lanzarote es fundamental si se quiere desarrollar este sector con cierta rentabilidad, para ello es imprescindible:

- Un seguimiento más estricto de la depuración con especial énfasis en los aspectos sanitarios contemplados en el Real Decreto. Control riguroso y permanente de la calidad microbiológica del agua, dadas las variaciones que se pueden producir en un corto periodo de tiempo.

- Control de la calidad y variabilidad de los niveles de los parámetros físico-químicos.

- Evaluación de los sistemas actuales de tratamiento y valoración de alternativas.

Este conocimiento es básico para las recomendaciones de manejo del riego.

Otro factor a tener en cuenta, por incidir en el control del riesgo, es el manejo del agua y prácticas agrícolas y, en concreto el tipo de riego. No se recomienda el uso de riego por aspersión cuando se utiliza agua regenerada; se ha observado esta práctica en alguna zona de la isla. Con independencia del riesgo para los trabajadores este manejo dificulta el control de la zona regada y exige una mayor calidad microbiológica.

Es aconsejable que el control de la calidad microbiológica de estas aguas se realice no sólo a la salida de la depuradora sino también en los puntos donde se va a realizar el riego.

Se deja constancia de que en la zona de El Cuchillo se está regando con agua regenerada procedente de la depuradora de La Santa, que es transportada directamente, mediante cubas al no existir red de distribución, a las parcelas donde se cultiva fundamentalmente batatas y hortalizas. Se desconoce si dispone de tratamiento terciario. El equipo de trabajo ha tenido dificultades para el muestreo de esta agua. Se recomienda un estudio de cuál es la situación, por si se estuviera incumpliendo la normativa vigente.

No se ha podido confirmar la existencia de autorización sanitaria para el uso de las aguas regeneradas con fines agrícolas.

Respecto a cómo están evolucionando los suelos *arenados* sometidos a riego con aguas recicladas, las principales conclusiones son:

- *Riego con agua desalinizada*: aumento significativo de la salinidad, si bien por el momento, no parece constituir un problema para el desarrollo de los cultivos salvo en alguno muy sensible. El problema principal es la acumulación de boro en el suelo que alcanza valores potencialmente tóxicos en algunos casos.

- *Riego con agua regenerada*: incremento significativo, y de mayor magnitud que en el caso anterior de: la salinidad, que puede afectar a cultivos no resistentes, sodicidad, y del boro tanto en la fase acuosa como adsorbido. En muchos casos las concentraciones de boro soluble han sobrepasado los valores críticos establecidos para el cultivo. Aún así, no se han detectado síntomas de fitotoxicidad.

Una vez más hay que señalar el beneficio que supone la presencia de la capa de piroclastos; su posible efecto amortiguador frente a las consecuencias negativas de la calidad del agua.

Por otra parte, la distribución del agua de riego a través de una capa de piroclastos constituye en sí un proceso de tratamiento adicional del agua, y por ello un

cierto mecanismo de seguridad frente a los posibles fallos de las plantas de depuración.

Mención especial hay que hacer de la evolución de los suelos en los que se ha eliminado la capa de piroclastos y se ha regado con aguas depuradas. La tendencia es clara: la salinidad, sodicidad y concentración de boro aumentan en una proporción mucho mayor que en los suelos cubiertos regados. Y además lo hacen con una cierta rapidez, regando entre tres y cinco años sin cobertura se alcanzan ya valores superiores a lo recomendado.

En definitiva, el desarrollo agrícola de Lanzarote va inexorablemente ligado, además de al suelo y a los sistemas agrícolas tradicionales, al uso de recursos hídricos no convencionales, pues ello supone una mayor diversificación de cultivos, mayor producción y rentabilidad. Además, esta reutilización reduce la posibilidad de contaminación del litoral por aguas que pueden tener una carga contaminante. Sin embargo, debe hacerse con un mayor control de la calidad de las aguas, pues de continuar con la actual existen importantes riesgos de degradación del suelo que llevaría a medio plazo a su pérdida y a una situación de difícil recuperación. Es importante que no se pierda el carácter de sostenibilidad que han tenido hasta el momento estos agrosistemas en condiciones de secano.

V. BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. APHA, Washington, DC.

ANZECC Y ARMCANZ. 2000. Australian guidelines for water quality monitoring and reporting. National Water Quality Management Strategy Paper No. 7. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra.

AYERS, R.S. Y WESCOT, D.W. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. I. FAO, Rome.

AYRES, R. y MARA, D.D. 1996. Analysis of wastewater for use in agriculture. WHO, Geneva, Switzerland.

BURROUGH, P. 1986. Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment. Monograph on Soil and Resources Survey, No. 12. Clarendon Press, Oxford. 194 p.

CANOVAS CUENCA, J.1986. Calidad Agronómica de las agua de riego. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

CONSELL DE MALLORCA. 2002. Patrimonio de bancales en el Mediterráneo Occidental. Una propuesta de catalogación. 2. Metodología, 32-96.

DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA Y GEOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA.1991. Agricultura de conservación en zonas áridas: Erosión-Salinización en suelos de Lanzarote. Curso Erosión de Suelos y Procesos de Desertización en Ecosistemas Insulares. Guía-Memoria de la Sesión de Campo, Yaiza, Lanzarote, 42 p.

DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA Y GEOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA. 1995. Guidebook Lanzarote. Meeting on: The soil as a strategic resource:

degradation processes and conservation measures. Canary Islands, Spain, 11-15 july 1995.

DÍAZ, F. 2004. Sistemas agrícolas tradicionales de las zonas áridas de las Islas Canarias. Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna, Tenerife, Spain.

DÍAZ, F.,TEJEDOR, M. y JIMÉNEZ, C.C. 2003. Dry farming agriculture with natural tephra mulch. A model of production and conservation. II World Congress on Conservation Agriculture. Foz do IguaÇú (Brasil).

DÍAZ, F., JIMÉNEZ, C., TEJEDOR, M. y MEJÍAS, G. 2004a. The use of tephra mulch increases soil fertility (Lanzarote, Spain).13th International Soil Conservation Organization Conference (ISCO 2004). Brisbane (Australia).

DÍAZ, F., JIMÉNEZ, C. y TEJEDOR, M. 2004b. Influence of the thickness and grain-size of tephra mulch on soil water evaporation. 14th International Congress of the ESSC. Soil Conservation in a changing Europe. Budapest (Hungría).

DÍAZ, F., MEJÍAS, G., TEJEDOR, M. y JIMÉNEZ, C. 2004c. Influence of tephra mulch thickness and grain-size on soil temperature. I Congreso Iberico Ciencia do Solo. BraganÇa (Portugal).

DÍAZ, F., JIMÉNEZ, C.C. y TEJEDOR, M. 2005. Influence of the thickness and grain size of tephra mulch on soil water evaporation. *Agricultural Water Management,* **74/1:** 47-55.

DÍAZ, F., TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C., y HERNÁNDEZ-MORENO, J.M. 2006. Effects of irrigation on the sustainability of the "Arenados" tephra mulching agrosystems (Canary Islands, Spain).International ESSC Conference on Soil and Water Conservation under Changing Land Use. Lleida (España).

FAO. 1982. Soil and plant testing analysis. Soils Bulletin. 38/1. Rome.

FAO 1988. World referente Base for Soil Resources. World Soil Resources Report 84. Rome.

FUSTER, J.M., FERNANDEZ SANTIN, S. y SAGREDO, J. 1968. Geología y Volcanología de las Islas Canarias, Lanzarote. Instituto Lucas Mallada. CSIC. Madrid, 117 p.

HERNÁNDEZ, M., TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C., DÍAZ, F. y HERNÁNDEZ-MORENO, J.M. 2005. Comportamiento de suelos volcánicos frente al riego con aguas regeneradas y desalinizadas. Influencia del yeso en la corrección de problemas de boro y sodio. *Monografías INIA, Serie Agrícola*, **17**: 220-226.

HERNÁNDEZ-MORENO, J.M., TEJEDOR, M. y JIMÉNEZ, C.C. 2007. Effects of land use on soil degradation and restoration in the Canary Islands. Soils of Volcanic Regions of Europe. V. Volcanic Soils and Land Use, 565-580. Springer Verlag.

JIMÉNEZ, C. 2006. Sistemas agrícolas tradicionales. Una estrategia de Lucha contra la Desertificación. Campus de Excelencia 2006. Fuerteventura (España).

JIMÉNEZ C.C., TEJEDOR M. y DÍAZ F. 2002. Runoff harvesting systems in the Canaries. Tropical Resource Management Papers **40**: 41-48.

JIMÉNEZ, C., TEJEDOR, M., DÍAZ, F. y HERNÁNDEZ-MORENO, J.M. 2007a. Sustainability of tephra mulched systems under irrigation with desalinized-reclaimed water in Lanzarote (Spain).6th Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability. Antwerp (Bélgica).

JIMÉNEZ, C.C., TEJEDOR, M., HERNÁNDEZ-MORENO, J.M. FUENTES, J. y NERIS, J. 2007b. Impacto del riego con aguas desalinizadas en "arenados" (Lanzarote, Islas Canarias). III Simposio Nacional sobre Control de la Degradación de Suelos y Desertificación. Abstracts.

LAKANEN, E. y ERVIÖ, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soil. Acta Agric. Fenn., 123: 223-232.

LONGLEY, P.A., GOODCHILD, M.F.; MAGUIRE, D.J. y RHIND, D.W. 2001. Geographical Information Systems and Science. London, Wiley and Sons. 517 p.

MAFF. 1967. Soil potassium and magnesium. Tech. Bull. 14. HMSO.

MARCOS DIEGO, C. 1986. Capacidad de uso de los suelos de la isla de Lanzarote. Tesis de Licenciatura. Dpto. de Edafología. Universidad de La Laguna. Gobierno de Canarias, Consejería de Obras Públicas, 201 p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. 1994. Métodos Oficiales de Análisis. Tomo III. 662 p.

MINISTERIO DE PRESIDENCIA. 2007. Real Decreto 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas regeneradas. BOE núm. 294, 50639-50661.

OLSEN, S.R., COLE, C.V. WATANABE, S. y DEAN, L.A. 1954. Estimation of available phosphorous on soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA, Cir. Nº 939.

PAGE, A.L., MILLER, R.H., y KEENEY, D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, SSSA, Madison, WI.

PAPADAKIS, J. 1980. El clima. Ed. Albatros. Buenos Aires.

RODRÍGUEZ, A. JIMÉNEZ, C. y TEJEDOR, M. 1998. Soil degradation and desertification in the Canary Islands. The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures, 13-22.

SILLANPÄÄ, M. (1982). Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study. FAO Soils Bulletin, FAO, Rome.

SOIL SURVEY STAFF. 1999. Soil Taxonomy. Second Edition. NRCS-USDA Agric. Hand. 436, U.S. Gov. Print Office, Washington, DC.

TEJEDOR, M., RODRIGUEZ, A., HERNANDEZ-MORENO, J.M., y FERNANDEZ CALDAS, E. 1984. Clasificación agrológica de los suelos de las Islas Canarias. Congreso Internacional de Suelos Volcánicos. Comunicaciones. Secretariado de Publicaciones Universidad de La Laguna, Serie Informes nº 13, p. 549-576.

TEJEDOR, M., RODRÍGUEZ, A., JIMÉNEZ, C. y DÍAZ, F. 1999a. Evaluation of traditional agrosystem function in arid zones: hydric state and fertility. Soils with Mediterranean Type of Climate 6th International Meeting. Extended Abstracts 355-356. Barcelona, Spain.

TEJEDOR, M., RODRÍGUEZ, A., JIMÉNEZ, C. y DÍAZ, F. 1999b. Evaluación del funcionamiento de agrosistemas tradicionales en zonas áridas: aprovechamiento hídrico y estado salino. 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Temuco (Chile).

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C., DÍAZ, F. y RODRÍGUEZ, M. 2000a. The canarian traditional agricultural systems as soil temperature regulators. Third International Congress of the European Society for Soil Conservation. Man and Soil at the Third Millenium. Valencia (España)

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C. y DÍAZ, F. 2000b. Optimización del espesor y tipo de mulch de cenizas volcánicas en la conservación del agua del suelo. Resultados preliminares. 11 International Soil Conservation Organization Conference. Buenos Aires (Argentina).

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C. y DÍAZ, F. 2001a. Volcanic materials ash mulches for water conservation. International Workshop Volcanic Soils: properties, processes and land use. Azores (Portugal).

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C. y DÍAZ, F. 2001b. Use of volcanic mulch in rehabilitation of saline soils. 3rd International Conference on Land Degradation. Río de Janeiro (Brasil).

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C. y DÍAZ, F. 2001c. Agricultura de Conservación en regiones áridas utilizando materiales volcánicos. I Congreso Mundial de Agricultura de Conservación. Madrid (España).

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C., DÍAZ, F. y MORILLAS, G. 2002a.Traditional agricultural practices in the Canaries as soils and water conservation techniques. Impact assessment and economic evaluation of water harvesting techniques in dry mediterranean zones. Canary Islands (Spain).

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C. y DÍAZ, F. 2002b. Volcanic Mulching: a soil and water conservation strategy.International Symposium on Sustainable use and management of soils in arid and semiarid regions. Murcia (España).

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C. y DÍAZ, F. 2002c. El cultivo en *arenados* de Canarias. *El Pajar*, **13**: 34-39.

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C. y DÍAZ, F. 2002d. Soil moisture regime changes in tephra-mulched soils: implications for soil taxonomy. *Soil Science Society of America Journal,* **66**, 202-206.

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C. y DÍAZ, F. 2002e. Traditional agricultural practices in the Canaries as soil and water conservation techniques. *Tropical Resource Management Papers*, **40**: 3-12.

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C. y DÍAZ, F. 2002f. Farming practices affect soil classification in arid regions.17 World Congress of Soil Science. Tailandia.

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C. y DÍAZ, F. 2003a. Use of volcanic mulch to rehabilitate saline-sodic soils. *Soil Science Society of America Journal,* **67:** 1856-1861.

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C. y DÍAZ, F. 2003b. Volcanic materials as mulches for water conservation. *Geoderma,* **117:** 283-295.

TEJEDOR, M. JIMÉNEZ, C. y DÍAZ, F. 2004a. Dry farming agriculture with natural tephra cover in Lanzarote, Spain. *Soil Use and Management*, **20**: 360-362.

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C. yY DÍAZ, F. 2004b. Use of volcanic mulch for saline-sodic rehabilitation: short and long term experiences in the Canary Islands.Volcanic Soil Resources in Europe. COST Action 622 Final Meeting. Iceland.

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C., MONTEAGUT, F., MEJÍAS, G. y DÍAZ, F. 2004c. Impact of tephra mulching and unmulching on the soil salinisation-sodification processes. Eurosoil. Freiburg (Alemania).

TEJEDOR M., JIMÉNEZ C., DÍAZ, F. y RODRÍGUEZ C.M. 2005. Effectiveness of sand mulch in soil and water conservation in an arid region, Lanzarote, Canary Islands, Spain. Journal of Soil and Water Conservation, 60(1): 63-67.

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C. y DÍAZ, F. 2007a. Rehabilitation of saline soils by means of volcanic material coverings. *European Journal of Soil Science,* **58**:490-495.

TEJEDOR, M., HERNÁNDEZ-MORENO, J.M. y JIMÉNEZ, C.C. 2007b. Soils of volcanic systems in Spain. Soils of Volcanic Regions of Europe. I. European Volcanic Soil Resources, 101-112.

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C.C., HERNÁNDEZ-MORENO, J.M. y DÍAZ, F. 2007c. Influencia del riego con aguas regeneradas en los cultivos de "arenados". III Simposio Nacional sobre Control de la Degradación de Suelos y Desertificación. Abstracts.

TEJEDOR, M. y JIMÉNEZ, C. 2007d. Degradación y Conservación de Suelos en la isla de Lanzarote. Jornadas INTERREG III-B MAC (Proyecto CARTOGRAF III). Lanzarote (I. Canarias, España).

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C., FUENTES, J., NERIS, J. y HERNÁNDEZ-MORENO, J.M. 2008a. Introducing irrigation in the dry farming systems of Lanzarote (Canary Is., Spain): the impact on tephra-mulched soils. 15th ISCO Congress. Budapest (Hungary).

TEJEDOR, M. JIMÉNEZ, C., HERNÁNDEZ-MORENO, J.M., DÍAZ, F. y FUENTES, J. 2008b. Impacto del uso de aguas regeneradas y desalinizadas en el agrosistema de "arenados" de la isla de Lanzarote. En: Introducción a la reutilización de aguas regeneradas y exposición de casos prácticos (cap.6), 68-82. ITC.

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C., y HERNÁNDEZ-MORENO, J.M. 2008c. Soil degradation under reclaimed wastewater in "arenados" (Lanzarote, Canary Islands, Spain). The Third Internacional Meeting on Environmental Biotechnology and Engineering (3IMEBE). Palma de Mallorca.

TEJEDOR, M., JIMÉNEZ, C., HERNÁNDEZ-MORENO, J.M. y DÍAZ, F. 2011a. Tephra-mulched soils irrigated with reclaimed urban wastewater in former dry-farming systems of Lanzarote (Spain). *Catena*, **84**:108-113.

TEJEDOR, M. DÍAZ F. DORTA, M.A. HERNÁNDEZ-MORENO, J.M. y JIMÉNEZ, C. 2011b. Impacto del riego con recursos hídricos no convencionales en el agrosistema *jable* (Lanzarote). V Simposio Nacional sobre control de la degradación y uso sostenible del suelo. Murcia

USEPA 2004. Guidelines for wastewater reuse. US Environmental Protection Agency. EPA/625/R-04/108. Washington, DC.

U.S. SALINITY LABORATORY STAFF. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alcali soils. L.A. Richards (ed.). U.S.Dept. of Agric. Hand., vol.60, U.S. Govt. Print Office, Washington DC, 172 p.