

IMPACTO DEL CAMBIO DE MANEJO DE SECANO A REGADÍO EN EL AGROSISTEMA DE ARENADOS DE LANZAROTE

IMPACT OF MANAGEMENT CHANGE FROM DRY-FARMING
TO IRRIGATION IN THE AGROSYSTEM OF TEPHRA-
MULCHED SOILS IN LANZAROTE



Trabajo Fin de Grado
Haridian Hernández Olivero

Carmen Concepción Jiménez Mendoza (Dpto. Biología Animal, Edafología y Geología). U.D. EDAFOLOGÍA.
Francisco Javier Díaz Peña (Dpto. Biología Animal, Edafología y Geología) U.D. EDAFOLOGÍA.
Grado en Biología

ÍNDICE

1. RESUMEN	2
ABSTRACT	2
KEYWORDS	2
2. INTRODUCCIÓN	3
3. OBJETIVO	9
4. MATERIAL Y MÉTODOS	9
4.1. ZONA DE ESTUDIO.	9
4.2. ANÁLISIS DE AGUAS DE RIEGO NO CONVENCIONALES	9
4.3. ANÁLISIS DE SUELOS ARENADOS DE REGADÍO Y DE SECANO	11
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
5.1. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE RIEGO NO CONVENCIONALES.	13
5.1.1. Salinidad y sodicidad.	14
5.1.2. Concentración de Boro.	14
5.1.3. Alcalinidad y pH	15
5.2. IMPACTO DEL RIEGO EN LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS	16
5.2.1. Salinidad	18
5.2.2. Sodicidad.	19
5.2.3. Boro	20
5.2.4. Materia orgánica y nutrientes	20
6. CONCLUSIONES	21
7. BIBLIOGRAFÍA	22

1. Resumen

La isla de Lanzarote (Islas Canarias) es una de las regiones más áridas de la Unión Europea y su agricultura tradicional de secano se ha desarrollado gracias a la existencia de agrosistemas tradicionales conservadores de suelo y agua. Este trabajo de fin de grado de carácter bibliográfico, analiza del impacto del cambio de manejo de secano a regadío en la agricultura local, concretamente, en los agrosistemas de arenados caracterizados por su cubierta o *mulch* de material piroclástico denominado rofe o picón. Este agrosistema forma paisajes únicos de gran interés económico, ecológico y turístico como el área de La Geria. El contraste de información y resultados de diversos estudios previos analizados en este trabajo, permite concluir que el uso de recursos hídricos no convencionales como el agua desalinizada y el agua residual regenerada, causarán problemas relevantes en los suelos si se prolonga su uso durante un largo periodo de tiempo. Por ello se debe perfeccionar los tratamientos y producción del agua destinada al regadío para conservar la calidad del suelo agrícola.

Abstract

Lanzarote Island (Canary Islands) is one of the most arid regions in European Union and its traditional rainfed agriculture subsisted thanks to conventional water resources. This bibliographic final project analyzes the impact of the change of management from dry land to irrigated land in local agriculture, specifically, in tephra-mulched agrosystems characterized by their cover or mulch of pyroclastic material known as *rofe* or *picón*. This agrosystem forms unique landscapes of great economic, ecological and tourist interest such as La Geria. By contrasting information and results of several previous studies that were analyzed in this project, allows us to conclude that the use of unconventional water resources like desalinated water and regenerated wastewater will cause relevant problems if its use is prolonged for a long period of time. Therefore, the treatment and production of water for irrigation must be improved to keep agricultural soil quality.

Keywords: agricultura tradicional, recursos hídricos no convencionales, arenado, *mulch*, secano, regadío.

2. Introducción

Lanzarote es la isla que se encuentra más al noroeste de las Islas Canarias, España, siendo una de las más áridas y con una avanzada desertificación. Lanzarote presenta un régimen árido o semi-árido, con una evapotranspiración muy elevada a causa de sus condiciones climáticas. La desecación de la superficie de los suelos de la isla se produce de forma rápida después de las lluvias, dada la incidencia del sol y el viento. Sin embargo, se pudo llegar a realizar con cierto éxito una actividad agrícola de carácter tradicional en secano recubriendo la superficie de los suelos con materiales volcánicos como el *picón* (o *rofe*), para reducir la evaporación directa del agua, optimizando las escasas precipitaciones que se dan en la isla (Tejedor et al., 2011). Este agrosistema tradicional se conoce localmente como arenados.

Los arenados (o enarenados) se definen según el Diccionario de Canarismos como “Sistema de cultivo que consiste en cubrir de forma permanente el terreno con una capa de arena volcánica para conservar la humedad de la tierra, diferenciando en Lanzarote entre *arena* y *rofe* según el tamaño de la arena volcánica, siendo más fino en el primero” (Academia Canaria de la Lengua, 2019).



Foto 1. Arenado artificial cultivado en el municipio de Tinajo. (Agrolanzarote, 2012)

Podemos encontrar dos tipos de arenados, naturales y artificiales. En el caso de los arenados naturales, la cubierta de piroclastos, se debe a las erupciones volcánicas en el periodo de 1730 a 1736, pudiendo ser de 3 m de espesor. La zona que más destaca con este tipo de agrosistema es La Geria, donde los agricultores realizan hoyos hasta llegar al suelo, el cual fertilizan y siembran con plantas de tipo arbóreo como por ejemplo la viña y la higuera. En este caso la densidad de la plantación es muy baja (Tejedor et al., 2011).

Los arenados artificiales han sido creados por los agricultores isleños, que trasladaban este material basáltico hasta suelos agrícolas originales de la zona o transportados previamente. El espesor de la capa más utilizado es de 10 a 15 cm. Gracias a este menor espesor del *mulch*, se puede diversificar el tipo de cultivos en la isla, con mayor densidad de plantación y mayor actividad agrícola, siempre y cuando se siga respetando la estructura de este agrosistema y no se mezclen los piroclastos con el suelo (Tejedor et al., 2011).

En ambos tipos de arenados y en condiciones de secano, los agricultores plantan en el suelo, cavando previamente en la capa de *mulch*, dejando que ésta vuelva a recubrir el suelo y permitiendo que el cultivo crezca a través de esta capa de piroclastos. Además, este sistema de agricultura en secano garantiza una reducción de la salinidad y la sodicidad del suelo, además de conservar la humedad y homogeneizar la temperatura (Tejedor et al., 2003a, 2003b; Díaz et al., 2004).

Para poder realizar una actividad agrícola productiva en este ambiente es necesario el aporte de agua, y en Lanzarote, los recursos hídricos convencionales provienen de las aguas superficiales que se originan en determinados sectores de la isla con mayor pendiente (Los Ajaches, en la zona sur, y Famara, en la zona norte) y suelos poco permeables y que acaban siendo recolectadas en *aljibes*, *maretas* y/o *presas*. Además, podemos encontrar aguas subterráneas aunque su volumen es muy escaso y de mala calidad (pozos y galerías en la zona de Famara) (Canal Gestión Lanzarote, comunicación personal).



Foto 2. Aljibe como recurso hídrico convencional para el consumo doméstico en La Villa de Teguiise, municipio de Teguiise.

El sistema de cultivo en secano ofrece una baja productividad, que junto con el incremento del turismo, varias décadas atrás, ha provocado el abandono de estos agrosistemas y su consecuente deterioro. Además, el incremento del sector del turismo, dio lugar a la búsqueda de nuevos recursos hídricos no convencionales que pudieran abastecer al número cada vez mayor de personas que llegaban a la isla. Dichos recursos hídricos no convencionales empleados hasta hoy día son, el agua de mar desalinizada y las aguas residuales regeneradas (Tejedor et al., 2011). Con estos nuevos recursos, se retoma la actividad agrícola, aunque no como actividad principal en la economía de la isla, sino complementaria a la de otros sectores económicos. Así, se van implantando gradualmente nuevos sistemas de riego que van sustituyendo la técnica de agricultura en secano. El uso del riego se irá aplicando a los cultivos tradicionales en Lanzarote, como por ejemplo batatas, papas, tomates, hortalizas e incluso en viñas, aunque en este último caso aún no es muy común (Tejedor et al., 2011).

Para la obtención de agua potable procedente de la desalinización del agua de mar en Lanzarote, se instaló la primera desalinizadora en 1964 (Canal Gestión Lanzarote, comunicación personal). En la actualidad la desalinización se lleva a cabo en la Central de Desalación Díaz Rijo, perteneciente a la empresa Canal Gestión Lanzarote, situada en

Punta de los Vientos, Arrecife. La instalación cuenta con tres plantas desaladoras (Lanzarote III, Lanzarote IV y Lanzarote V) que realizan ósmosis inversa.

Este proceso consiste en el uso de una bomba a presión para hacer pasar el agua del mar por siete membranas de ósmosis para en transformarla en agua desalinizada. Al final del proceso se consigue el paso del agua producto libre de solutos y la retención de los solutos (salmuera). Por ello, al agua se le aplica un pretratamiento después de la previa captación por parte de los pozos marinos, así como un postratamiento que ocurre después de la ósmosis inversa. Este postratamiento consiste en la remineralización del agua obtenida para su consumo como agua potable (Canal Gestión Lanzarote, comunicación personal).

El proceso de desalinización no solo separa las sales no deseadas del agua, sino que además elimina iones que son esenciales para el consumo y, a su vez, para el crecimiento adecuado de cultivos (Yermiyahu et al. 2007).



Foto 3. Infraestructura correspondiente al sistema de distribución de agua potable de las islas de Lanzarote y La Graciosa.

El sistema de distribución de agua potable de Lanzarote y La Graciosa abarca 1.875 km de tuberías que conforman la infraestructura de la red de abastecimiento. El sistema dispone de 62 depósitos reguladores con sus correspondientes estaciones de bombeo que se encargan de llevar a cabo el suministro con la presión adecuada desde la costa hasta las zonas más altas de Lanzarote. Dicho sistema se representa en la Foto 3 (Canal Gestión Lanzarote, comunicación personal).

En cuanto al agua regenerada procedente de las aguas residuales de uso urbano, la empresa Canal Gestión Lanzarote cuenta con ocho depuradoras que están repartidas por toda la isla. El control de calidad se lleva a cabo en el laboratorio de aguas depuradas de la EDAR (Planta de tratamiento de aguas residuales) del municipio de Tías. Las aguas que serán reutilizadas para la agricultura, entre otros posibles usos como la jardinería, se someten a tratamiento terciario (Canal Gestión Lanzarote, comunicación personal).

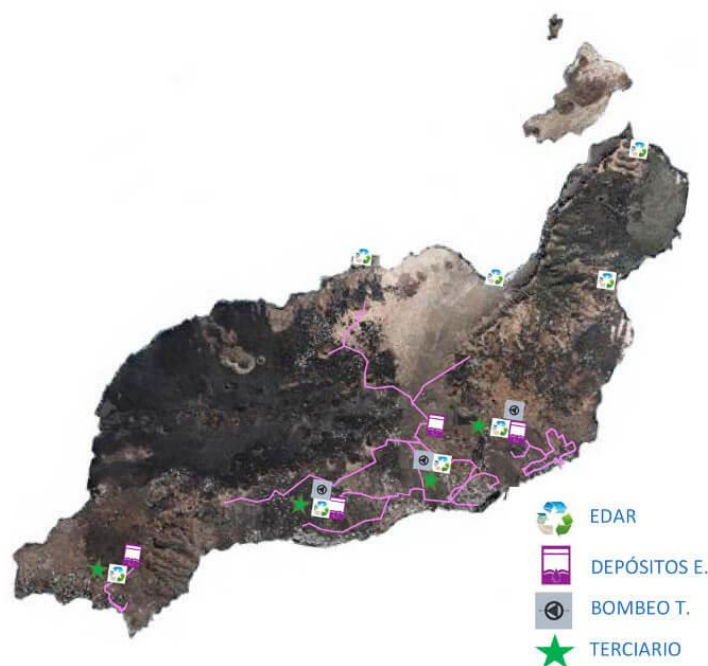


Foto 4. Infraestructura correspondiente al sistema de depuración y reutilización de agua de Lanzarote y La Graciosa.

Las aguas residuales llegan a las estaciones depuradoras y son sometidas a tratamientos de carácter físico y biológico que permiten eliminar la contaminación presente (restos sólidos, arenas, flotantes y contaminación orgánica). Canal Gestión Lanzarote cuenta con ocho depuradoras (Foto 4), procesando un volumen total de agua

depurada de 8,17 hm³ al año. Una parte del agua depurada se destina a la reutilización, para lo que es sometida a un tratamiento adicional o terciario para uso agrícola, riego de jardines municipales y campos de golf. Mediante filtraciones y procesos de desinfección resultan más de 3hm³ de agua regenerada al año, que es conducida hasta los regantes a través de una red específica de casi 508 km (Canal Gestión Lanzarote, comunicación personal).

El cambio de manejo de secano a regadío abre de nuevo la posibilidad de recuperar el sector agrícola, de forma sostenible, que había quedado abandonado. Con ello, se podrá avanzar en estudios que informan sobre cómo afecta este cambio de uso en los suelos de los arenados de la isla.

En otros estudios se han encontrado resultados sobre este impacto debido al uso de aguas desaladas y aguas regeneradas para el regadío (Tejedor et al., 2011; Díaz et al., 2013). Han sido citados incrementos de la salinidad, toxicidad por los niveles altos de boro (B) y elevados niveles de la relación de adsorción de sodio (RAS) (Lahav et al., 2010; Díaz et al., 2013). Puede verse afectado el pH durante la fertilización del suelo, que acaba disminuyendo la productividad de los cultivos (Yermiyahu et al., 2007). Por todo ello es tan importante que se siga avanzando en estos tipos de estudios, para poder mejorar la calidad de las aguas que empleamos para la agricultura.

3. Objetivo

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio de investigación de carácter bibliográfico, en el que se vean contrastados los datos sobre la calidad de los recursos hídricos no convencionales empleados en regadío y su impacto en las propiedades físico-químicas de los suelos en el agrosistema de arenados en Lanzarote.

4. Material y métodos

Se contemplarán los parámetros analíticos incluidos en artículos de referencia en este tema (Tejedor et al., 2011; Díaz et al., 2013). Se evaluará la calidad de las aguas usadas en el regadío, así como los cambios que pueden sufrir los suelos de dichos agrosistemas tras el regadío en comparación con sistemas de secano.

4.1. Zona de estudio.

La isla tiene una superficie de 862 km² y es de origen volcánico, formada por rocas basálticas. Como ya se menciona previamente la isla tiene un régimen que abarca de árido a semi-árido, y se encuentra separada 115 km de la costa oeste del continente africano. Sus coordenadas son entre el 29°17 y 28°02 latitud norte y 13°25 y 14°30 de longitud oeste. Las precipitaciones anuales se encuentran aproximadamente en los 150 mm, siendo estacionales y más abundante entre los meses de octubre y marzo. Además, la radiación solar que recibe es de unas 7,8 h diarias, con temperaturas de 18°C de media y vientos moderados y fuertes. Estos factores climáticos producen un índice de evapotranspiración de aproximadamente 1800 mm año⁻¹ en tanque evaporimétrico (Tejedor et al., 2003; Díaz et al., 2013).

4.2. Análisis de aguas de riego no convencionales

Las aguas de riego no convencionales que se analizan son aguas desalinizadas y aguas residuales regeneradas, provenientes de las desalinizadas. Actualmente las aguas residuales regeneradas cumplen los requisitos de las calidades 2.1 y 2.2 de aguas de uso agrícola establecidos en el Real Decreto 1620/2007 (Tejedor et al., 2011; Ministerio de Presidencia, 2007). Dentro de la calidad 2.1 se incluye el riego de cultivos con sistemas de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles de los cultivos. La calidad 2.2 abarca el riego de productos para el consumo humano con sistemas de aplicación del agua que no evita el contacto directo

del agua regenerada con las partes comestibles del cultivo, sin embargo, el consumo requiere un tratamiento industrial posterior. También esta calidad está presente en la actividad de riego para pastos de animales productores de leche o carne, así como para la acuicultura (Ministerio de Presidencia, 2007).

A continuación, se tienen en cuenta los análisis de los siguientes parámetros para ambos tipos de agua según el estudio realizado en el artículo Díaz et al. (2013). La conductividad eléctrica (CE) cuyo valor dependerá de la capacidad de transmitir corriente eléctrica en función del contenido de cationes y aniones del agua, así como de su temperatura y se mide en (dS m^{-1}) . El pH, para determinar el nivel de acidez o basicidad de las muestras de agua. Los sólidos totales en suspensión (SST), se determinan mediante filtrado de la muestra, determinando la materia que queda en el filtro, una vez seco, por diferencia de pesada. 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. Concentraciones de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , K^{+} , NH_4^{+}) y aniones (HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^{-}), así como la concentración de boro (B). La relación de adsorción de sodio (RAS o SAR) calculada como

$$SAR (\text{mmol L}^{-1})^{0.5} = \frac{[\text{Na}^{+}]}{\{([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])/2\}^{0.5}}$$



Foto 5 (der.). Instalaciones de la remineralizadora en la Central de Desalación Díaz Rijo.

4.3. Análisis de suelos arenados de regadío y de secano

En varios de los estudios que se han tenido en cuenta para este trabajo, muchos de los suelos analizados se clasifican como *Haplocambids*, con régimen arídico (donde se incluyen suelos típicos de las regiones áridas y semiáridas) a údico (suelos de climas húmedos con distribución regular de la precipitación anual favoreciendo los procesos de lavado (Tejedor et al., 2011).



Foto 6. La Geria, arenados con cultivos de vid, ejemplo de cultivo de secano (Masdache, municipio de Tías)



Foto 7. Cultivo de batatas en arenado con sistema de regadío en el municipio de Tinajo (Agrolanzarote, 2019).

También se consideran otros tipos de suelos con texturas franca a franco arcillosa, mencionados en el trabajo de Díaz et al. (2013), como por ejemplo, *Paleargids*, *Calciargids*, *Torrifluvents* y *Petrocalcids* (Soil Survey Staff, 2006). Los parámetros analizados tanto en los suelos de secano como en los de regadío fueron pH y CE mediante el método de pasta saturada, así como los cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) y la concentración de boro (B). También se evalúa el carbonato cálcico equivalente (CaCO_3); la disponibilidad de fósforo orgánico (P) mediante el método Olsen; el nitrógeno total (NT) mediante el método Kjeldah; boro soluble en agua caliente (*HWSB*) y materia orgánica (MO). Además, se analiza la relación de adsorción del sodio (RAS mediante la ecuación detallada anteriormente), que relaciona la concentración de sodio en solución con la capacidad de la fracción coloidal para retenerlo en forma cambiante y, finalmente, el porcentaje de sodio intercambiable (PSIc) que se calcula de manera indirecta desde el SAR.

5. Resultados y discusión

En este apartado se compararán resultados obtenidos de distintos estudios realizados sobre el agrosistema de arenados en Lanzarote, y se contrastarán con recomendaciones de otros autores cuyos trabajos se centran en cómo afecta la calidad de las aguas de riego no convencionales en la calidad y propiedades del suelo. Los artículos que se tendrán en cuenta, para los datos de los distintos parámetros químicos obtenidos en la isla de Lanzarote son Tejedor et al. (2011) y Díaz et al. (2013).

5.1. Evaluación de la calidad de las aguas de riego no convencionales.

Parámetro	AD	AR 1 *	AR 2*	Recomendaciones agua desalinizada ¹	Recomendaciones agua regenerada ²
pH	6.9 ± 0.6	7.2 ± 0.3	7.1 ± 0.3	< 8.5	8.1
CE (dS m ⁻¹)	0.58 ± 0.08	1.44 ± 0.22	1.48 ± 0.22	< 0.3	2.0
SST (mgL ⁻¹)	0.75 ± 1.36	3.27 ± 9.79	1.27 ± 1.72	-	3.0
Ca ²⁺ (mgL ⁻¹)	4.17 ± 1.33	17.3 ± 2.7	17.7 ± 3.5	32 - 48	120
Mg ²⁺ (mgL ⁻¹)	5.55 ± 1.47	10.7 ± 4.3	11.9 ± 3.9	12 – 18	50
K ⁺ (mgL ⁻¹)	3.98 ± 0.66	22.7 ± 2.4	23.3 ± 5.2	-	40
Na ⁺ (mgL ⁻¹)	89.3 ± 10.9	197.2 ± 29.9	213.4 ± 36.8	< 20	200
RAS(mmol L ⁻¹)	6.80 ± 0.56	9.25 ± 0.78	9.73 ± 0.97	-	6.0
Alcalinidad (mgL ⁻¹) como CaCO ₃	12.7 ± 2.2	130.5 ± 58.8	93.8 ± 61.3	> 80	150
Cl ⁻ (mgL ⁻¹)	156.5 ± 20.7	295.7 ± 59.7	324.5 ± 64.6	< 20	360
S-SO ₄ ²⁻ (mgL ⁻¹)	4.62 ± 1.11	20.0 ± 3.6	17.4 ± 4.3	> 30	500
P-PO ₄ ³⁻ (mgL ⁻¹)	0.11 ± 0.17	3.04 ± 2.43	5.54 ± 3.69	-	30
N-NO ₃ ⁻ (mgL ⁻¹)	2.06 ± 1.46	7.86 ± 5.77	11.0 ± 4.9	-	50
N-NH ₄ ⁺ (mgL ⁻¹)	0.02 ± 0.02	14.2 ± 11.9	5.98 ± 8.56	-	40
DQO (mgL ⁻¹)	1.78 ± 2.27	28.0 ± 7.1	26.3 ± 6.6	-	-
B (mgL ⁻¹)	0.71 ± 0.11	0.83 ± 0.08	0.82 ± 0.08	0.2 – 0.3	0.75

Tabla 1. Caracterización general del agua desalinizada (AD) y el agua regenerada (AR) usadas en el regadío de arenados. Resultados obtenidos del artículo de Díaz et al. (2013).

En la Tabla 1 se muestran las medias y sus correspondientes desviaciones estándar (Díaz, et al., 2013.) de los parámetros analizados del agua de riego. En este estudio se analizaron el agua desalinizada (AD) producida en la Central Desaladora Díaz Rijo; el agua regenerada procedente de la EDAR localizada en Arrecife (AR1) y el agua

regenerada procedente de la EDAR de Tías (AR2). Además, la tabla presenta una serie de recomendaciones para aguas de riego desaladas (¹Yermiyahu et al., 2007) y aguas de riego regeneradas (²Pereira et al., 2011).

5.1.1. Salinidad y sodicidad.

El SAR indica el riesgo de sodicidad en el suelo (Lahav et al., 2010), y en combinación con la CE de las aguas de riego deben tenerse en cuenta para evaluar el potencial deterioro a medio y largo plazo de las propiedades físicas del suelo y del rendimiento de los cultivos (Pedrero et al., 2010; Díaz et al., 2013).

El valor promedio de la CE para el agua desalinizada (Tabla 1) no causa problemas de salinidad, sin embargo, no ocurre lo mismo con el agua regenerada, que limita su uso para el riego (Pedrero et al., 2010). Como el agua regenerada sí presenta un alto nivel de salinidad (Díaz et al., 2013), podrá producir daño en los suelos y retraso en el crecimiento de los cultivos (Yermiyahu et al., 2007).

En el caso de los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} , sus valores promedios para el agua desalinizada (Tabla 1) están por debajo de los rangos determinados en la recomendaciones de Yermiyahu et al. (2007). Los valores de SAR para el agua regenerada sufren un incremento debido a la adición de Na^+ durante el uso urbano (uso previo a los procesos de depuración y regeneración del agua) en relación con las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} . Por lo tanto, las concentraciones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ deben ser corregidas para poder reducir el valor de SAR (Díaz et al., 2013).

En cuanto al anión Cl^- , su promedio excede el valor recomendado para agua desalinizada, sin embargo, para el agua regenerada de ambas EDARs los valores están próximos al límite recomendado pero no lo exceden. Los sulfatos ($\text{S} - \text{SO}_4^{2-}$) se eliminan durante el proceso de ósmosis inversa de la desalinización, estando los niveles en agua desalinizada dentro de los límites recomendados (Yermiyahu et al., 2007 a), aunque estos se incrementan durante el uso urbano (Tabla 1) y su valor promedio es mayor en el agua regenerada (Pereira et al., 2011).

5.1.2. Concentración de Boro.

Los resultados que se indican en la Tabla 1, sugieren que las concentraciones de B presentes en el agua utilizada para el riego, provienen directamente del agua del mar

y que solo una pequeña parte proviene del uso doméstico (Díaz et al., 2013; Tarchitzky y Chen, 2004). Vemos que el agua desalinizada tiene un alto contenido de B, superando a los límites recomendados por Yermiyahu et al. (2007). Esto ocurre porque el B se encuentra en forma de ácido bórico en el mar (H_3BO_3), que es capaz de pasar por las membranas de ósmosis inversa (Hilal et al., 2011). Dichas concentraciones se mantienen similares a las de las aguas residuales (Díaz, et al., 2013; Yermiyahu et al., 2011). En resumen, los valores promedios para la concentración de B, tanto para agua desalinizada como para agua regenerada, superan los límites recomendados (Díaz et al., 2013; Yermiyahu et al., 2007).

5.1.3. Alcalinidad y pH

Según otros autores se recomiendan valores altos de alcalinidad en el agua de riego desalinizada porque aumenta la capacidad de amortiguación, reduce la corrosión en los sistemas de distribución, evita el paso de iones metálicos al agua, estabiliza el pH en presencia de fertilizantes y regula varios procesos biológicos como la nitrificación (Lew et al., 2009). En el caso del agua desalinizada, se puede ver que está muy por debajo de los límites recomendados (Yermiyahu et al. 2007) y para el agua regenerada se aproximan a ese límite (Pereira et al., 2011). En cuanto al pH, vemos que los valores que figuran en la Tabla 1, están dentro de los límites recomendados y además son adecuados para la agricultura (Pedrero et al., 2010). El pH del agua de riego para uso agrícola debe ser alto, pero no mayor de 8.5 (Yermiyahu et al., 2007; Lahav y Birnhack, 2007).

5.2. Impacto del riego en las propiedades de los suelos

El impacto que tendrá el agua de riego sobre el agrosistema de arenados viene dado por unos determinados parámetros químicos y físicos. La salinización y sodificación del suelo en Canarias, junto con procesos erosivos, son dos de los factores que más influyen en la degradación de los suelos. Por ello es importante su control y su evaluación ya que, en un suelo salino, las sales provocan un aumento de la presión osmótica, que se añade a la tensión del agua en el suelo y dificulta la succión del agua por las raíces, empobrecimiento del rendimiento del cultivo.

El sodio de cambio en concentraciones elevadas tiene una acción dispersante sobre las arcillas (el pH elevado aumenta la concentración de grupo OH que supera la acción floculadora del sodio). Se solubiliza así la materia orgánica y afecta a las propiedades físicas del suelo, que conlleva a la pérdida de la estabilidad de agregados y a la disminución de la porosidad, a su vez, problemas de aireación y el favorecimiento de la formación de sellados y encostramientos que disminuye la infiltración y aumenta la erosión. Las concentraciones del ion bicarbonato (HCO_3^-) pueden ser muy elevadas, influyendo en los equilibrios Na, Ca y Mg, generando Na_2CO_3 que alcaliniza la composición de los suelos.

Por tanto, la calidad de las aguas de riego en función de los parámetros de RAS y CE, son fundamentales para controlar los problemas de salinidad y sodificación en los suelos del agrosistema.

La concentración de B también es muy importante a la hora de llevar un control en la calidad del agua porque es un micronutriente con una línea muy fina entre los valores de carencia y de toxicidad que limita los rendimientos y la calidad de las cosechas.

A continuación se detallan los valores de los parámetros químicos y físicos del suelo de este sistema, que reflejan el impacto que tienen las aguas de riego sobre ellos. Los suelos estudiados, se escogieron para poder determinar el impacto a largo plazo del agua de riego desalinizada y regenerada (5 – 30 años). Para ello, seguimos tomando como referencia los resultados obtenidos en el estudio de Díaz et al. (2013).

Parámetros	Suelo de secano (control)	Suelo regado con agua desalinizada
CE _s (dS m ⁻¹)	1.00 ± 0.56	1.93 ± 1.12
pH _s	8.2 ± 0.3	0.81 ± 0.2
Ca Inter. (cmol _c Kg ⁻¹)	19.3 ± 4.5	20.1 ± 5.8
Mg Inter. (cmol _c Kg ⁻¹)	6.23 ± 2.27	6.54 ± 2.25
K Inter. (cmol _c Kg ⁻¹)	3.74 ± 1.78	4.21 ± 1.94
Na Inter. (cmol _c Kg ⁻¹)	2.15 ± 1.47	2.37 ± 1.55
RAS (mmol L ⁻¹) ^{0.5}	4.33 ± 2.03	4.16 ± 2.08
ESP _c (%)	4.80 ± 2.66	4.58 ± 2.72
CaCO ₃ (g kg ⁻¹)	171 ± 145	135 ± 142
C Orgánico (g kg ⁻¹)	4.61 ± 2.15	4.74 ± 2.76
NT (g kg ⁻¹)	0.56 ± 0.21	0.63 ± 0.29
P-Olsen (mg kg ⁻¹)	6.45 ± 6.44	10.8 ± 11.3
B _s (mg L ⁻¹)	0.37 ± 0.23	0.68 ± 0.40
HWSB (mg kg ⁻¹)	1.47 ± 0.82	2.58 ± 1.39
Arcilla (g kg ⁻¹)	346 ± 154	375 ± 158
Limo (g kg ⁻¹)	306 ± 102	269 ± 110
Arena (g kg ⁻¹)	348 ± 187	357 ± 151

Tabla 2. Datos sobre los parámetros del suelo regados con agua desalinizada frente al control de suelos de secano (Díaz et al., 2013).

Parámetros	Suelo de seco (control)	Suelo regado con agua regenerada
CE _s (dS m ⁻¹)	0.88 ± 0.33	2.98 ± 1.66
pH _s	8.1 ± 0.4	7.9 ± 0.4
Ca Inter. (cmol _c Kg ⁻¹)	17.0 ± 5.3	17.0 ± 4.4
Mg Inter. (cmol _c Kg ⁻¹)	5.55 ± 2.64	5.84 ± 1.76
K Inter. (cmol _c Kg ⁻¹)	2.65 ± 1.14	2.55 ± 0.99
Na Inter. (cmol _c Kg ⁻¹)	1.53 ± 0.88	2.31 ± 1.28
RAS (mmol L ⁻¹) ^{0.5}	4.18 ± 1.60	6.60 ± 2.79
ESP _c (%)	4.62 ± 2.10	7.69 ± 3.40
CaCO ₃ (g kg ⁻¹)	61.8 ± 73.0	65.0 ± 76.0
C Orgánico (g kg ⁻¹)	5.30 ± 2.56	5.94 ± 3.54
NT (g kg ⁻¹)	0.47 ± 0.27	0.54 ± 0.36
P-Olsen (mg kg ⁻¹)	6.67 ± 12.1	21.9 ± 23.0
B _s (mg L ⁻¹)	0.29 ± 0.29	0.54 ± 0.24
HWSB (mg kg ⁻¹)	1.65 ± 0.64	2.68 ± 0.97
Arcilla (g kg ⁻¹)	396 ± 109	366 ± 117
Limo (g kg ⁻¹)	397 ± 92	392 ± 115
Arena (g kg ⁻¹)	207 ± 108	241 ± 73

Tabla 3. Datos sobre los parámetros del suelo regados con agua depurada frente al control de suelos de seco (Díaz, et al., 2013).

5.2.1. Salinidad

La salinización del suelo es la acumulación de sales solubles en el mismo. Suele ocurrir con manejo de riego inapropiado sin tener en cuenta el drenaje y lixiviación de las sales. La elevada salinización acabaría por degradar el suelo así como la vegetación. Las sales más comunes son combinaciones de los cationes sodio, magnesio y potasio con los aniones de cloro, sulfato y carbonatos (FAO, 2019).

La CE (Tablas 2 y 3) de los suelos del estudio de estos agrosistemas, aumentó significativamente a causa del riego, independientemente del agua utilizada (Díaz, et al., 2013). En los suelos de seco fue menor o igual a 1 dS m⁻¹, gracias al efecto que causa el *mulch* volcánico sobre el suelo del agrosistema (Díaz, et al., 2013).

Según los valores promedios que se pueden ver en las Tablas 2 y 3 (Díaz et al., 2013) en los suelos que reciben agua desalinizada, pueden verse afectados los cultivos que son sensibles a la salinidad, mientras que en los regados con agua regenerada se pueden ver afectados los cultivos moderadamente sensibles y moderadamente tolerantes a la salinidad (Díaz et al., 2013). Los niveles del anión Cl^- aumentaron en el suelo tras el riego con agua desalinizada. Los niveles de SO_4^{2-} no supusieron un problema de deficiencia como otros autores han publicado (Yermiyahu et al., 2007). En resumen, los resultados de este trabajo señalan un importante aumento de la salinidad debido al riego tanto con agua desalinizada como con agua depurada en las últimas décadas.

5.2.2. Sodicidad.

La sodicidad del suelo es el exceso de sodio intercambiable. Los suelos sódicos se suelen encontrar en regiones áridas y semiáridas. Una alta alcalinidad en el suelo pueden provocar ciertos efectos negativos como pueden ser la disminución de la tasa de infiltración, percolación, infiltración del agua por el suelo y déficit en el crecimiento de la vegetación (FAO, 2019).

Los resultados que se encuentran en las Tabla 3, muestran que el valor promedio del RAS de los suelos irrigados con aguas regeneradas, aumentó con respecto a los suelos de secano (Tabla 3). Sin embargo, los valores de RAS en los suelos irrigados con aguas desalinizadas y los suelos de secano, fueron similares (Tabla 2). Lo mismo ocurre con los valores de Na^+ y ESP_c , que aumentaron con el agua regenerada. La acumulación de sodio es uno de los principales problemas relacionados con el uso de agua depurada (Leal et al., 2009). En este estudio (Tabla 2 y Tabla 3; Díaz et al., 2013) demostró que usar agua de riego depurada puede llegar a originar una sodificación del suelo. Sin embargo, como el suelo presenta un considerable nivel de salinidad consigue contrarrestar los efectos negativos que pueda traer la sodificación. El problema puede agravarse si se comenzara a sustituir el tipo de agua de riego usada hasta el momento, por otra con menor nivel de salinidad (Muyen et al., 2011; Díaz, et al., 2013).

5.2.3. Boro

En el estudio se detectó que el contenido en B de los suelos de regadío presentaba niveles tóxicos, en comparación con lo que otros autores consideran como recomendable para un suelo agrícola (Yermiyahu et al., 2007). La toxicidad por B representa un grave problema en Lanzarote y sus cultivos de vid, los cuales son extremadamente sensibles. Por ello deben controlarse de manera más exhaustiva si se emplea en dichos cultivos agua de riego desalinizada o depurada (Díaz, et a., 2013).

5.2.4. Materia orgánica y nutrientes.

En este caso, los niveles de carbono orgánico y nitrógeno total no aumentaron significativamente después del regadío con agua desalinizada y agua regenerada (Díaz, et a., 2013). El carbono orgánico es importante porque mejora las propiedades físicas del suelo, aumentando la capacidad de intercambio catiónico, la retención de humedad y mejorando la estabilidad en el caso de los suelos arcillosos (formación de agregados). El nitrógeno en el suelo, es de gran importancia para la nutrición de las plantas (NH_4^+ y NO_3^- como iones asimilables) (FAO, 2019). Con el uso de agua depurada se incorpora sustancias orgánicas que incrementan la población microbiana del suelo. También hubo un aumento en el fósforo, sin embargo, el aportado por agua desalinizada es menor que el aportado por las aguas depuradas (Díaz, et al., 2013). Todos estos parámetros y los valores que alcanzan según dicho estudio resultan ser positivos para la actividad agraria, por lo que el empleo de aguas procedentes de recursos hídricos no convencionales aporta beneficios.

6. Conclusiones

Esta investigación de carácter bibliográfico permite concluir que el uso de recursos hídricos no convencionales, para el riego de los agrosistemas de arenados en la isla de Lanzarote promueve que se continúe con las actividades agrícolas que antes estaban en franco abandono bajo condiciones de secano. Sin embargo, el uso de agua depurada o regenerada y el agua desalinizada tienen efectos que suponen un riesgo para la calidad del suelo, sobre todo en el caso de la primera. En general, son problemas en los parámetros de salinidad, sodicidad (o alcalinidad) y las concentraciones de boro, los cuales podrían llegar a afectar el rendimiento de los distintos tipos de cultivos que se realizan en Lanzarote.

Es muy importante mejorar la calidad de las aguas empleadas en el regadío si se quiere continuar a largo plazo con estas prácticas agrarias. Por ejemplo, mejorar el procesos de desalinización y remineralización en la producción de agua desalinizada, reduciendo los niveles de boro y equilibrando las concentraciones iónicas de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ .

Se debe destacar el efecto clave que tiene en este agrosistema la cubierta de piroclastos, pues permite el control de la evaporación del agua y regula la temperatura del suelo, siendo su mantenimiento indispensable para la sostenibilidad de estos sistemas, incluso con la incorporación el regadío.

Por último, es importante mantener en constante progreso este tipo de estudios edafológicos pues en zonas áridas y semiáridas, conservar la actividad agrícola de calidad supone, no solo un beneficio claro para la economía de la población residente sino también una herramienta fundamental de lucha contra la desertificación.

7. Bibliografía

Academia Canaria de la Lengua, 2019. Diccionario de Canarismo (en línea), más información (<https://www.academiacanarialengua.org/diccionario/>)

Agrolanzarote, 2019. La web del campo de Lanzarote. (www.agrolanzarote.com)

Ben-Gal, A., Yermiyahu, U., & Cohen, S., 2009. Fertilization and blending alternatives for irrigation with desalinated water. *Journal of environmental quality*, 38(2), 529-536.

Canal Gestión Lanzarote, 2019. Consorcio del Agua de Lanzarote. Gestión y ciclo integral del agua (Comunicación personal), más información (<https://www.canalgestionlanzarote.es/>)

Chen, Y., Dosoretz, C. G., Katz, I., Jüeschke, E., Marschner, B., & Tarchitzky, J. (2011). Organic matter in wastewater and treated wastewater-irrigated soils: Properties and effects. *Treated Wastewater in Agriculture, Use and Impacts on the Soil Environment and Crops*, 400-414.

Díaz, F. J., Tejedor, M., Jiménez, C., Grattan, S. R., Dorta, M., & Hernández, J. M., 2013. The imprint of desalinated seawater on recycled wastewater: Consequences for irrigation in Lanzarote Island, Spain. *Agricultural water management*, 116, 62-72.

Díaz, F., Jiménez, C. C., & 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., Mejías, G., Tejedor, M., & Jiménez, C. (2004). Influence of tephra mulch thickness and grain-size on soil temperature. I Congreso Ibérico Ciencia do Solo, Bragança (Portugal). In *Resumos* (p. 127).

Dorta-Santos, M., Tejedor, M., Jiménez, C., Hernández-Moreno, J. M., & Díaz, F. J. 2016. Using marginal quality water for an energy crop in arid regions: Effect of salinity and boron distribution patterns. *Agricultural Water Management*, 171, 142-152.

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Portal de Suelos de la FAO, 2019. (www.fao.org).

Grieve, C.M., Grattan, S.R., Maas, E.V., 2012. Plant salt tolerance. In: Wallender, W.W., Tanji, K.K. (Eds.), *ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No. 71 Agricultural Salinity Assessment and Management*, 2nd edition. ASCE, Reston, VA.

Hilal, N., Kim, G.J., Somerfield, C., 2011. Boron removal from saline water: a comprehensive review. *Desalination* 273, 23–35.

Lahav, O., Birnhack, L., 2007. Quality criteria for desalinated water following post treatment. *Desalination* 207, 286–303

Lahav, O., Kochva, M., Tarchitzky, J., 2010. Potential drawbacks associated with agricultural irrigation with treated wastewaters from desalinated water origin and possible remedies. *Water Science and Technology* 61, 2451–2460.

Leal, R.M.P., Herpin, U., da Fonseca, A.F., Firme, L.P., Montes, C.R., Melfi, A.J., 2009. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. *Agricultural Water Management* 96, 307–316.

Lew, B., Cochva, M., Lahav, O., 2009. Potential effects of desalinated water quality on the operation stability of wastewater treatment plants. *Science of the Total Environment* 407, 2404–2410.

Ministerio de Presidencia, 2007. Real Decreto 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. BOE núm. 294, 50639-50661.

Muyen, Z., Moore, G.A., Wrigley, R.J., 2011. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agricultural Water Management* 99, 33–41.

Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J.J., Koukoulakis, P., Asano, T., 2010. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture – review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management* 97, 1233–1241.

Pereira, B.F.F., He, Z.L., Silva, M.S., Herpin, U., Nogueira, S.F., Montes, C.R., Melfi, A.J., 2011. Reclaimed wastewater: impact on soil–plant system under tropical conditions. *Journal of Hazardous Materials* 192, 54–61.

Tarchitzky, J., Chen, J., 2004. The environmentally problematic bleaching agents. In: Zoller, U. (Ed.), *Handbook of Detergents*. Marcel Dekker, NY, USA.

Tejedor, M., Jiménez, C. C., & Díaz, F. 2002. Soil moisture regime changes in tephra-mulched soils. *Soil Science Society of America Journal*, 66(1), 202-206.

Tejedor, M., Jiménez, C., & Diaz, F. 2003a. Volcanic materials as mulches for water conservation. *Geoderma*, 117(3-4), 283-295.

Tejedor, M. U. L. C. H., Jiménez, C. C., & Díaz, F. 2003. Use of volcanic mulch to rehabilitate saline-sodic soils. *Soil Science Society of America Journal*, 67(6), 1856-1861.

Tejedor, M., Jiménez, C., & Díaz, F. 2004. Dry farming with soils under natural tephra cover in Lanzarote, Spain. *Soil use and management*, 20(3), 360-362.

Tejedor, M., Jimenez, C., Hernandez-Moreno, J. M., & Diaz, F. 2011. Tephra-mulched soils irrigated with reclaimed urban wastewater in former dry-farming systems of Lanzarote (Spain). *Catena*, 84(3), 108-113.

Soil Survey Staff, 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Invest. Rep. 42. USDA-NRCS, Natl. Soil Survey Center, Lincoln, NE.

Yermiyahu, U., Tal, A., Ben-Gal, A., Bar-Tal, A., Tarchitzky, J., Lahav, O., 2007. Rethinking desalinated water quality and agriculture. *Science* 318, 920–921.

Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Keren, R., 2011. Toxic elements, boron. In: Levy, G., Fines, P., Bar-Tal, A. (Eds.), *Treated Wastewater in Agriculture*. Wiley-Blackwell Publishing Ltd., UK.